Economía, Sociedad y Territorio, vol. xxi, núm. 67, 2021, 803-833.
DOI: http://dx.doi.org/10.22136/est20211661

Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México

Spatial analysis of urban green spaces in Mexico City

Juan Manuel Núñez*

Abstract

Urban green spaces offer potential to provide ecosystem services regardless of management of authorities. Different data sources, definitions, time periods, and scales pose challenges for preparation of urban green spaces inventories that facilitate the integral management of cities green infrastructure. This work presents a spatial analysis approach to know dynamics of urban green space based on the available Urban Green Spaces Mexico City Inventories. Results confirm an increase in the number of green areas managed by the authorities but a greater loss in private and informal green spaces.

Keywords: *urban green space, spatial analysis, sustainability.*

Resumen

Las áreas verdes urbanas tienen potencial para proporcionar servicios ecosistémicos independientemente de la gestión de las autoridades. A través de diferentes fuentes de datos, definiciones, escalas y periodos se plantean desafíos para la elaboración de inventarios de áreas verdes que faciliten la gestión integral de la infraestructura verde. Este trabajo presenta un enfoque de análisis espacial para conocer la dinámica del espacio verde urbano, basado en los inventarios disponibles de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México. Los resultados confirman un aumento en la cantidad de áreas verdes gestionadas por las autoridades, pero una pérdida en áreas verdes privadas e informales.

Palabras clave: áreas verdes urbanas, análisis espacial, sostenibilidad.

* Centro Transdisciplinar Universitario para la Sustentabilidad (Centrus), Universidad Iberoamericana, correo-e: juan.nunez@ibero.mx

Introducción

Una de las dinámicas territoriales[1] que inciden en la configuración de los espacios urbanos, en su camino hacia la sostenibilidad, son las áreas verdes. Su manejo adecuado debe ser una estrategia para hacer nuestras ciudades más habitables, inclusivas y sostenibles. El concepto de áreas verdes urbanas tiene su origen en el reconocimiento de que éstas pueden y deben ser manejadas de manera integrada y holística para visibilizar muchos otros beneficios sociales y ambientales, más allá del uso recreativo o estético (Sorensen *et al*., 1997).

Entre otros beneficios, se incluyen además de mejoras en la salud de las personas, el control de inundaciones, la reducción de la contaminación del aire, la regulación del microclima, el incremento de la biodiversidad, la recreación y el turismo, la producción de alimentos, la reducción de la desigualdad, la integración social y la disminución de los niveles de inseguridad pública (Ko y Son, 2018; Escobedo *et al*., 2011; Wolch *et al*., 2014; Groenewegen *et al*., 2006).

Estos y otros beneficios se materializan en una amplia gama de servicios ecosistémicos que permiten combatir muchos males urbanos y mejorar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades (Wolch *et al*., 2014). Múltiples servicios ecosistémicos son prestados por una gran variedad de áreas verdes urbanas diversas en tamaño, cobertura vegetal, riqueza de especies, calidad ambiental, instalaciones y servicios, proximidad al transporte público, propiedad y manejo (Fuller y Gaston, 2009; Dahmann *et al*., 2010; Núñez y Romero, 2016).

Los espacios verdes urbanos se clasifican por tamaño, características espaciales, ubicaciones geográficas, usos, funciones, propósitos de servicio, instalaciones y propiedad (Byrne y Sipe, 2010; Ko y Son, 2018). Las áreas verdes públicas incluyen parques, plazas y jardines, bosques urbanos, campos deportivos, bordos y canales, jardines comunitarios, camellones y áreas naturales protegidas, así como espacios menos convencionales como panteones y azoteas verdes (Sudipto *et al*., 2012). Por otro lado, las áreas verdes privadas e informales incluyen patios traseros privados, áreas verdes en edificios de apartamentos o corporativos, campos de golf y terrenos baldíos generalmente no designados ni reconocidos como espacios para uso de los habitantes (Wolch *et al*., 2014; Rupprecht y Byrne, 2014).

[1] El concepto de *dinámica territorial* hace referencia al proceso de cambio continuo en las estructuras económicas, sociales, culturales, institucionales y políticas de un territorio, orientándolo a una triple condición de crecimiento, inclusión y sostenibilidad ambiental (Berdegué *et al*., 2011; Schejtman y Berdegué, 2004).

Pero sin importar su tipo, dentro de las ciudades las áreas verdes no siempre se distribuyen equitativamente, ya que el acceso a menudo está altamente estratificado en función del nivel socioeconómico, edad, género, grupos sociales y otros ejes de diferencia (McConnachie y Shackleton, 2010; Ferguson *et al.*, 2018). La distribución de estos espacios dentro de un área determinada también es muy importante para medir sus impactos esperados (Alam *et al.*, 2014; Kuo, 2011).

Un estándar importante de la cantidad de áreas verdes que se requieren para sostener un ecosistema urbano puede medirse a través de su disponibilidad por persona o la cubierta vegetal disponible por persona. En el ámbito de la planeación urbana, existen diversos estándares cuantitativos en rangos variables que las ciudades deben cumplir en cuestión de provisión de superficie verde por habitante (Flores-Xolocotzi, 2017).

En las últimas dos décadas, el Gobierno de la Ciudad de México ha impulsado la generación de diferentes inventarios de áreas verdes urbanas para identificar su ubicación espacial, dimensiones, tipos de áreas verdes, composición y cantidad por habitante, elaborados a partir del uso de imágenes de satélite y aplicación de metodologías de Percepción Remota implementadas en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica (López-Caloca y Muñoz, 2012). Los inventarios de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México, publicados en 2002, 2010 y 2017, han permitido contar con un diagnóstico global de las áreas verdes, permitiendo avances en términos de diseño de políticas y de evaluación de uno de los principales factores de calidad ambiental para la ciudadanía (PAOT, 2010; CentroGeo, 2002; IG, 2017).

En este trabajo, se implementa una metodología de análisis espacial que permite conocer las dinámicas territoriales del proceso de cambio de los tipos de vegetación, categorías de manejo y usos del suelo, empleando para ello los inventarios de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México, publicados en 2002, 2010 y 2017. Se plantean los siguientes objetivos: *i)* identificar el proceso de cambio de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México, a partir de los inventarios disponibles para la ciudad; y *ii)* analizar las principales fuerzas impulsoras de los cambios de las áreas verdes urbanas. Lo anterior con el propósito de conocer las posibilidades que las áreas verdes de la Ciudad de México tienen para desarrollar procesos sostenibles de desarrollo humano y su potencial para producir servicios ecosistémicos.

A continuación se describen las etapas en relación con la selección de datos de los inventarios de áreas verdes urbanas presentados; así como los métodos de análisis y procedimientos empleados para identificar el proceso de cambio de espacios verdes urbanos en la Ciudad de México en los últimos años. Finalmente, se discuten las principales fuerzas

socioeconómicas impulsoras de los cambios del espacio verde urbano y se ofrece una discusión sobre la situación actual de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México, a partir del análisis de los resultados obtenidos.

1. Los inventarios de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México

Con la fundación de la Ciudad de México en 1521, la transformación del medio geográfico y urbano tuvo una profunda influencia en el diseño de las áreas verdes y en el manejo de la vegetación natural del entorno. En la ciudad colonial, sus plazas definieron gran parte de la aparición de algunos espacios verdes en la ciudad. La Alameda Central, fundada en 1592, es un ejemplo de área destinada a la convivencia y la recreación (Giglia, 2013).

Bajo la dictadura porfirista se dio un gran impulso al rebosamiento de parques y avenidas con un estilo europeo y muchas plazas mayores se convirtieron en frondosos jardines y parques. A inicios del siglo XX se considera que las áreas verdes ocupaban tan sólo 2% de la superficie de la capital. Una década después, bajo el mando del ingeniero Miguel Ángel de Quevedo, la Ciudad de México aumentó drásticamente su porcentaje de áreas verdes un 16% (Martínez González, 2008). Ya en años más recientes, la ampliación del bosque de Chapultepec, la inauguración del bosque de Aragón (ambos en 1964) y la integración del bosque de Tlalpan representan el último impulso de construcción de grandes áreas verdes. Tras la integración del Distrito Federal en 16 delegaciones durante la década de los setenta y con la aparición de ejes viales y grandes unidades habitacionales se impulsó una política de jardineras, cuyo mantenimiento principalmente recae en las autoridades locales (Benítez *et al.*, 1987). El Atlas de la Ciudad de México de 1985 reporta una superficie de 2.3 metros cuadrados de área verde por habitante, considerando parques, jardines, camellones y glorietas del entonces Distrito Federal (Guevara Sada y Moreno Casasola, 1986).

