



Características del arbolado del Panteón Civil Dolores y valoración de sus servicios ambientales

Characteristics of the tree cover of Dolores Civil Cemetery and valuation of its environmental services

Héctor Mario Benavides Meza^{1*} y Noemí García Ponce²

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Ciudad de México, México

² Prestadora de servicios profesionales

* Autor de correspondencia.
benavides.hector@inifap.gob.mx

RESUMEN

El bosque urbano suele asociarse generalmente a parques y jardines; sin embargo, los cementerios también son componentes importantes del mismo y cuentan con una característica multifuncional, pues además del servicio funerario que proporcionan a la sociedad, suelen tener cubiertas arboladas que contribuyen a mejorar estética y ambientalmente, tanto el cementerio como la trama urbana cercana. El arbolado del Panteón Civil Dolores era un recurso ignorado, pues nunca se había determinado su estructura y condición física y sanitaria, fundamental para definir acciones para su mejora, así como los servicios ambientales que aporta. El cementerio civil es el más antiguo en su tipo y el de mayor superficie (112 ha) de la Ciudad de México y probablemente del país, aunado a que cuenta con sitios históricos y emblemáticos como la Rotonda de las Personas Ilustres. Se realizó el diagnóstico del arbolado por medio de un muestreo, utilizando 102 sitios de 600 m², en el cual se registraron 1051 individuos con un diámetro normal superior a 5 cm y 30 brinzales, pertenecientes a 44 especies arbóreas. Se determinó, asimismo, la frecuencia y dominancia relativa de las especies, valores dasométricos promedio, características físicas y sanitarias del arbolado y requerimientos de mantenimiento. Con base en dicha información, se estimaron los parámetros de toda la cubierta arbórea del cementerio, así como de los servicios ambientales que generan y el valor económico que implican. Esta publicación sienta un precedente en el estudio del arbolado en los cementerios, que se espera sirva de referencia para su mejora.

PALABRAS CLAVE: arbolado en cementerios, áreas verdes urbanas, bosque urbano, Ciudad de México, diversidad de especies arbóreas urbanas.

ABSTRACT

The urban forest is commonly associated to city parks and gardens; however, cemeteries are also an important component of this type of forest. Cemeteries have the particularity to be a multifunctional services provider, because in addition to the funerary services that they facilitate, usually they have extensive tree covers that improve the aesthetics, functionality and environmental conditions of the place and the urban surroundings. The characteristics of the tree cover of Dolores Civil Cemetery was never determined before, and no information exists about the structure of the tree cover, the physical and sanitary condition of trees, as well as the environmental services that provide. Dolores cemetery is the oldest of its kind and the largest in Mexico City (112 ha), (and probably of the country), and preserves historic and emblematic sites like the Pantheon of Illustrious Persons. Tree cover diagnostic was implemented through a sampling inventory with 102 sites of 600 m², where 1051 arboreal individuals (dbh of 5 cm and over), and 30 young trees were recorded from 44 species. Frequency and relative dominance of the species were determined, as well as the mean values in such aspects as height, dbh, basal diameter, crown cover, physical and sanitary conditions, and maintenance requirements. The entire tree cover characteristics was estimated considering the sampling data, in addition to the environmental services that provide and their economic value. This publication creates a precedent, which could be useful to improve the condition of the tree cover in the cemetery by the personnel in charge.

KEYWORDS: cemetery trees, urban green spaces, urban forest, Mexico City, urban tree species diversity.

INTRODUCCIÓN

El concepto de bosque urbano suele asociarse, en principio, a los parques y jardines ciudadanos; sin embargo, los cementerios o panteones también se consideran como componentes importantes del mismo, al igual que las riberas de los ríos o el arbolado de alineación (Benavides, 1989). A los cementerios se les considera áreas verdes urbanas (AVU) multifuncionales pues, en adición al servicio social de tipo funerario que proporcionan, contribuyen gracias a su arbolado, con una amplia gama de servicios ambientales en beneficio de la población citadina y el entorno urbano (Fig. 1).

Los servicios ambientales que proporcionan las AVU han sido reconocidos desde hace varias décadas; de ellos se pueden destacar: la contribución para aminorar los escurrimientos derivados de la precipitación pluvial, el incremento de infiltración del agua al subsuelo, la retención de contaminantes atmosféricos, la captura de carbono y su inmovilización por un tiempo prolongado, con lo cual contribuyen a la mitigación del calentamiento global y a la reducción de la isla urbana de calor. Las AVU proporcionan además un hábitat a la fauna y flora, lo que se ha ido documentando con el paso de los años (McBarron et al., 1988; Benavides, 1989; Grey y Deneke, 1992; Harris et al., 2004; Lezama y Graizbord, 2010; Benavides, 2015a; Livesley et al., 2016; Salbitano et al., 2017; Borelli et al., 2018).

En relación con lo anterior, pero en específico para los cementerios, resaltan los trabajos de avifauna de Lussenhop (1977), Varona (2001), Cárdenas (2014) y Smith y Minor (2019) en las ciudades de Chicago, Ill., México, D.F. y Guadalajara, Jalisco.

Para muchos ciudadanos, las AVU son la única alternativa para estar un contacto cercano con ambientes naturales (Benavides, 1989), razón por la cual los recintos funerarios, gracias a sus cubiertas arboladas, son lugares que proporcionan esa posibilidad, además de coadyuvar a contrarrestar los diversos desafíos ambientales que afrontan las ciudades y sus habitantes.

Aspectos sociales

No se tienen estadísticas precisas sobre el número de visitantes a los cementerios de las ciudades de México, aunque se conoce que, a lo largo del año, las personas van a visitar a sus difuntos, lo cual llega a su máximo en las festividades de muertos. Como un ejemplo de lo anterior, la Alcaldía Miguel Hidalgo de la Ciudad de México (en la cual se ubica el Panteón Civil de Dolores PCD) registró la presencia de 120 000 personas en esas fechas (Contreras, 2021); la visita a los difuntos durante los días de muertos también se registra en otros cementerios del mundo (Murakami, 2021; Sallay et al., 2022). Algunos de esos cementerios son, incluso, lugares de atracción turística por sus monumentos funerarios o por las personas que fueron enterradas en el lugar (Toussaint y Decrop, 2013; Sallay et al., 2022). Cabe destacar que la presencia constante de personas en los cementerios obliga, desde el punto de vista operativo, a mantener en las mejores condiciones posibles esos lugares, lo cual incluye forzosamente la condición de los árboles.