Sería hasta principios del siglo XXI que el Gobierno del Distrito Federal (GDF), a través de su Secretaría del Medio Ambiente (Sedema), implementó diversas estrategias para conocer, normar y desarrollar las áreas verdes urbanas (Moncada Maya y Meza Aguilar, 2010). La Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal (LAPTDF), modificada en 2017, establece que las áreas verdes son toda superficie cubierta por vegetación natural o inducida que se localice en la Ciudad de México, así como la actualización permanente del inventario en materia de áreas verdes que deberá contener, por lo menos: la ubicación y superficie y los tipos de áreas verdes, además de las especies de flora y fauna que

la conforman, las zonas en las cuales se considera establecer nuevas áreas verdes, entre otras.

1.1. Primer Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal

La construcción de este inventario está basada en el diseño y elaboración de una solución de geomática que incluyó el procesamiento de imágenes satelitales IKONOS del 2000, para conformar un mapa de áreas verdes del suelo urbano de la Ciudad de México en dos categorías: árboles y pastos/arbustos (CentroGeo, 2002).

Para la construcción de este inventario se implementaron métodos de fusión de datos mejorados con el objetivo de extraer de manera más eficiente toda la cubierta vegetal localizada en predios sujetos a cualquier régimen de propiedad ubicados en el suelo urbano de la Ciudad de México. Esto permitió la identificación de áreas de árboles, pastos y arbustos con una unidad mínima de mapeo 160 m^2 (López-Caloca *et al.*, 2004). Con base en la información del Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal, elaborado por el CentroGeo (2002), se obtienen las siguientes estadísticas sobre la distribución espacial por Delegación (cuadro 1).

Cuadro1
Áreas verdes en suelo urbano del Distrito Federal, México (2000)

Delegación	*Área (*) (km^2)*	*Total, áreas verdes (km^2)*	*Áreas verdes. Sup. Delega. (%)*	*Zonas arboladas (%)*	*Zonas de pastos y arbustos (%)*	*Áreas verdes por habitante (m^2)*	*Zonas arboladas por habitante (m^2)*	*Población 2000 (%)*
Álvaro Obregón	61.12	24.59	40.2	64.5	35.5	35.8	23.1	8.1
Azcapotzalco	33.51	4.28	12.8	54.7	45.3	9.7	5.3	5.2
Benito Juárez	26.51	1.19	4.5	99	1	3.3	3.3	4.2
Coyoacán	54.01	20.13	37.3	76.7	23.3	31.4	24.1	7.5
Cuajimalpa	15.08	5.55	36.8	46.4	53.6	36.7	17	1.8
Cuauhtémoc	32.67	1.81	5.5	74	26	3.5	2.6	6.1
Gustavo A. Madero	87.29	14.26	16.3	47.3	52.7	11.5	5.4	14.5
Iztacalco	23.12	2.25	9.7	54.7	45.3	5.5	3	4.8
Iztapalapa	113.37	18.32	16.2	27.1	72.9	10.3	2.8	20.8

Cuadro 1 (*continuación*)

Delegación	*Área (*) (km^2)*	*Total, áreas verdes (km^2)*	*Áreas verdes. Sup. Delega. (%)*	*Zonas arboladas (%)*	*Zonas de pastos y arbustos (%)*	*Áreas verdes por habitante (m^2)*	*Zonas arboladas por habitante (m^2)*	*Población 2000 (%)*
Magdalena Contreras	14.08	1.82	12.9	69.2	30.8	8.3	5.7	2.6
Miguel Hidalgo	47.69	8.89	18.6	57.3	42.7	25.2	14.4	4.1
Tláhuac	19.17	2.27	11.8	4.4	95.6	7.5	0.3	3.6
Tlalpan	48.29	11.8	24.4	88.9	11.1	20.3	18	6.8
Venustiano Carranza	33.87	5.23	15.4	23.5	76.5	11.3	2.7	5.4
Xochimilco	22.9	5.89	25.7	60.8	39.2	15.9	9.7	4.3
Distrito Federal	632.66	128.28	20.4	55.9	44.1	15.1	8.4	100

Fuente: Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal (CentroGeo, 2002).

* En las delegaciones con Suelo de Conservación en su territorio, estas cifras de AREA no lo incluyen; salvo los casos de Gustavo A. Madero e Iztapalapa, cuyo porcentaje de SC es poco significativo.

Nota: Las estadísticas se basan en la unidad mínima de 160 metros cuadrados de área verde que se utiliza en el Inventario, es decir, se incluyen desde pequeños camellones hasta jardines privados. No se incluye Milpa Alta por encontrarse dentro del Suelo de Conservación.

De los datos más relevantes de este inventario, se observa que 20.4% del suelo urbano está cubierto por áreas verdes públicas y privadas, de las cuales 55.9% corresponden a zonas arboladas y el resto a zonas de pastos o arbustos. El ratio de metros cuadrados de áreas verdes por habitante arroja un valor promedio para el Distrito Federal de 15.1 m^2 por habitante, una cifra que disminuye drásticamente a 8.4 m^2 por habitante cuando se observan únicamente las zonas arboladas en suelo urbano.

Adicionalmente, con la elaboración de este primer Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal, se ubicaron mediante reuniones y talleres con las autoridades delegacionales, comités y autoridades centrales de la ciudad, las áreas verdes bajo algún programa de manejo (CentroGeo, 2002). En este sentido, sólo 7.1% del suelo urbano está cubierto por áreas verdes bajo alguna categoría de manejo, lo que se expresa en un ratio de 5.3 m^2 por habitante, lo que corresponde a la mitad de la cifra recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que establece un estándar mínimo de nueve metros cuadrados por habitante de área verde en el espacio público (Habitat-ONU, 2015).

1.2. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México

La Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), en colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo, dio a conocer en 2010 un Inventario de Áreas Verdes para la Ciudad de México elaborado con base en un mosaico de imágenes satelitales *QuickBird* de alta resolución, conformado por escenas de 2007 y 2008, en las que con técnicas de percepción remota se identificaron las áreas verdes del Distrito Federal (ahora Ciudad de México) con superficies mayores a 50 m^2. A diferencia del inventario anterior, éste consideró, además de las categorías de árboles y de pastos/arbustos, una tercera categoría denominada áreas deportivas (PAOT, 2010). Con base en ello, este inventario presenta los siguientes resultados sobre la distribución espacial por Delegación (cuadro 2).

Este estudio arrojó que la Ciudad de México contaba con 78.1 km^2 de arbolado correspondientes al 12.8% de la superficie total urbana y 34.8 km^2 de pastos/arbustos y áreas deportivas que representaban 5.7% de esta área. A nivel general, sólo 18.5% de la superficie urbana de la ciudad estaba cubierta de árboles, pastos y arbustos (incluidas las áreas deportivas). El índice promedio resultante para la Ciudad de México fue 14.4 m^2 de área verde por habitante y de 10 m^2 de área arbolada por habitante.

Cuadro 2
Áreas verdes en suelo urbano del Distrito Federal, México (2008)

Delegación	*Superficie (Km²)*	*Población total (2005) habitantes*	*Total de AV (Arbolado + pastos y arbustos + áreas deportivas) (m²)*	*Arbolado (m²)*	*Pastos/arbustos y áreas deportivas (m²)*	** Metros cuadrados de áreas verdes por habitante (m²/hab.)*	*** Metros cuadrados de arbolado por habitante (m²/hab.)*
A. Obregón	61.01	653,232	17,417,312	12,525,360	4,891,952	26.66	19.2
Azcapotzalco	33.57	425,298	4,456,612	3,640,155	816,457	10.48	8.6
B. Juárez	26.77	355,017	2,953,281	2,860,400	92,881	8.32	8.1
Coyoacán	54.02	628,063	14,880,827	11,301,298	3,579,529	23.69	18
Cuajimalpa	16.32	101,740	3,340,302	1,706,630	1,633,672	32.83	16.8
Cuauhtémoc	32.49	521,348	3,662,124	3,165,789	496,335	7.02	6.1
G. A. Madero	75.26	1,143,147	9,654,424	5,660,407	3,994,017	8.45	5
Iztacalco	23.08	395,025	2,885,196	1,748,992	1,136,204	7.3	4.4
Iztapalapa	101.83	1,716,898	12,236,961	5,325,832	6,911,129	7.13	3.1
M. Contreras	13.39	177,336	2,928,436	2,439,091	489,345	16.51	13.8
M. Hidalgo	46.99	353,534	14,673,613	12,439,308	2,234,305	41.51	35.2
Milpa Alta	0	0	0	0	0	0	0
Tlahuac	19.8	244,828	1,945,778	783,932	1,161,846	7.95	3.2

Cuadro 2 (continuación)

Delegación	*Superficie (Km²)*	*Población total (2005) habitantes*	*Total de AV (Arbolado + pastos y arbustos + áreas deportivas) (m²)*	*Arbolado (m²)*	*Pastos/arbustos y áreas deportivas (m²)*	** Metros cuadrados de áreas verdes por habitante (m²/hab.)*	*** Metros cuadrados de arbolado por habitante (m²/hab.)*
Tlalpan	48.12	472,552	11,079,734	9,038,890	2,040,844	23.45	19.1
V. Carranza	33.89	447,459	6,044,086	2,631,040	3,413,046	13.51	5.9
Xochimilco	22.49	201,008	4,741,031	2,790,732	1,950,299	23.59	13.9
Totales	609.03	7,836,485	112,899,717	78,057,856	34,841,861	14.41	10

Fuente: Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México (PAOT, 2010).
* Este índice se estimó con el total de áreas verdes urbanas por delegación (pastos, arbustos y árboles) entre el número de habitantes.
** Este índice se calculó tomando en cuenta sólo el arbolado urbano por delegación entre el número de habitantes en suelo urbano.
Nota: La Delegación Milpa Alta se presenta en cero debido a que se localiza en suelo de conservación.

1.3. Actualización del Inventario de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México

Durante el 2017, se inició la Actualización del Inventario de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México,[2] mediante Sistemas de Información Geográfica e imágenes satelitales de alta resolución, con el objetivo de crear una herramienta fundamental para la proyección y ejecución de acciones que permitan visualizar su manejo, distribución y creación (Sedema, 2020).

Cuadro 3
Superficie de áreas verdes por alcaldía de la Ciudad de México, México (2017)

Alcaldía	*Habitantes (2015)*	*Superficie (m²)*	*Superficie por habitante (m²)*
Azcapotzalco	400,161	3,980,866.7	9.9
Coyoacán	608,479	9,157,547.7	15.0
Cuajimalpa de Morelos	199,224	2,048,957.7	10.3
Gustavo A. Madero	1,164,477	7,851,619.6	6.7
Iztacalco	390,348	1,944,289.0	5.0
Iztapalapa	1,827,868	9,834,858.6	5.4
Magdalena Contreras	243,886	1,335,114.4	5.5
Milpa Alta	137,927	309,724.0	2.2
Álvaro Obregón	749,982	4,913,463.7	6.6
Tláhuac	361,593	3,054,084.7	8.4
Tlalpan	677,104	6,530,744.7	9.6
Xochimilco	415,933	2,092,259.6	5.0
Benito Juárez	417,416	929,230.8	2.2
Cuauhtémoc	532,553	1,915,961.0	3.6
Miguel Hidalgo	364,439	5,607,701.5	15.4
Venustiano Carranza	427,263	5,805,150.1	13.6
TOTAL	8,918,653	67,311,573.8	7.5

Fuente: Inventario de Áreas Verdes (Sedema, 2020).

[2] En el 2010, la Sedema y el Instituto de Geografía de la UNAM realizaron un tercer inventario de áreas verdes para la ciudad, en el que se incluyó la información de alamedas, áreas naturales protegidas, áreas de valor ambiental, barrancas, bosques, escuelas/dependencias, panteones, parques, vialidades, huertos urbanos y viveros (PAOT, 2018). Los resultados obtenidos de este trabajo tenían en promedio 17 m^2 de áreas verdes por habitante, un valor significativamente mayor al de los obtenidos en los inventarios anteriores.

La superficie de área verde promedio por habitante en la Ciudad de México es de 7.54 m², como lo muestra el cuadro 3.

Los resultados de esta base de datos permiten conocer la cantidad de áreas verdes por categoría de manejo de acuerdo con este inventario (cuadro 4).

Cuadro 4
Categorías de áreas verdes en la Ciudad de México, México (2020)

Categoría	*Clave de la categoría*	*Superficie (m^2)*	*Porcentaje (%)*	*Numero de áreas verdes en la categoría*
Áreas con características de protección	900	9,746.90	0.01%	1
Áreas con categoría de protección	500	7,178,264.90	10.66%	31
Áreas con vegetación reminiscente	800	1,964,257.97	2.92%	68
Áreas verdes complementarias o ligadas a la red vial	200	9,530,119.78	14.16%	5776
Áreas verdes con estructura urbana	1000	23,511.05	0.03%	36
Áreas verdes urbanas fragmentadas	700	3,354,209.66	4.98%	312
Equipamientos urbanos con vegetación	600	28,479,055.09	42.31%	3653
Forestación urbana	100	25,317.63	0.04%	4
Parques, arboledas y alamedas	400	12,669,913.43	18.82%	1538
Plazas y jardines	300	3,649,563.53	5.42%	315
Vivero	1100	427,613.86	0.64%	5
TOTALES		67,311,573.82	100.00%	11739

Fuente: Inventario de Áreas Verdes (Sedema, 2020).

Nota: la columna de número de áreas verdes en la categoría se obtiene de contar cada uno de los registros de la base de datos de las claves de categoría.

De acuerdo con este inventario, la categoría de equipamiento urbano con vegetación, en donde se encuentran principalmente subcategorías como instituciones académicas públicas y privadas, deportivos y panteones, entre otras, concentra 42.3% de todas las áreas verdes inventariadas.

2. Metodología

2.1. Análisis de cambio

La matriz de tabulación cruzada o matriz de transición es un punto de partida fundamental en el análisis de los procesos de cambio de uso del suelo (Pontius *et al*., 2004). Estas matrices forman la base de una amplia variedad de estudios de cambio de uso del suelo en los que se parte de tener mapas de un sólo sitio para el mismo conjunto de categorías durante dos o más puntos en el tiempo (Romero-Ruiz *et al*., 2012; Pontius *et al*., 2017).

De acuerdo con Pontius *et al*. (2004), la matriz de tabulación cruzada o matriz de transición sigue el formato presentado en el cuadro 5, en donde las filas muestran las categorías en el tiempo 1 y las columnas muestran las categorías en el tiempo 2. La notación P_{ij} denota la proporción de uso del suelo que experimenta una transición de la categoría *i* a la categoría *j* donde el número de categorías es *J*.

Cuadro 5
Matriz de tabulación cruzada o matriz de transición

		Tiempo 2				*Total Tiempo 1*	*Pérdidas*
		Categoría 1	*Categoría 2*	*Categoría 3*	*Categoría 4*		
Tiempo 1	*Categoría 1*	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
	Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
	Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
Total Tiempo 2		P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancias		$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente: elaboración propia basada en Pontius *et al*. (2004).

Nota: Matriz de tabulación cruzada elaborada a partir de cuatro categorías de uso de suelo hipotéticas, en las que se muestran las persistencias, pérdidas y ganancias de dichas categorías.

Las entradas en la diagonal indican persistencia, por lo tanto, P_{jj} denota la proporción de uso de suelo que muestra la persistencia de la categoría *j*. Las entradas fuera de la diagonal indican una transición de la categoría *i* a una categoría diferente *j*. En la columna Total del tiempo 1, la notación P_{i+} denota la proporción de uso de suelo en la categoría *i* en el tiempo 1, que es la suma sobre todo *j* de P_{ij}. En la fila

Total del tiempo 2, la notación P_{+j} denota la proporción de uso de suelo en la categoría *j* en el tiempo 2, que es la suma sobre todo *i* de P_{ij}.