Arbolado y cementerios

Muchos cementerios en el mundo son propiedad de las ciudades y, a pesar de la importante cubierta arbolada que tienen, no suelen estar incluidos como parte de su infraestructura verde (Nordh y Swensen, 2018). Esta situación es muy común en las ciudades de México, y los gobiernos locales no consideran a los cementerios como componentes de sus bosques urbanos, lo cual conlleva a que las actividades de mantenimiento arbóreas no sean atendidas por el personal de la estructura gubernamental a cargo del recurso arbóreo. Esta circunstancia pone en riesgo al arbolado, pues la estructura administrativa de los panteones no cuenta con personal especializado en esta temática, lo que, a su vez, produce que, en el mejor de los casos, las actividades de mantenimiento arbóreo se apliquen de manera responsiva cuando surge un problema y solo para solucionar el mismo (Fig. 2).

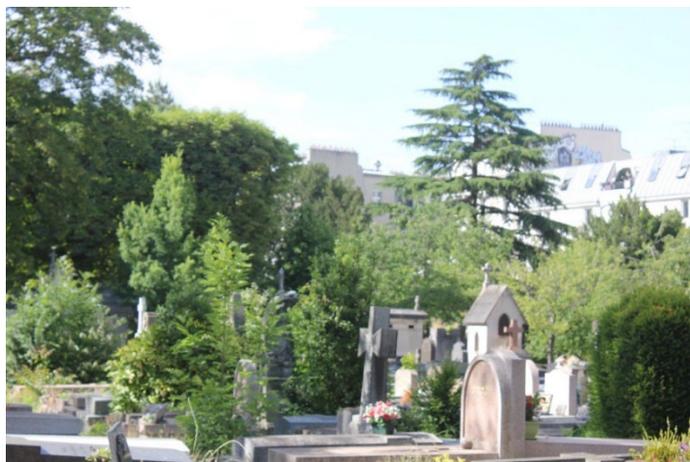


FIGURA 1. Ejemplo de arbolado en cementerios como contribución a los servicios ambientales urbanos.



FIGURA 2. Daños ocasionados por la falta de monitoreo y mantenimiento especializado al arbolado del Panteón Civil Dolores.

La escasa documentación existente sobre los cementerios de la Ciudad de México y del país, solo aborda por lo general aspectos arquitectónicos e históricos, por lo que hasta la fecha se desconoce la composición, condición y características de sus masas arboladas; situación que se repite en los países hispanohablantes, pues no existen publicaciones al respecto. La única excepción es un artículo publicado por Nicolás (1991), quien bajo una óptica primordialmente arquitectónica funeraria, abordó de manera

colateral el tema del arbolado en los cementerios de Murcia, España e incluso refiere una publicación de 1885 llamada “Principios de Botánica Funeraria” de Celestino Barallat y Felguera, el cual no fue posible consultar por los autores de este manuscrito. Nicolás (1991) refiere que, para el siglo XIX, ya se consideraba imprescindible la presencia de arbolado en los cementerios, acorde con las teorías de higiene y salubridad que empezaban a prevalecer hacia la mitad de ese siglo.

En el caso de la Ciudad de México, desde el año de 1834 el gobierno promovió la plantación de árboles en el cementerio de Santiago Tlatelolco (Cabildo de la Ciudad de México, 1834). Asimismo, Alcaraz (2008) refiere que Dublán y Lozano en 1876 ya mencionaban que los árboles eran parte importante de los cementerios, pues en la Ley de Establecimiento y Uso de Cementerios emitida por el Gobierno Mexicano en 1857 (en el contexto de las Leyes de Reforma), se refería que “*debía procurarse la plantación de árboles para purificar el entorno*”. Años después, el Consejo Superior de Salubridad determinó para el PCD, “la plantación de abundantes vegetales sobre los sepulcros y de árboles, de preferencia de follaje obscuro entre las divisiones del panteón” (Alcaraz, 2008).

En los países de habla inglesa, el número de publicaciones sobre características y condiciones del arbolado en cementerios es más numerosa y estas se relacionan principalmente con antiguas posesiones británicas. Por lo general dichos trabajos se realizaron en cementerios con una superficie mucho menor a la del PCD; entre ellos sobresale el trabajo de McBarron et al. (1988) que se realizó en Sydney, Australia.

Breves antecedentes del Panteón Civil Dolores

En 1874 la Sociedad Benfield, Becker y Compañía adquirió el lugar en donde se encuentra el panteón, con el fin de establecer un cementerio civil en el que se pudieran sepultar personas de cualquier religión (Miranda et al., 2012). El panteón originalmente tenía una extensión de 1 000 000 de varas (702 244 m²) y fue inaugurado el 13 de septiembre de 1875 (Herrera, 2004; Herrera, 2013). Casi un año más tarde (21 de marzo de 1876), se inauguró un espacio dedicado a mexicanos distinguidos (compromiso de la empresa al obtener la concesión), conocido actualmente como la Rotonda de las Personas Ilustres (Herrera, 2004). No obstante lo anterior, la Sociedad Benfield se enfrentó a varios problemas, entre ellos, la distancia desde la ciudad y lo difícil del camino (pendiente relativamente pronunciada desde Chapultepec), que hacía poco utilizable el panteón. La adversa situación económica indujo a la Sociedad a proponer al gobierno federal que comprara el cementerio,

lo cual finalmente se realizó en 1879 (Alcaraz, 2008). En 1892 el panteón se amplió hacia el norte con la adquisición de 421 520 m² a la Sociedad Cuevas y Velasco, con lo cual se alcanzó la superficie actual de 1 123 764 m² (Herrera, 2004; Herrera, 2013).