En los extremos de la matriz, la columna adicional a la derecha indica la proporción de uso del suelo que experimenta una pérdida bruta de la categoría *i* entre el tiempo 1 y el tiempo 2, mientras la fila adicional en la parte inferior indica la proporción de uso del suelo que experimenta la ganancia bruta de la categoría *j* entre el tiempo 1 y el tiempo 2 (Braimoh, 2006). En el nivel más general de información, la columna Total enumera la cantidad de cada categoría en el momento 1 y la fila Total enumera la cantidad de cada categoría en el momento 2, por lo que la diferencia entre ambos totales se denomina cambio neto. Por lo tanto, el cambio neto de una categoría es su ganancia menos su pérdida. Si una categoría pierde en algunos lugares mientras gana en otros lugares, entonces su cambio neto es menor que su cambio bruto, ya que el cambio bruto de una categoría es su ganancia más su pérdida (Pontius *et al.*, 2004).

Si bien esta información puede ser útil, la falta de cambio neto no necesariamente indica una falta de cambio de uso de suelo. Es posible que el cambio ocurra de tal manera que la ubicación de una categoría cambie entre el tiempo 1 y el tiempo 2, mientras que la cantidad permanece igual. Por ejemplo, una cantidad dada de pérdida de espacio verde en un lugar puede ir acompañada de la misma cantidad de ganancia de espacio verde en otro lugar. A este tipo de cambio que depende de la ubicación se le denomina intercambio e implica la ganancia y pérdida simultánea de una clase de uso de suelo (Braimoh, 2006).

El concepto de intercambio es particularmente importante, ya que algunos de los análisis más comunes de datos de uso de suelo únicamente proporcionan la cantidad de cada tipo de cobertura del suelo a lo largo del tiempo, lo que permite calcular sólo el cambio neto, pero no la ganancia y pérdida bruta o el intercambio de ninguna categoría, por lo que se corre el peligro de que el cambio neto pueda subestimar el cambio total del uso de suelo (Yang y Lo, 2002; Gallopin *et al.*, 1997). Desafortunadamente esta práctica ha sido común en el estudio de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México (Checa-Artasu, 2016; Hinojosa Robles, 2014; Maldonado-Bernabé *et al.*, 2019).

Examinando la matriz con un mayor nivel de detalle, las entradas diagonales del cuadro 5 indican la cantidad total de persistencia, generalmente asociadas a proporciones importantes o grandes de uso de suelo dominantes (Chen *et al.*, 2002; Schneider y Pontius, 2001). En relación con las categorías de ganancias y pérdidas, la persistencia es necesaria para calcularlas. Así, las ganancias son las diferencias entre los totales de columna y la persistencia, mientras que las pérdidas son las diferencias entre los totales de fila y la persistencia.

2.2. Procesamiento y análisis de datos

El análisis de cambio de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México se basó en la identificación de los cambios en las componentes espacial y temáticas de los dos primeros inventarios para la Ciudad de México (CentroGeo, 2002; PAOT, 2010), y en la categorización de los cambios espacio-temporales llevados a cabo a partir de la Actualización del Inventario de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México (Sedema, 2020); así como de la zonificación de usos del suelo de los Programas de Desarrollo Urbano de la Ciudad de México (Seduvi, 2020).

El análisis se realizó exclusivamente para el suelo urbano de la Ciudad de México, es decir, excluyendo la extensión de Suelo de Conservación de su territorio total. Para la definición del área de estudio, se utilizó la cartografía de Alcaldías y Suelo de Conservación, disponibles en el Portal de datos de la Ciudad de México (ADIP, 2020).

A continuación, se describen los insumos cartográficos digitales y el tratamiento aplicado para el análisis de cambio, realizado con el apoyo del programa ArcMap versión 10.8 (ESRI, 2020).

La cartografía del Inventario General de las Áreas Verdes del Distrito Federal fue elaborada por el CentroGeo en 2002 a partir del uso de imágenes satelitales IKONOS del año 2000, en ésta se presentan todas las áreas verdes urbanas detectadas a partir de 160 m^2 para las categorías de árboles y pastos/arbustos a una resolución espacial de 1 m. La información fue obtenida de la aplicación geomática del Primer Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal (CentroGeo, 2002), a partir las categorías de árboles y pastos/arbustos.

La información cartográfica de este inventario fue adecuada a partir del ajuste de los actuales límites de la Ciudad de México y la eliminación de áreas verdes en Suelo de Conservación de las actuales alcaldías de Gustavo A. Madero (El Tepeyac) e Iztapalapa (Cerro de la Estrella).

En la cartografía del estudio *Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México* (PAOT, 2010) se presentan las áreas verdes urbanas clasificadas en cuatro categorías: 1. Arbolado; 2. Pastos/Arbustos; 3. Áreas deportivas; y 4. Vaso regulador, con una unidad mínima cartografiable de 50 m^2, detectadas a partir del Inventario de Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal, realizado por PAOT en 2010, mediante el procesamiento digital de un mosaico de imágenes *QuickBird* de 2007 y 2008 a una resolución espacial de 0.60 m.

Esta información fue obtenida del Sistema de Información Geográfica de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT, 2020). Para la información cartográfica de este inventario, las categorías de Áreas deportivas y Vaso regulador fueron

reclasificadas como Pastos/arbustos y se aplicó un proceso de generalización espacial que consistió en eliminar a todas las entidades cuya superficie fuera igual o inferior a 160 m^2 y asignarlas a las entidades con la que compartían mayor superficie.

A continuación, se procedió a la construcción de la matriz de tabulación cruzada para el periodo de análisis 2000-2008, correspondiente con los años de las imágenes de satélite empleadas como insumo de la cartografía vectorial actualizada de los dos primeros inventarios de áreas verdes, publicados en 2002 y 2010, respectivamente. La cartografía vectorial de ambos inventarios fue transformada a formato ráster con una resolución de celda de 1 m. Para ello, se aplicó un proceso de alineación del ráster del segundo inventario con respecto del primero, para garantizar el mismo ajuste por extensión y posición espacial de los pixeles de ambos inventarios. El resto de los pixeles que no corresponde con alguna de las clases de áreas verdes descritas en ambos inventarios fueron asignadas como clase urbana, para poder ser incorporada al análisis de cambio.

A partir de la matriz de cambio, se estimó el cambio total, el cambio neto, la ganancia, la pérdida y la estimación del intercambio entre coberturas de cada una de las categorías de análisis.

Posteriormente, los resultados son analizados a partir del tercer producto empleado en este trabajo, el inventario de áreas verdes localizadas en la Ciudad de México (Sedema, 2020) que consiste en la Actualización del Inventario de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México con la clasificación de las categorías de áreas verdes. A este insumo cartográfico le fueron adicionados los polígonos de los bosques urbanos de Chapultepec y Aragón, también disponibles en el Portal de Datos Abiertos de la Ciudad de México (ADIP, 2020).

Finalmente, el último insumo cartográfico agrupa los Programas de Desarrollo Urbano, conformados por 15 Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano, publicados entre 1997 y 2011, y 29 Programas Parciales de Desarrollo Urbano, publicados entre 1992 y 2014 (Seduvi, 2020). A partir de todos estos insumos se creó una capa de información única en la que se identificaron 60 claves de zonificación de tipos de uso de suelo. Esta información fue obtenida a través del Sistema de Información Geográfica de la PAOT de la Ciudad de México (PAOT, 2020).

3. Resultados

3.1. Análisis de cambio de las áreas verdes urbanas 2000-2008

Las áreas verdes del primer inventario para la zona urbana de la Ciudad de México corresponden a 117.97 km^2, lo que significa una cantidad 8.04% menor a lo reportado en el primer Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal elaborado por el CentroGeo (2002). Lo anterior está explicado por la eliminación de áreas verdes en suelo de conservación que fueron reportados en el primer inventario. Para el segundo inventario, se obtuvo una superficie de 99.22 km^2, producto de la eliminación de las áreas verdes menores a 160 m^2 y el proceso de alineación del ráster. Lo anterior significa que alrededor de 12.1% de las áreas verdes reportadas en el segundo inventario, corresponden a áreas verdes con un tamaño de entre 50 m^2 y 160 m^2.

En el cuadro 6, se presenta la matriz de transición para las categorías urbano, árboles y pastos/arbustos para el periodo 2000-2008. La cuantificación general de cambio muestra una pérdida neta de 18.7 km^2 de áreas verdes urbanas a lo largo de ocho años. La superficie descrita por la clase urbana, para el 2000, era de 80.7% mientras que para el 2008 era de 83.7%. Las áreas verdes arboladas prácticamente se mantienen iguales en superficie, ya que apenas se contraen en 0.1%, no así las áreas de pastos y arbustos que disminuyeron 2.9%. Así, de los 610.5 km^2 de suelo urbano de la Ciudad de México, 19.3% correspondía a áreas verdes urbanas en el 2000 y 16.3%, en el 2008.