Diagnóstico de las AVU y cuantificación valoración de los servicios ambientales

De acuerdo con Benavides (2015a), el conocimiento de las condiciones y de la estructura de la masa arbolada de un AVU son fundamentales para determinar las actividades correctivas y preventivas que deben ser llevadas a cabo para su protección, conservación y mejora, e incluso si es posible, generar un programa de manejo (Benavides, 2015b).

Tanto en México como en otros países, se han llevado a cabo desde hace décadas diagnósticos de arbolado urbano utilizando metodologías de inventario; como ejemplo, se pueden listar los trabajos publicados por Benavides y Villalón (1992); Benavides y Segura (1996); Jim (1996); Benavides et al. (2002); Velasco et al. (2013), Román et al. (2019) y, en el caso de cementerios, Quinton et al. (2020) en Halifax, Canadá.

En México, ya existen metodologías disponibles para llevarlos a cabo (Benavides, 2015a) y, en la actualidad, los diagnósticos de arbolado en México se pueden complementar con la cuantificación de los servicios ambientales y el valor económico de los mismos, gracias a la reciente adaptación del sistema i-Tree Eco a este país (Benavides et al., 2018). Este sistema es el resultado de un trabajo pionero de los investigadores del Servicio Forestal de los Estados Unidos de América (McPherson et al., 1994; Nowak y Crane, 1998; United States Forest Service [USFS], 2017a; USFS, 2017b) y permite la evaluación y cuantificación de los beneficios del arbolado urbano gracias a los algoritmos y modelos alométricos que emplea; además, proporciona información sobre la estructura del componente del bosque urbano bajo estudio (Nowak y Dwyer, 2000; Nowak et al., 2002; Nowak et al., 2008; Martin et al., 2012; Martin et al., 2013; Hirabayashi, 2013; Timilsina et al., 2014; Rogers et al., 2015; Hirabayashi et al.,



2015; Hirabayashi, 2016; Livesley et al., 2016; Nowak, 2018; Nowak et al., 2018).

Nunca se había realizado un reconocimiento de la cubierta arbolada del PCD, ni de los servicios ambientales que aporta, por lo cual, su cuantificación y determinación incrementará su importancia para la Ciudad de México, pues con una extensión de 112 ha y cerca de 150 años de haber sido establecido, es el más antiguo en la categoría de tipo civil, de interés histórico y el más extenso de la ciudad (Alcaraz, 2008; Miranda et al., 2012; Cruz y Guillén, 2015; Gobierno de la Ciudad de México [GOCM], 2022) y muy probablemente del país.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio fueron determinar las características, condiciones y estructura de la masa arbolada del PCD y estimar los servicios ambientales que generan, así como el valor económico de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El PCD se encuentra al poniente de la Ciudad de México en la alcaldía Miguel Hidalgo, de la cual depende administrativamente. Se ubica entre las secciones segunda y tercera del Bosque de Chapultepec (Fig. 3), entre los paralelos 19°23'59" y 19°25'06" latitud norte y los meridianos 99°12'11" y 99°12'51" longitud oeste y una altitud de 2260 m s.n.m. (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [Inafed], 2010; Instituto Nacional de Estadística e Informática [Inegi], 2002).

El clima en esta región se clasifica como C(w1)(w)(i)g, es decir, templado subhúmedo con una temperatura media anual que oscila entre 12 °C y 19 °C y con una precipitación pluvial anual entre 600 mm y 1000 mm (García, 2004; Gobierno del Distrito Federal [GDF], 2006; Delegación Miguel Hidalgo [DMH], 2012). La pendiente del terreno, en términos generales, varía de 1° a 12°, con una ligera exposición hacia el noroeste y en ese extremo alcanza una pendiente mayor a 25°. De acuerdo con el Inegi (2002), el material superficial más frecuente en la zona es la toba volcánica, fácilmente erosionable, que corresponde con lo registrado para la 3ª Sección del Bosque de Chapultepec

(Programa Universitario de la Ciudad-Universidad Nacional Autónoma de México [PUEC], 2002), aledaña al PCD. La zona bajo estudio no contaba con una caracterización previa de la vegetación, por lo que podría hacerse extensivo lo registrado por el Inegi (2002) para la 3ª sección del Bosque de Chapultepec, que señalaba la presencia de un bosque artificial (*sic*) de latifoliadas, con mayor abundancia de eucalipto y en las cañadas del pie de monte, con menor grado de perturbación, especies nativas de la cuenca del Valle de México como *Buddleja cordata**, *Cupressus lusitánica**, *Fraxinus uhdei** y *Taxodium mucronatum* (Ten). Datos no publicados de las laderas y cañadas de la 3ª sección, derivados de un proyecto recientemente terminado a cargo del primero de los autores de este trabajo, permiten mencionar que las especies referidas anteriormente fueron registradas junto con otras 116, entre las que destacan por su elevada frecuencia, además de *F. uhdei*, las especies *Eucalyptus camaldulensis**, *Casuarina equisetifolia**, *Ligustrum lucidum** y *Eysenhardtia polystachya** (Benavides, datos no publicados).

Diagnóstico e inventario del arbolado mediante sitios de muestreo

Se utilizó la metodología propuesta por Benavides (2015a), que se fundamenta en una retícula de sitios de muestreo distribuidos de manera ortogonal cada 100 m, a partir de un punto aleatorio (Fig. 4); con base en las indicaciones referidas por Orozco y Brumér (2002), para un muestreo sistemático. Se dispersaron 105 puntos georreferenciados para la ubicación de los sitios de muestreo, de los cuales se establecieron 102, ya que los sitios 88, 144 y 170 se encontraban hacia el exterior del cementerio o en espacios con construcciones o vialidades. Los sitios se localizaron mediante coordenadas geográficas (sistema UTM), con una antena digital marca Trimble modelo Catalyst DA1, con servicio de posicionamiento GNSS en tiempo real y exactitud posicional submétrica y servicio de captura de datos TerraFlex Advanced. Se identificó el árbol más cercano al punto, el cual se consideró como el centro a partir del cual se trazó una línea de 13.81 m que sirvió como radio de un círculo para obtener una superficie de muestreo de 600 m².



FIGURA 3. Panteón Civil Dolores y su entorno inmediato.

Elaborado por Víctor A. Ramos Beltrán con base en una imagen de Google Earth®.

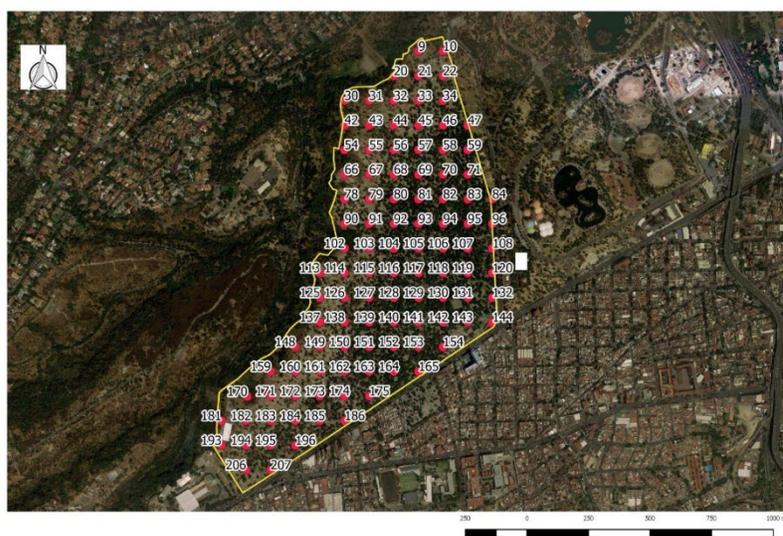


FIGURA 4. Dispersión de los sitios de muestreo en el Panteón Civil Dolores.

Elaborado por Víctor A. Ramos Beltrán con base en una imagen de Google Earth®.

Se registraron solamente aquellos individuos que tuvieran un diámetro normal igual o mayor a 5 cm y las plantas arbóreas como palmeras o yucas, se registraron siempre y cuando la altura de la base del meristemo de la copa (cogollo), estuviera por lo menos a 1.3 m de altura.

Las especies se identificaron con base en los registros obtenidos previamente en otros proyectos y, en caso de duda o material botánico nuevo, se colectaron muestras para su consulta en publicaciones especializadas (Martínez, 1948; Dallimore y Jackson, 1966; Kunkel, 1978; Dirr, 1990; Rehder, 1990; Perry, 1991; Calderón y Rzedowski, 2001;



Calderón y Rzedowski, 2004; Schulz et al., 2005; Rico, 2007; Valencia et al., 2002), o su identificación en los herbarios INIF o en el de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Los procedimientos de diagnóstico y evaluación de las variables de tipo cuantitativo y cualitativo se realizaron de acuerdo con la metodología referida (Benavides, 2015a), como sería el caso de los datos dendrométricos (altura total, diámetro normal y basal, cobertura de copa), etapa de desarrollo, condición de vigor o declinación, así como la condición física y sanitaria. La información adicional que se requería para el sistema i-Tree Eco consistió en la determinación de la altura de la copa viva y de la base de la copa, exposición de la copa a la luz y porcentaje de copa faltante y de muerte descendente, de acuerdo con la metodología USFS (2016). Los requerimientos de mantenimiento del arbolado se determinaron con base en los criterios de la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-001-RNAT-2015 (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [Sedema CDMX], 2016).

Procesamiento de la información

Los datos registrados en el inventario fueron procesados en una hoja de cálculo para obtener promedios, porcentajes y valores índice; se generaron las gráficas correspondientes. En el caso de los datos de tipo cualitativo o categórico, se obtuvieron los valores moda o valores porcentuales.

Para la cuantificación de los servicios ambientales y su valor económico, los datos se procesaron en el Sistema i-Tree Eco ya adaptado a las condiciones de México; sin embargo, el valor económico de captura y reservorio de carbono (toneladas de carbono equivalente) que arrojó el sistema se ajustó de acuerdo con el valor monetario asignado por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (12.00 USD/Mg). La misma situación se aplicó para el valor económico de la retención de contaminantes atmosféricos por el arbolado, pues i-Tree Eco lo calcula considerando los costos de atención médica de Estados Unidos de América, muy diferentes a los de México y se utilizó como indicador de ajuste lo señalado por Lorenzoni y Koechlin (2017).

Generación de estimadores

Las 102 estaciones de muestreo correspondieron a una superficie de 6.12 ha, lo que representa un poco menos de 5.5% de la superficie total del cementerio (112 ha). De acuerdo con Schreuder et al. (1993), es recomendable una intensidad mínima de muestreo de 2.5% en masas arboladas, por lo que se considera que el área muestreada es representativa y se puede hacer efectiva una proyección hacia el total del área.

La estimación de los parámetros para todo el cementerio (número de individuos, variables dasométricas, estructura, servicios ambientales y valor monetario) se realizó de acuerdo con Orozco y Brumér (2002), a partir de los valores por sitio y el promedio de las estaciones por hectárea (\bar{X}):

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

donde:

x_i = valor de la variable x del sitio de muestreo i

n = sitios de muestreo escogidos sistemáticamente (tamaño de la muestra)

Con base en lo anterior, se llevó a cabo la estimación de los totales para la superficie del panteón que no fue muestreada (105.88 ha), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$T = \bar{X} \times A$$

donde:

T = total estimado de la variable x

\bar{X} = promedio de la variable x por hectárea

A = superficie total (ha)

El error de la estimación y los intervalos de confianza de cada variable se calcularon empleando las siguientes fórmulas:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \cdot (1 - f)$$

donde:

S_x = error estándar del estimador

S = desviación estándar de las observaciones x_i expresada en hectáreas

n = tamaño de muestra

f = fracción del muestreo

$$ICI = A \cdot [\bar{X} - S_x \cdot t_{\alpha/2, n-1}]$$

$$ICS = A \cdot [\bar{X} + S_x \cdot t_{\alpha/2, n-1}]$$

donde:

ICI : intervalo de confianza inferior

ICS : intervalo de confianza superior

A : superficie total (ha)

\bar{X} = promedio de la variable x por hectárea

S_x = error estándar del estimador

t_{α} : nivel de confianza

n : tamaño de muestra

RESULTADOS

Sitios de muestreo

En los 102 sitios de muestreo se registraron 1051 individuos arbóreos (juveniles a seniles) y 30 brinzales, pertenecientes a 44 especies. Las especies con mayor abundancia fueron *L. lucidum* y *F. ubdei*, la primera de ellas alóctona naturalizada, y ambas conforman cerca de 44% del total de la cubierta arbórea del panteón, mientras 39 *taxa* componen 27.5% de la población muestreada y los árboles muertos en pie representaron 7.8% de la población. Dichos porcentajes denotan el desbalance en la composición de especies que se presenta en el lugar (Tabla 1).

La dominancia relativa determinada con el área basal indica que *L. lucidum*, *Schinus molle*, *F. ubdei*, *C. lusitanica* y *E. camaldulensis* conjuntan 67.33% de los individuos predominantes en las estaciones de muestreo (Tabla 1). Destaca *S. molle* pues bajo este criterio pasó de un séptimo lugar, en

cuanto a abundancia (59 individuos), al segundo en cuanto a su dominancia relativa por el área basal que ocupan sus individuos (34.07 m²), tan solo por debajo de *L. lucidum* que es la especie más abundante y con mayor área basal (Tabla 1).

De los individuos inventariados, 72.1% se ubican en la categoría de maduro (principalmente *L. lucidum* y *E. camaldulensis*), 17.4% son juveniles, 2.8% son brinzales y el resto fueron los árboles muertos en pie ya referidos. Pese a la mayor frecuencia de individuos maduros, no se registraron árboles seniles, lo que posiblemente puede indicar el efecto debilitante de diversos factores ambientales y bióticos adversos, que ocasiona una rápida muerte cuando están debilitados.

Datos promedio y porcentuales del arbolado

En la tabla 2 se observan las características dendrométricas promedio de los individuos ubicados en los sitios de muestreo, así como los resultados de las variables adicionales de i-Tree Eco. Cabe destacar que la altura, el diámetro y la cobertura de la copa promedio no fueron, en términos generales, de gran magnitud. Aunado a lo anterior, el intervalo de las clases diamétricas fue de 5 cm a 150 cm y el mayor valor porcentual se ubicó en la categoría de 25.1 cm a 35 cm. En cuanto a la altura, el mayor porcentaje se registró en la clase de 5.1 m a 10 m y los individuos mayores a 25.1 m fueron los menos frecuentes (1.1%), siendo 30.4 m la mayor altura registrada.

En la tabla 3 se observan las características dasométricas básicas derivadas del muestreo y su proporción con respecto a la superficie total. Estos valores se presentan con el fin de utilizarlos como posibles indicadores del desarrollo del arbolado. Se aprecia una proporción relativamente baja en el caso del área basal (0.003), mientras que la cobertura del dosel equivale a 90% de la superficie total de las estaciones y el área foliar (superficie de las hojas, calculada por i-Tree Eco) casi cinco veces más.

En la figura 5 se observan los resultados de condición física y sanitaria de troncos y copas de los individuos arbóreos evaluados.



TABLA 1. Número de individuos por especie y características del arbolado ubicado en las estaciones de muestreo en el Panteón Civil Dolores.

Nombre científico	No. de individuos	Abundancia relativa (%)	Área basal (m ²)	Dominancia relativa (%)**
<i>Ligustrum lucidum</i> Aiton	314	29.05	50.64	23.21
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Ling.	160	14.80	24.28	11.13
<i>Cupressus lusitánica</i> Mill.	87	8.05	22.41	10.27
Árboles muertos en pie	84	7.77	13.32	6.10
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh	73	6.75	15.52	7.11
<i>Buddleja cordata</i> subsp. <i>cordata</i> Kunth	66	6.11	7.26	3.33
<i>Schinus molle</i> L.	59	5.46	34.07	15.61
<i>Cupressus benthamii</i> Endl.	40	3.70	12.63	5.79
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	37	3.42	1.78	0.82
<i>Yucca gigantea</i> Lem	28	2.59	14.50	6.65
<i>Morus celtidifolia</i> Kunth	13	1.20	0.69	0.31
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	12	1.11	2.63	1.21
<i>Thuja occidentalis</i> L.	12	1.11	0.46	0.21
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	11	1.02	4.65	2.13
<i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capulí</i> Cav. McVaugh	9	0.83	0.52	0.24
<i>Ficus microcarpa</i> L.	9	0.83	0.21	0.10
<i>Erythrina coralloides</i> Moc. & Sesse ex DC	7	0.65	1.35	0.62
<i>Prunus pérsica</i> (L.) Batsch.	6	0.56	0.12	0.06
<i>Oreopanax xalapensis</i> Kunth Decne. & Planch.	6	0.56	0.59	0.27
<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn ex R.Br.	6	0.56	1.61	0.74
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	4	0.37	0.13	0.06
<i>Oreopanax peltatus</i> Linden ex Regel	4	0.37	0.29	0.14
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	3	0.28	0.05	0.02
<i>Phytolacca dioica</i> L.	3	0.28	2.55	1.17
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	3	0.28	0.15	0.07
<i>Bauhinia aculeata</i> subsp. <i>grandiflora</i> (Juss.) Wunderlin	2	0.19	0.03	0.01
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	2	0.19	0.05	0.02
<i>Persea americana</i> Mill.	2	0.19	0.17	0.08
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	2	0.19	0.11	0.05
<i>Ficus carica</i> L.	2	0.19	0.03	0.01
<i>Punica granatum</i> L.*	1	0.09	0.01	0.00
<i>Acacia schaffneri</i> (S.Watson) F.J.Herm.*	1	0.09	0.09	0.04
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schldt. & Cham.	1	0.09	0.15	0.07
<i>Solanum erianthum</i> D.Don*	1	0.09	0.05	0.02
<i>Nicotiana glauca</i> Graham*	1	0.09	0.00	0.00
<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex. Parl.	1	0.09	0.02	0.01
<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	1	0.09	0.20	0.09
<i>Ficus elástica</i> Roxb. ex Hornem.	1	0.09	0.01	0.00
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	1	0.09	0.13	0.06
<i>Morus nigra</i> L.	1	0.09	0.04	0.02
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.	1	0.09	0.04	0.02
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	1	0.09	0.65	0.30
<i>Populus alba</i> L.	1	0.09	0.32	0.14
<i>Acer negundo</i> L.	1	0.09	0.10	0.05
<i>Eucalyptus</i> sp.	1	0.09	3.60	1.65
Total	1081***	100	218.23	100