Un análisis desagregado por alcaldía de la matriz de transición, en donde se estima el cambio total, el cambio neto, la ganancia, la pérdida y la estimación del intercambio de áreas verdes por cada una de las alcaldías de la Ciudad de México, permite observar que las alcaldías con mayor porcentaje de cambio neto negativo son Cuajimalpa de Morelos, Coyoacán y Álvaro Obregón. Mientras que las únicas con cambio neto positivo son las alcaldías centrales de Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Cuauhtémoc e Iztacalco, además de Magdalena Contreras.

Este resultado difiere del reportado por Checa-Artasu (2016), quien reporta exclusivamente el cambio neto de ambos inventarios. El resultado de cambio total refiere una dinámica de pérdidas y ganancias de áreas verdes urbanas en la ciudad, marcada por la diferenciación geográfica (figura 1).

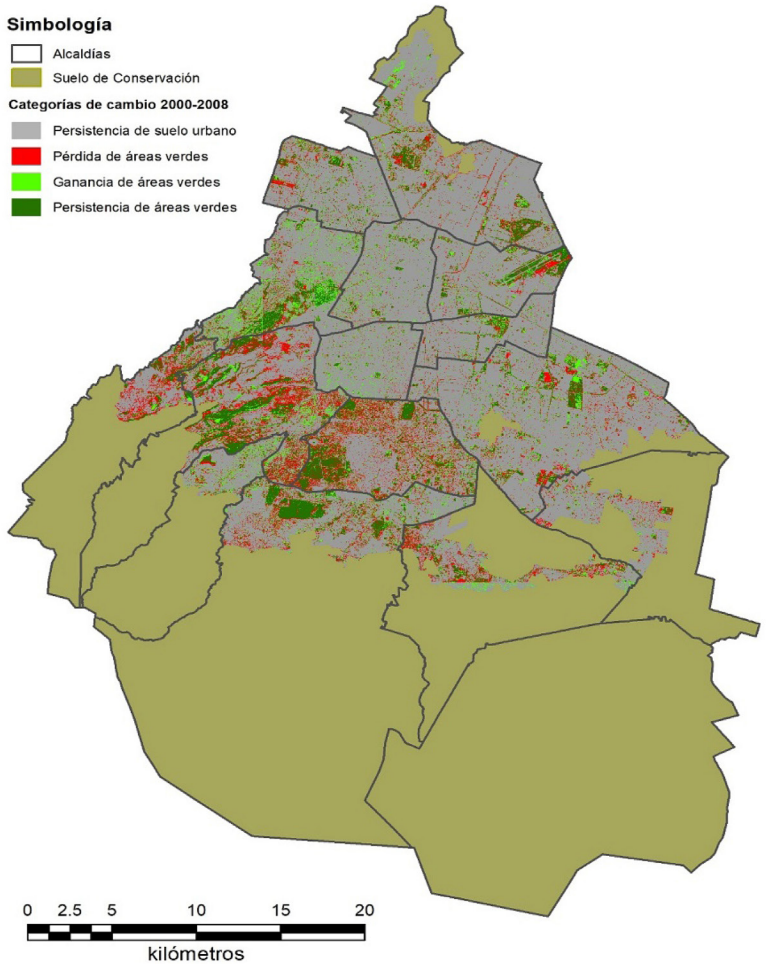
Con respecto del intercambio que, como se mencionó, representa la pérdida de áreas verdes en un lugar y la ganancia simultánea en otra ubicación; y se calcula como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas; dicho fenómeno se observa en la alcaldía Miguel Hidalgo que

Cuadro 6
Matriz de transición de las áreas verdes en suelo urbano de la Ciudad de México 2000-2008

		Segundo inventario			*Primer inventario (total)*	*Pérdidas*
		Urbano	*árboles*	*pastos/arbustos*		
Primer inventario	urbano	450,241,918	29,911,423	12,399,617	492,552,958	42,311,040
	árboles	34,299,183	28,708,866	5,373,155	68,381,204	39,672,338
	pastos/arbustos	26,759,122	8,973,897	13,851,819	49,584,838	35,733,019
Segundo inventario (total)		511,300,223	67,594,186	31,624,591	610,519,000	
Ganancias		61,058,305	38,885,320	17,772,772		

Fuente: elaboración propia.

Figura 1
Análisis de cambio de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México 2000-2008



Fuente: elaboración propia con datos de los inventarios CentroGeo (2002) y PAOT (2010).

alcanza un porcentaje de 31.3%, esto significa, por ejemplo, que la pérdida de áreas verdes en esta alcaldía va acompañada de la aparición de muchas otras nuevas áreas verdes en otro lugar dentro del mismo periodo.

Por otro lado, la alcaldía Benito Juárez presenta el menor porcentaje de intercambio. Esto significa, una menor cantidad en la pérdida y ganancia simultánea de áreas verdes en la alcaldía.

La persistencia de las áreas verdes entre 2000 y 2008 es de 42.6 km^2, de las cuales 67.5 corresponde con zonas de árboles y el resto a pastos y arbustos. Finalmente, en cuanto a las principales transiciones identificadas, se puede observar que la pérdida de áreas verdes es de 61.1 km^2, mientras que la aparición de nuevas áreas verdes es de 42.3 km^2. Los intercambios entre árboles y pastos/arbustos alcanza la cifra de 14.3 km^2.

3.2. Análisis de las áreas verdes urbanas para las categorías del inventario 2017

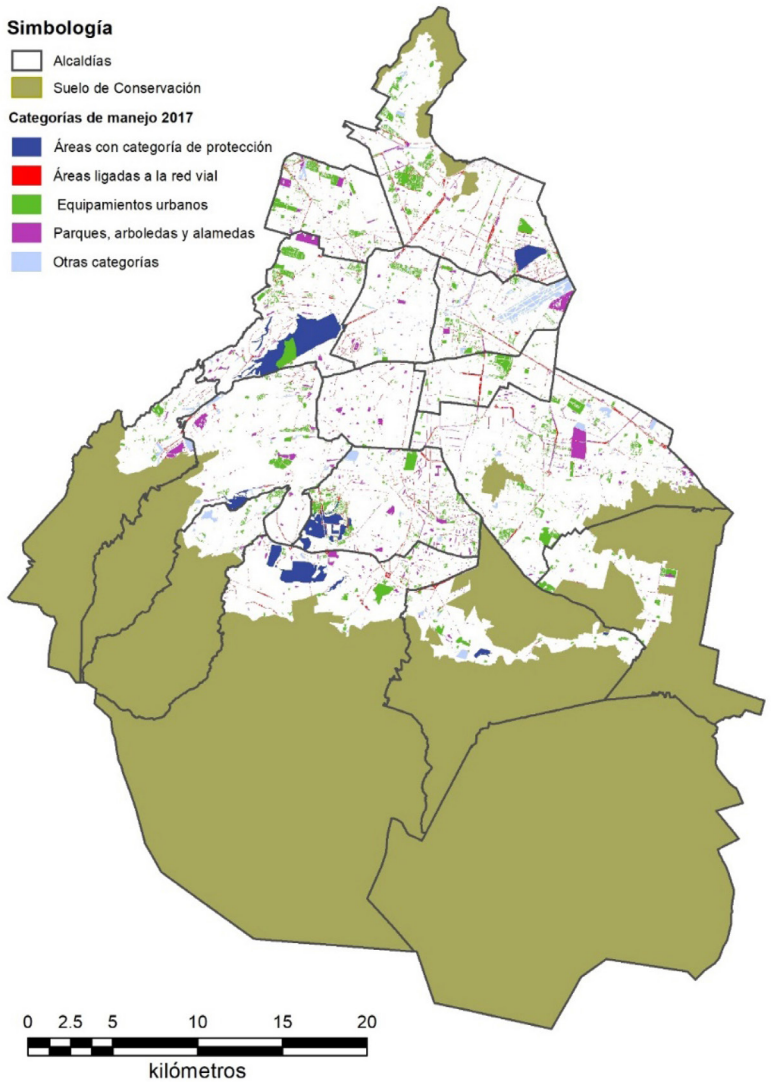
En esta sección se analizan la persistencia y las transiciones de áreas verdes a suelo urbano y de suelo urbano a áreas verdes, a partir de las categorías de manejo, presentes en la Actualización del Inventario de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México 2017 (Sedema, 2020).