*arborescentes con porte arbóreo. **Con base en el área basal total. ***Incluye brinzales

TABLA 2. Datos promedio del arbolado ubicado en las estaciones de muestreo en el Panteón Civil Dolores.

<i>No de sitios: 102</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Error estándar +/-</i>
Individuos/sitio	10.3	5.03	0.5
Diámetro normal (cm)	40.94	9.29	0.92
Diámetro basal (cm)	47.16	10.88	1.08
Área basal (m ²)	0.23	0.11	0.01
Altura total (m)	11.36	2.85	0.28
Diámetro de copa (m)	7.42	2.06	0.2
Cobertura de copa (m ²)	56.49	24.03	2.38
Altura copa viva (m)	10.13	2.92	0.29
Altura base copa (m)	2.75	1.05	0.1
Área foliar (m ²)	309.2	171.06	16.94

TABLA 3. Superficie y magnitud de las variables dasométricas en las estaciones de muestreo ubicadas en el Panteón Civil Dolores y su valor proporcional entre paréntesis con respecto a su superficie total.

<i>No. de estaciones</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Número de individuos</i>	<i>Área basal (m²)/Proporción</i>	<i>Cobertura del dosel (ha)/Proporción</i>	<i>Área foliar (ha)/Proporción</i>
102	6.12	1051	218.01 m ² (0.00356)	5.55 (90.7)	30.1 (492.6)

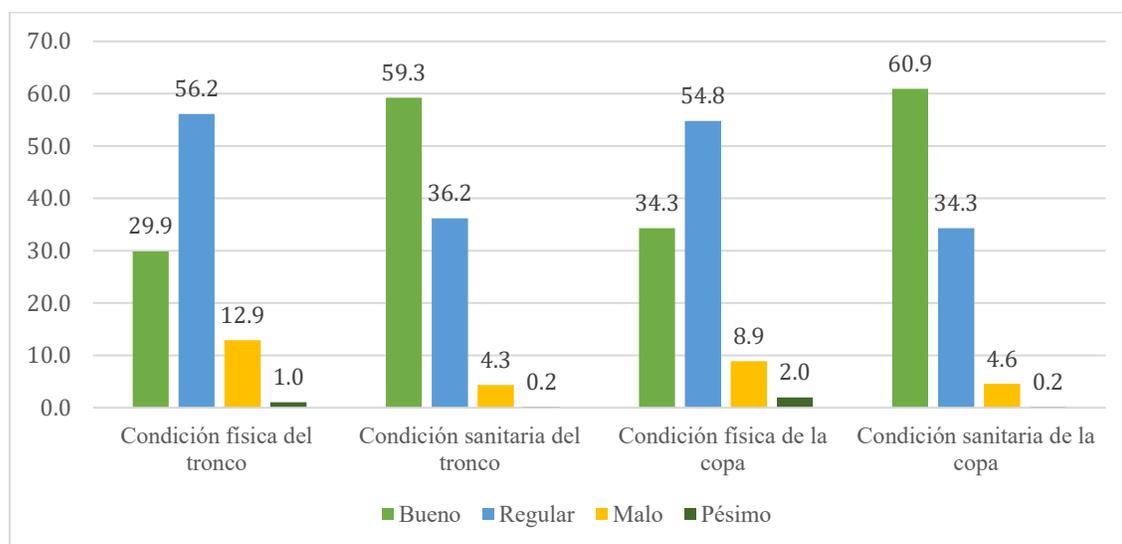


FIGURA 5. Porcentaje de individuos arbóreos en cada categoría de condición física y sanitaria del tronco y copa, en las estaciones de muestreo ubicadas en el Panteón Civil Dolores.



La condición de vigor más común fue la categorizada como declinante incipiente (49.4%) y los individuos en condiciones de declinación moderada a severa junto con los árboles muertos en pie, congregan 25.3% de la masa arbolada. La muerte descendente se registró en 12.1% de los individuos (diversas categorías) y, en cuanto a la exposición de la copa a la luz, se determinó que 76.8% recibe luz en tres o más cuadrantes, lo que indica una baja densidad y competencia entre individuos. En menor número estuvieron aquellos individuos con uno o dos cuadrantes de luz en sus copas (17.1%) y solo 6.2% fueron árboles sin luz, que bajo un criterio de estructura vertical de la masa arbolada se considerarían como suprimidos.

Se determinó que solo 17.6% de los árboles no requieren algún tratamiento de mantenimiento y se consideró necesaria la poda para 74.3% y la remoción de 8.1%, principalmente debido a que están muertos en pie, en declinación avanzada o estructuralmente son de alto riesgo.

Servicios ambientales y su valor económico

En la tabla 4 se observa la magnitud de los servicios ambientales proporcionados por los árboles de los sitios de muestreo de acuerdo con el sistema i-Tree Eco. Entre ellos destacan, de acuerdo con su valor económico, la remoción de contaminantes atmosféricos y siguen en importancia la remoción de escorrentías y la captura de carbono, además de la producción anual de oxígeno, la cual no tiene un valor económico, pero contribuye a mejorar el entorno ciudadano en beneficio de sus habitantes.

El valor económico, de acuerdo con el sistema i-Tree Eco y aplicando los ajustes mencionados, asciende a MXN 794 477, de los cuales MXN 349 339 son generados anualmente. (Tabla 4).

Considerando que la contaminación atmosférica es un grave problema en la Ciudad de México, en la tabla 5 se presentan los datos obtenidos del sistema i-Tree Eco, con respecto a la cuantificación de su remoción por los individuos de cada especie, en este caso las que fueron registradas como las más abundantes en el PCD. El ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂) fueron los que se removieron en mayor cantidad, sin embargo y por su mayor trascendencia para la salud humana, el mayor valor económico fue para la remoción de partículas PM_{2.5}, con tan solo 23.26 kg retenidos.

Resultados estimados para la superficie total del Panteón Civil Dolores

Con base en los valores promedio derivados de las estaciones y de acuerdo con Orozco y Brumér (2002), se estimaron los valores para toda la superficie del panteón (Tabla 6). El número de individuos fue mayor a 19 000, de los cuales, 45% serían de las especies *L. lucidum* y *F. uhdei*, y seguirían en cuanto a frecuencia, *C. lusitanica*, *E. camaldulensis* y *B. cordata*, que conjuntarían alrededor de 21%; sin que se desestime a *S. molle*, pues no obstante su menor número, presentó una dominancia relativa importante. Destacan asimismo los árboles muertos en pie, que se ubican en alrededor de 6% del total.

TABLA 4. Magnitud y valor económico de los servicios ambientales proporcionados por el arbolado en las estaciones de muestreo ubicadas en el Panteón Civil Dolores.

Reservorio de C_{eq}		Captura de C_{eq}		Reducción de escorrentías		Remoción de contaminantes		Producción de oxígeno
(Mg)	(MXN)	(Mg /año)	(MXN)	(m ³ /año)	(MXN)	(kg)	(MXN)	(Mg / año)
1809.5	445 138.68	31.9	7846.67	998.7	44 951.89	684.90	296 540.26	23.2

La paridad del peso mexicano (MXN) frente al dólar estadounidense (USD) para el año del estudio fue, en promedio, MXN 20 por USD 1.

TABLA 5. Remoción anual de contaminantes atmosféricos por los individuos arbóreos de las especies más abundantes en las estaciones de muestreo ubicadas en el Panteón Civil Dolores y su valor económico.

<i>Contaminante atmosférico</i>	<i>Remoción por el arbolado (kg/año)</i>	<i>Valor monetario (MXN)</i>
CO	11.11	161.1
NO ₂	155.3	5341.6
O ₃	310.98	71 610.8
SO ₂	41.29	517.4
PM _{2.5}	23.26	185 965.6

TABLA 6. Datos dasométricos estimados del arbolado del Panteón Civil Dolores y su valor proporcional entre paréntesis con respecto a su superficie total.

	<i>Número de individuos</i>	<i>Área basal (m²)</i>	<i>Cobertura del dosel (m²)</i>	<i>Área foliar (m²)</i>
Promedio/ha	171.73	35.62	9067.74	49 257.24
Desviación estándar	83.9	16.86	4134.21	25 781.43
Error estándar +/-	8.31	1.67	409.35	2552.74
Valor total estimado y proporción	19 233.7	3989.44 (0.003)	1 015 586.88 (0.90)	5 516 810.88 (4.92)

En la tabla 6 se presentan los valores estimados de área basal, cobertura de copa y área foliar total, mientras que los números entre paréntesis indican los valores de proporción de dichas variables con respecto a la superficie del sitio, de acuerdo con el procedimiento anteriormente utilizado en la parte inicial de los resultados.

En lo que se refiere a los requerimientos de mantenimiento, se estimó que alrededor de 14 500 individuos arbóreos requieren un trabajo de poda y sería necesario el derribo de otros 1500 para evitar un posible daño a personas o monumentos funerarios.

La magnitud de los servicios ambientales estimados para la masa arbolada del panteón y el valor económico que representan se observan en la tabla 7, entre estos destacan el reservorio estimado de C y la remoción de contaminantes atmosféricos, con los mayores valores económicos de

acuerdo con los resultados derivados de i-Tree Eco y que, en conjunto con la captura de C y la reducción de escorrentías, asciende a MXN 14 538 339, de los cuales MXN 6 393 128 se producen de manera anual (Tabla 7) y con tendencia a un incremento significativo si el arbolado se mejorara en el mediano plazo.

DISCUSIÓN

Por primera vez se efectuó en un cementerio de México un diagnóstico y la caracterización de su arbolado, aplicando una metodología sustentada en la arboricultura y dasonomía urbanas, que permitirá la comparación de estos resultados con otros trabajos que se realicen en diversos elementos del bosque urbano de la Ciudad de México, del país y del mundo.



TABLA 7. Magnitud y valor económico de los servicios ambientales generados por el arbolado del Panteón Civil Dolores estimados con base en los datos derivados de las estaciones de muestreo.

	<i>Reservorio de Ceq</i>		<i>Captura de Ceq</i>		<i>Reducción de escorrentías</i>		<i>Remoción de contaminantes</i>	
	(Mg)	(MXN)	(Mg/año)	(MXN)	(m ³)	(MXN)	(kg)	(MXN)
Promedio	295.7	72 725.1	5.2	1282.1	163.2	7345.1	112.4	48 454.3
Desviación estándar	142.7	35 114.0	3.2	788.7	85.6	3839.2	58.7	25 329.1
Error estándar +/-	14.1	3476.8	0.3	78.1	8.5	380.1	5.8	2508.0
Valor total estimado	33 118.4	8 145 211.2	582.4	143 595.2	18 278.4	822 651.2	12 588.8	5 426 881.6