Con respecto del primer inventario de áreas verdes (CentroGeo, 2002), de los 117.97 km^2 de áreas verdes analizadas en este trabajo, 38.2 km^2 estaban ubicados dentro de las áreas verdes con alguna de las categorías de manejo reportadas en el último inventario de la ciudad (Sedema, 2020). Para el segundo inventario (PAOT, 2010), de los 99.22 km^2 considerados en este inventario, la cifra dentro de áreas verdes con categoría de manejo aumenta a 41.5 km^2. Si bien se observa un aumento en la cantidad de áreas dentro de alguna categoría de manejo, alrededor del 58% de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México, reportadas en 2008, carecían de manejo de alguna de las categorías de áreas verdes consideradas en la Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal (*GODF*, 2000).

La figura 2 muestra la distribución espacial de las áreas verdes por cada una de las categorías de análisis. Un total de 72.4 km^2 en donde la categoría de Equipamiento urbano con vegetación representa un porcentaje de 37.4%, Áreas con categoría de protección, 21.6%; Parques, arboledas y alamedas, 16.6%; Áreas verdes complementarias o ligadas a la red vial, 12.8%; mientras que el resto de las categorías todas juntas apenas suman 11.6 por ciento.

Con respecto de estos datos, de los 42.6 km^2 de persistencia de áreas verdes entre 2000 y 2008, 56.5% se conserva dentro de áreas verdes con alguna de las categorías de manejo mostradas en la figura 2. Con respecto de la pérdida de áreas verdes cuantificada en 61.1 km^2, 82.2% de esa pérdida de áreas verdes en la ciudad ocurre fuera de las áreas verdes con categoría de manejo. Finalmente, con relación a la ganancia de áreas verdes estimada en 42.3 km^2, apenas 32.5% ocurre en áreas verdes con categoría de manejo. Lo anterior significa que, para las áreas verdes dentro de alguna de las categorías de manejo identificadas en el inventario más reciente de la ciudad, existe un cambio neto de 2.9 km^2 de nuevas

Figura 2
Categorías de áreas verdes en suelo urbano de la Ciudad de México (2017)



Fuente: elaboración propia con datos del inventario Sedema (2020).

áreas verdes entre 2000 y 2008, mientras que para las áreas verdes fuera de las categorías de manejo, el cambio neto es un déficit de 21.6 km^2.

3.3. Análisis de las áreas verdes urbanas por zonificación de uso del suelo

En esta sección, se emplean las categorías de uso de suelos específicos de los Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano y los Programas Parciales de Desarrollo Urbano. Al analizar los 50.2 km^2 de áreas verdes urbanas pérdidas fuera de categorías de manejo, se observa que 13.0 km^2 se pierden en frentes de manzana o en la vía pública, principalmente. De esa cantidad, 69.6% corresponde con la categoría de árboles.

Los restantes 37.2 km^2 de áreas verdes urbanas perdidas entre 2000 y 2008, corresponde a áreas verdes perdidas dentro de predios con usos de suelo específico, de los cuales 45.8% corresponden a pastos/arbustos y el resto a zonas arboladas. De estas áreas verdes perdidas por cambio de uso de suelo, 63.1% corresponde con alguna categoría de uso de suelo habitacional; 17.2%, a la categoría de equipamiento; 11.5%, a la categoría de área verde o espacio abierto; 4.6%, a alguna otra categoría específica de PPDU; 1.8%, a la categoría de uso de suelo industrial, y el restante 1.8%, a categorías específicas asociadas con oficinas y corporativos, centros comerciales y estacionamientos, principalmente.

4. Discusión

Desde hace 20 años, el Gobierno de la Ciudad de México ha promovido la realización de diversos inventarios de áreas verdes urbanas que han permitido conocer la ubicación, superficie, distribución y los tipos de áreas verdes urbanas, basados en diferentes definiciones, fuentes de datos, metodologías, periodos de tiempo y escalas. Lo que plantea un desafío importante para un análisis y la generación de información necesaria para la gestión y planificación de la infraestructura verde de la ciudad.

En este trabajo se emplearon los tres inventarios de áreas verdes que la Ciudad de México ha generado en este siglo para acercarse al entendimiento de la dinámica de cambio de las áreas verdes urbanas, mediante el empleo de la matriz de tabulación cruzada o matriz de transición. Este método de análisis espacial está influenciado por los insumos cartográficos empleados. Por lo que, para su ejecución, se realizaron una serie de tratamientos durante el procesamiento de datos, para asegurar que el análisis de cambio se llevara a cabo garantizando la calidad de los insumos. Para ello se homogenizó el área de estudio y la unidad mínima de mapeo;

para ambos inventarios, se recategorizaron las clases de análisis de cambio y se predeterminó la configuración del entorno de análisis de cambio a fin de alinear el ráster del segundo inventario con respecto del primero.

Se obtuvieron superficies comprables de áreas verdes, de 117.97 km^2 para el 2000 y de 99.22 km^2 para el 2008. La cuantificación general de cambio muestra una pérdida neta de 18.7 km^2 de áreas verdes urbanas a lo largo de ocho años. Dicha cifra se explica a partir de una gran dinámica de pérdidas y ganancias brutas de áreas verdes de 61.1 km^2 y 42.3 km^2, respectivamente. De esos 61.1 km^2 de áreas verdes perdidas en la Ciudad, 82.2%, alrededor de 50.3 km^2, ocurrió en espacios verdes privados e informales, es decir, en áreas verdes carentes de manejo por parte de las autoridades de la ciudad. El 26% de esta pérdida está asociada principalmente al derribo de árboles en frentes de manzana y vía pública, una práctica ampliamente documentada en la ciudad (Novoa Gutiérrez, 2019; Rodríguez Licea y Figueroa Viruega, 2017; Checa-Artasu, 2016).

El resto de las áreas verdes perdidas se asocian a la pérdida casi por igual de árboles, pastos y arbustos dentro de predios con alguna categoría de uso de suelo habitacional (63.1%), equipamiento (17.2%), espacios abiertos (11.5%), planes parciales de desarrollo urbano (4.6%), y usos industriales, así como centros comerciales y estacionamientos (3.6%), principalmente.

Por otro lado, al analizar la dinámica de las áreas verdes del 2000 al 2008 en las categorías de mapeo, reportadas en el inventario de 2017, se observa un incremento en la cantidad de áreas verdes, resultado de una pérdida de 10.9 km^2 y una ganancia de 13.7 km^2, para una diferencia neta positiva de 2.9 km^2. Este resultado positivo en el incremento de áreas verdes con gestión formal de las autoridades, de alguna manera es esperado con relación a que la apuesta por las áreas verdes en la Ciudad de México se ha centrado en mejorar la calidad de las áreas verdes ya existentes, realizando para ellas proyectos de remodelación o recuperación (Meza-Aguilar *et al.*, 2017).

Con respecto de la persistencia, 42.6 km^2 de áreas verdes permanecieron sin cambio entre el primero y segundo inventario, y de ellas se observa una mayor persistencia de áreas verdes en áreas con una categoría específica de manejo (56.5%) a diferencia de las áreas verdes persistentes privadas o informales (43.5%). Finalmente, y con respecto de las principales transiciones observadas, la pérdida de árboles a costa de nuevas construcciones urbanas es la dinámica más observada, seguida de la aparición de nuevas zonas arboladas a costa principalmente de la pérdida de pastos.

La versión accesible de la Actualización del Inventario de las Áreas Verdes de la Ciudad de México presenta un inventario centrado en una fracción de los espacios verdes urbanos, referidos únicamente a aquellos

de los que el gobierno de la ciudad es formalmente responsable; lo cual deja fuera del alcance de este tercer inventario los espacios verdes privados e informales. No obstante, sus resultados, permitieron diferenciar la dinámica de cambio a partir de las diferentes categorías de manejo y la ausencia de ésta en áreas verdes privadas e informales.

Basado en el análisis de cambio de las áreas verdes urbanas, se podría concluir que las políticas de enverdecimiento urbano impulsadas en las diferentes categorías de manejo han mantenido los espacios verdes urbanos de la ciudad, de hecho, se han incrementado dentro de estas áreas, producto de una política de mejora y recuperación de áreas verdes urbanas. Pero en las áreas verdes privadas o informales que representan aproximadamente 60% de las áreas verdes urbanas totales de la ciudad, el cambio de uso de suelo habitacional ha sido la principal fuerza impulsora de cambio.

Si bien, las áreas verdes urbanas públicas generalmente se utilizan para proporcionar un hábitat clave en las ciudades, los espacios verdes en la propiedad privada constituyen una gran parte de la base terrestre urbana y brindan funciones importantes para el hábitat y los servicios de los ecosistemas que respaldan la función de la ciudad (Cerra, 2017).

Los resultados obtenidos muestran que un alto porcentaje de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México son áreas verdes privadas o informales que no han sido incorporadas a la matriz ecológica de la ciudad. Estos tipos de áreas verdes presentan una mayor pérdida dentro de predios particulares con uso de suelo habitacional. Por lo que es apremiante explorar estrategias emergentes para catalizar la custodia voluntaria de las áreas verdes privadas e informales. El potencial de los espacios verdes urbanos para proporcionar servicios ecosistémicos a los habitantes de las ciudades depende de si se gestionan como un sistema integral de infraestructura verde urbana, o como islas que caen bajo la responsabilidad de diferentes partes interesadas (Feltynowski *et al*., 2018).

Conclusiones

Con el crecimiento de las ciudades, las áreas verdes varían en área, tipo y patrón espacial. Para optimizar las áreas verdes urbanas en el futuro, es necesario comprender las fuerzas impulsoras en los procesos de cambio en el espacio verde urbano. Por lo tanto, la comprensión de los factores naturales y sociales que influyen en los cambios del espacio verde urbano parece muy importante para la planificación urbana futura de los espacios verdes.

En este trabajo, se emplearon métodos de análisis espacial para el estudio de cambio de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México, evitando errores por la diferencia en las fuentes de datos, definiciones, áreas de estudio y fechas de insumos empleados y publicados.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la pérdida de áreas verdes en la Ciudad de México ocurre principalmente en áreas verdes urbanas privadas e informales sin categorías de manejo, principalmente en frentes de manzana o en la vía pública y dentro de predios con uso de suelo habitacional. No obstante, las áreas verdes urbanas con manejo muestran un ligero incremento, principalmente de superficie arbórea, durante el periodo de estudio.

Incorporar de manera adecuada la gestión de las áreas verdes de la Ciudad de México en su camino hacia la sostenibilidad implica incorporar mecanismos de gestión al total de los espacios verdes urbanos, que hasta ahora no cuentan con una categoría específica de manejo o estrategia de gestión, pero que sin duda aportan al flujo de servicios ecosistémicos, de los cuales, todos los habitantes de la ciudad se benefician.

Fuentes consultadas

ADIP (Agencia Digital de Innovación Pública) (2020), "Datos Abiertos Ciudad de México", Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, <https://cutt.ly/Tm03190>, 22 de mayo de 2020.

Alam, Rizwana; Shirazi, Safdar Ali; Muhammad Nasar, Bhalli y Muhammad Zia, Syed (2014), "Spatial distribution of urban green spaces in Lahore, Pakistan: A case study of Gulberg Town", *Pakistan Journal of Science*, 66 (3), Pakistan, Pakistan Association for the Advancement of Science, pp. 277-281.

Benítez, Griselda; Chacalo, Alicia y Barois, Isabelle (1987), "Aportes a la ecología urbana de la Ciudad de Mexico", en Eduardo Rapoport e Ismael López-Moreno (eds.), *Aportes a la Ecología Urbana de la Ciudad de México*, Ciudad de México, Limusa, pp. 193-201.

Berdegué, Julio Antonio; Ospina, Pablo; Favareto, Arilson; Aguirre, Francisco; Chiriboga, Manuel; Escobal, Javier; Fernandez, Ignacia; Gomez, Ileana; Modrego, Félix; Ramírez, Eduardo; Ravnborg, Helle Munk; Schejtman, Alexander y Trivelli Carolina (2011), "Determinantes de las dinámicas de desarrollo territorial rural en América Latina", Documento de Trabajo núm. 1, Programa

Dinámicas Territoriales Rurales, Santiago de Chile, Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (Rimisp).

Braimoh, Ademola (2006), "Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113 (1), Amsterdam, Elsevier, pp. 254-263, doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.019

Byrne, Jason y Sipe, Neil (2010), "Green and open space planning for urban consolidation–A review of the literature and best practice", Brisbane, Griffith University.

CentroGeo (Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo") (2002), *Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal*, Ciudad de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Cerra, Joshua (2017), "Emerging strategies for voluntary urban ecological stewardship on private property", *Landscape and Urban Planning*, 157, Amsterdam, Elsevier, pp. 586-597, doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.016

Checa-Artasu, Martín Manuel (2016), "Las áreas verdes en la Ciudad de México. Las diversas escalas de una geografía urbana", *Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21 (1.159), Barcelona, Departament de Geografía de la Universitat de Barcelona, pp. 1-22, doi.org/10.1344/b3w.0.2016.26339

Chen, Jin; Gong, Peng; He, Chunyang; Luo, Wei; Tamural Masayukl y Shi, Peljun (2002), "Assessment of the urban development plan of Beijing by using a CA-based Urban Growth Model", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68 (10), Bethesda, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 1063-1071.

Dahmann, Nicholas; Wolch, Jennifer; Joassart-Marcelli, Pascale; Reynoldsy, Kim y Jerrett, Michael (2010), "The active city? Disparities in provision of urban public recreation resources", *Health & Place*, 16 (3), Amsterdam, Elsevier, pp. 431-445, doi.org/10.1016/j.healthplace.2009.11.005

Escobedo, Francisco J.; Kroeger, Timm y Wagner, John (2011), "Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services

and disservices", *Environmental Pollution*, 159 (8-9), Amsterdam, Elsevier, pp. 2078-2087, doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010

ESRI (Environmental Systems Research Institute), (2020), "ArcGis Desktop" 10.8 Edition, Redlands, CA, Environmental Systems Research Institute.

Feltynowski, Marcin; Kronenberg, Jakub; Bergier, Tomasz; Kabisch, Nadja; Laszkiewicz, Edyta y Strohbach, Michael (2018), "Challenges of urban green space management in the face of using inadequate data", *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, Amsterdam, Elsevier, pp. 56-66, doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.003

Ferguson, Mark; Roberts, Hannah; McEachan, Rosemary y Dallimer, Martin (2018), "Contrasting distributions of urban green infrastructure across social and ethno-racial groups", *Landscape and Urban Planning*, 175, Amsterdam, Elsevier, pp. 136-148, doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.020

Flores-Xolocotzi, Ramiro (2017), "Una reflexión teórica sobre estándares de áreas verdes empleados en la planeación urbana", *Economía, Sociedad y Territorio*, 17 (54), Toluca, El Colegio Mexiquense A. C., pp. 491-522, doi.org/10.22136/est002017682

Fuller, Richard y Gaston, Kevin (2009), "The scaling of green space coverage in European cities", *Biology Letters*, 5 (3), London, The Royal Society, pp. 352-355, doi.org/10.1098/rsbl.2009.0010

Gallopin, Gilberto; Hammond, Al; Raskin, Paul; Swart, Rob (1997), *Branch points: global scenarios and human choice*, PoleStar Series Report, 7, Stockholm, Stockholm Environment Institute.

Giglia, Angela (2013), "Entre el bien común y la ciudad insular: la renovación urbana en la Ciudad de México", *Alteridades*, 23 (46), Ciudad de México,Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa/Departamento de Antropología, pp. 27-38.

GODF (Gaceta Oficial del Distrito Federal) (2000), "Ley ambiental de protección a la tierra en el Distrito Federal", 13 de enero 2000, Ciudad de México, Gobierno del Distrito Federal, <https://acortar.link/AZoqW>, 22 de mayo de 2020.

Groenewegen, Peter; Van den Berg, Agnes; de Vries, Sjerp y Verheij, Robert (2006), "Vitamin G: effects of green space on health, well-being, and social safety", *BMC Public Health,* 6 (149), London, Springer Nature, pp. 1-9, doi.org/10.1186/1471-2458-6-149

Guevara Sada, Sergio y Moreno Casasola, Patricia (1986), "Áreas verdes de la zona metropolitana de la ciudad de México", en Gustavo Garza (comp.), *Atlas de la Ciudad de México,* Ciudad de México, Departamento del Distrito Federal-Colegio de México, pp. 231-236.

Habitat-ONU (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos) (2015), "Habitat III Issue Papers: 11-public space", In Available for the Conference on Housing and Sustainable Urban Development at Quito, Quito, ONU-Habitat.

Hinojosa Robles, Eduardo (2014), "El manejo de áreas verdes en la Ciudad de México y Pekín: la búsqueda de la sustentabilidad en grandes ciudades", *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*, 6 (1), Ciudad de México, Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pp. 69-77.

IG (Instituto de Geografía) (2017), "Actualización del Inventario de Áreas Verdes de la Ciudad de México", Ciudad de México, Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México.

Ko, Hajung y Son, Yonghoon (2018), "Perceptions of cultural ecosystem services in urban green spaces: A case study in Gwacheon, Republic of Korea", *Ecological Indicators*, 91, Amsterdam, Elsevier, pp. 299-306, doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.006

Kuo, Frances (2011), "Parks and other green environments:'essential components of a healthy human habitat'", *Australasian Parks and Leisure*, 14 (1), Nueva Zelanda, National Library of Australia, pp. 10-12.

López-Caloca, Alejandra A. y Muñoz, Enrique (2012), "Aportaciones desde la geocibernética y la percepción remota a la política pública de áreas verdes urbanas", *GEOcibernética: I+ G+ S,* 1 (1), Ciudad de México, Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", pp. 1-11.

López-Caloca, Alejandra A.; Mora, Franz y Escalante-Ramírez, Boris (2004), "Mapping and characterization of urban forest in Mexico City",

Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III, 5239, Bellingham, International Society for Optics and Photonics, pp. 522-531, doi.org/10.1117/12.514311

Maldonado-Bernabé, Guillermo; Chacalo-Hilu, Alicia; Nava Bolaños, Isalia; Meza Paredes, Rosa Michelle y Zaragoza Hernández, Alejandra Yunuen (2019), "Cambios en la superficie de áreas verdes de la Ciudad de México entre 1990-2015", *Polibotánica*, (48), Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional, pp. 205-230, doi.org/10.18387/polibotanica.48.15

Martínez González, Lorena (2008), *Árboles y áreas verdes urbanas: de la Ciudad de México y su zona metropolitana*, Tepotzotlán, Fundación Xochitla Sedra-Comisión Nacional Forestal (Conafor)-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).

McConnachie, Matthew y Shackleton, Charlie (2010), "Public green space inequality in small towns in South Africa", *Habitat International*, 34 (2), Amsterdam, Elsevier, pp. 244-248, doi.org/10.1016/j.habitatint.2009.09.009

Meza-Aguilar, María del Carmen; Ramírez-Velázquez, Leticia y Larrucea-Garritz, Amaya (2017), "Recuperación de áreas verdes urbanas. La importancia del diagnóstico fitosanitario para la intervención", *Legado de Arquitectura y Diseño*, 12 (22), Toluca, Universidad Autónoma del Estado de México, pp. 1-11.

Moncada Maya, José Omar y Meza Aguilar, María del Carmen (2010), "Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual", *Scripta Nova Revista Electrónica De Geografía y Ciencias Sociales*, 14 (331), Barcelona, Universidad de Barcelona, pp. 1-22.

Novoa Gutiérrez, Víctor Javier (2019), "Modernización urbana y conflicto por el espacio en la Ciudad de México: la aniquilación del paisaje comunitario-barrial en el pueblo de Xoco", *Revista Fuentes Humanísticas*, 31 (58), Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, pp. 119-130, doi/org/10.24275/uam/azc/dcsh/fh/2019v31n58/Novoa

Núñez, Juan Manuel y Romero, Marisol (2016), "Imperativos para una ciudad sustentable: áreas arboladas y planeación territorial", en Alejandro Mohar (ed.), *Tendencias territoriales determinantes del*

futuro de la Ciudad de México, Ciudad de México, Consejo Económico y Social de la Ciudad de México, pp. 311-339.

PAOT (Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial) (2010), *Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México*, Ciudad de México, Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT).

PAOT (Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial) (2018), *Las áreas verdes de la Ciudad de México, una visión integral*, México, Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT).

PAOT (Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial), (2020), "Sistema de Información del Patrimonio Ambiental y Urbano de la Ciudad de México", Ciudad de México, Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT), <http://200.38.34.15:8008/mapguide/sig/siginterno.php>, 22 de mayo de 2020.

Pontius, Robert Gilmor; Shusas, Emily y McEachern, Menzie (2004), "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101 (2-3), Amsterdam, Elsevier, pp. 251-268, doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008

Pontius, Robert Gilmore; Krithivasan, Roopa; Sauls, Laura; Yan, Yan y Zhang, Yujia (2017), "Methods to summarize change among land categories across time intervals", *Journal of Land Use Science*, 12 (4), Londres, Taylor & Francis, pp. 218-230, doi.org/10.1080/1747423X.2017.1338768

Rodríguez Licea, Minerva y Figueroa Viruega Arturo (2017), "El impacto ambiental producido por la pérdida de áreas verdes en la Ciudad de México, una problemática creciente del siglo XXI", *HistoriAgenda*, 3 (36),Ciudad de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, pp. 98-106.

Romero-Ruiz, María Isabel; Flantua, Suzette; Tansey, Kevin; Berrio, Juan Carlos (2012), "Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia", *Applied Geography*, 32 (2),

Amsterdam, Elsevier, pp. 766-776, doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.010

Rupprecht, Christoph y Byrne, Jason (2014), "Informal urban greenspace: A typology and trilingual systematic review of its role for urban residents and trends in the literature", *Urban Forestry & Urban Greening*, 13 (4), Amsterdam, Elsevier, pp. 597-611, doi.org/10.1016/j.ufug.2014.09.002

Schejtman, Alexander y Berdegué, Julio (2004), *Desarrollo territorial rural*, Santiago de Chile, Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (Rimisp).

Schneider, Laura y Pontius, Robert Gilmor (2001), "Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA", *Agriculture, ecosystems & environment*, 85 (1), Amsterdam, Elsevier, pp. 83-94, doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00189-X

Sedema (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México) (2020), "Inventario de Áreas Verdes", Ciudad de México, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, <https://cutt.ly/UmfMyUF>, 30 de junio de 2021.

Seduvi (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Ciudad de México) (2020), "Programas de Desarrollo Urbano", Ciudad de México, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Ciudad de México, <https://cutt.ly/ImfMqKi>, 30 de junio de 2021.

Sorensen, Mark; Smit, Jac; Barzetti, Valerie y Williams, John (1997), *Good practices for urban greening*, Washington, D. C., Inter-American Development Bank.

Sudipto, Roy; Byrne, Jason y Pickering, Catherine (2012), "A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones", *Urban Forestry & Urban Greening*, 11 (4), Amsterdam, Elsevier, pp. 351-363, doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006

Wolch, Jennifer; Byrne, Jason y Newell, Joshua (2014), "Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'", *Landscape and Urban Planning*, 125, Amsterdam, Elsevier, pp. 234-244, doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

Yang, Xin. y Lo, C. P. (2002), "Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area", *International Journal of Remote Sensing*, 23 (9), Londres, Taylor & Francis, pp. 1775-1798, doi. org/10.1080/01431160110075802

Recibido: 5 de septiembre de 2020.
Reenviado: 8 de noviembre de 2021.
Aceptado: 17 de enero de 2021.

Juan Manuel Núñez. Doctor en Geomática por el Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", A. C. (CentroGeo). Actualmente es académico de tiempo completo del Centro Transdisciplinar Universitario para la Sustentabilidad de la Universidad Iberoamericana Ciudad de México y profesor de asignatura de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel candidato. Su principal línea de investigación es la geomática aplicada a la sustentabilidad. Entre sus últimas publicaciones destacan: "High-resolution satellite imagery classification for urban form detection", en Rustam Rustamov (ed.), *Satellite Information Classification and Interpretation*, Ciudad de México, IntechOpen, pp. 1-14 (2019); "Applying integrated valuation of ecosystem services in Latin America: Insights from 21 case studies", *Ecosystem Services*, 36 (100901), Ámsterdam, Elsevier, pp. 1-12 (2019); y "Conectando el frente de agua marítimo de la zona costera norte de Yucatán con la zona metropolitana de Mérida", en Alfonso Iracheta, Carolina Inés Pedrotti y Patricia Rodríguez Alomá (coords.), *Suelo urbano y frentes de agua. Debates y propuestas en Iberoamérica*, Toluca, El Colegio Mexiquense, A. C., pp. 171-190 (2017).