Las referencias inmediatas para comparar el PCD son las secciones segunda y tercera del Bosque de Chapultepec, con las cuales el cementerio comparte características edáficas y geológicas, así como la perturbación ambiental que se registró en el pasado. Ambos tienen también una cubierta arbórea similar debido a que son espacios públicos que estuvieron sujetos a los programas gubernamentales de reforestación llevados a cabo anteriormente, como sería el caso de las extensas plantaciones de eucaliptos que se establecieron a principios del siglo XX, con el fin de proteger las laderas desnudas del piedemonte de la Sierra de las Cruces contra la erosión (de Quevedo, 1926); así como los factores estresantes actuales que afectan la zona. Con base en lo anterior, la estructura arbórea es muy similar entre el panteón y la 2ª sección, pues se repite un patrón de pocas especies con alta frecuencia de individuos, entre las que prevalecen *F. uhdei*, *L. lucidum*, *E. camaldulensis* y *C. lusitánica* (Benavides y Young, 2012). En el caso de la 3ª sección prevalecen las mismas, aunadas a *C. equisetifolia* y *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg. (Benavides, datos no publicados). Esta característica de un desbalance de especies se repite en otros componentes del bosque urbano de la ciudad, de acuerdo con lo que mencionan, entre otros, Benavides y Villalón (1992) para el arbolado de alineación de la ahora Alcaldía Venustiano Carranza; Benavides y Segura (1996) para las ahora alcaldías de Iztapalapa e Iztacala; Mizerit (2006) en las áreas verdes de Cuauhtémoc

y Venustiano Carranza; Rojo (2006) en las de Coyoacán y Benito Juárez; y Velasco et al., 2013 en el Bosque de San Juan de Aragón. En lo que se refiere a la dasometría de estos sitios, se presenta una diferencia entre el PCD y las secciones segunda y tercera, pues estas últimas cuentan con una mayor densidad de arbolado, lo cual se entiende ya que en el PCD las tumbas y los monumentos funerarios ocupan gran parte del espacio.

Las condiciones sanitarias y de estructura del arbolado en las secciones 2ª y 3ª son mejores (Benavides, datos no publicados), pues se ha practicado con mayor frecuencia un mantenimiento al arbolado (salvo el ubicado en las cañadas de la 3ª), a diferencia del que se encuentra en el PCD. En este último fue evidente que no se han realizado trabajos de mantenimiento arbóreo o han sido muy poco frecuentes, por lo que los requerimientos de poda y derribo son mucho más considerables. En relación con lo anterior, es posible suponer que esta condición ha influido en un mayor efecto de factores ambientales adversos sobre el arbolado, como sería el caso del estrés hídrico y altas temperaturas, los cuales debilitan a los árboles y facilitan el ataque de plagas o enfermedades.

Los datos de proporción de área basal, cobertura del dosel y área foliar que se presentaron entre paréntesis en la tabla 6, podrían ser considerados como un indicador de la respuesta de la cubierta arbolada al entorno en que se han desarrollado y su condición actual. Son valores que podrán

ser comparados en futuros trabajos que se lleven a cabo en el PCD o con otros componentes del bosque urbano. Estos parámetros pueden complementarse con el promedio de las variables dendrométricas más importantes, distancia promedio entre árboles o número de individuos o árboles muertos por hectárea.

El PCD y otros cementerios del mundo

Los datos del PCD y de otros cementerios estudiados en el mundo son coincidentes en cuanto al desbalance de especies con el predominio de unas cuantas y la presencia mayoritaria de especies exóticas sobre las nativas. Un ejemplo de lo anterior es mencionado por McBarron et al. (1988), quienes registraron, en los 17 cementerios estudiados en la cercanía de Sidney, Australia (entre los cuales se encuentran los de mayor antigüedad en ese país con más de 160 años), 128 especies de las cuales 42.1% fueron nativas. Entre ellas, sobresalían, por su mayor número de individuos, varias del género *Eucalyptus* y, en los cementerios antiguos, prevalecía *Araucaria bidwillii* Hook. y *G. robusta*. No obstante, casi 58% de las especies registradas fueron exóticas y las más comunes fueron *Cupressus funebris* Endl. y *Pinus pinea* L. (McBarron et al., 1988). De Lacy (2014) realizó un estudio de la composición de especies arbóreas y sus características en cementerios en la Ciudad de Grahamtown, Sudáfrica, en el cual registró valores de frecuencia y de densidad por hectárea que resultaron inferiores a los registrados en el PCD, pues, en el mejor de los casos, dos de esos cementerios tenían 258 individuos (52.3 ha^{-1} árboles y 40.53 m^2 de área basal) y 576 individuos (48 ha^{-1} árboles y área basal de 177 m^2); datos que se asocian en el último caso al gran tamaño de los árboles. Del total de individuos arbóreos que este autor registró en todos los lugares estudiados, 56% pertenecían a especies exóticas, entre las que sobresalía *C. sempervirens* y, junto con otras especies de este género, conformaban algo más de 44% de la población.

El trabajo de Quinton et al. (2020) proporciona datos adicionales pues realizaron su investigación en 10 cementerios de Halifax, Canadá, de los cuales, el más grande tiene una superficie de 7.41 ha y fue establecido en

1893 y los más antiguos eran de 1749 y 1752, con una superficie de 0.72 ha y 0.24 ha respectivamente. Registraron 63 especies, de las cuales las más numerosas fueron nuevamente las exóticas (68%), entre las que sobresalieron *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill. y *Ulmus glabra* Huds., contra 32% de nativas, entre las que predominó *Acer rubrum* L. El número promedio de árboles fue de 34.5 por hectárea en el cementerio con la mayor población, muy por debajo de los 173.1 ha^{-1} para el PCD. Con respecto a las características dendrométricas, las especies con la mayor área basal fueron *T. cordata* (entre $13 \text{ m}^2/\text{ha}$ a $0.9 \text{ m}^2/\text{ha}$), *A. rubrum* ($5.8 \text{ m}^2/\text{ha}$ a $1.7 \text{ m}^2/\text{ha}$) y *A. platanoides* ($3.9 \text{ m}^2/\text{ha}$ a $1.6 \text{ m}^2/\text{ha}$), aunque no estuvieron presentes en todos los panteones que fueron estudiados. En lo que se refiere a las categorías diamétricas, las de mayor frecuencia fueron las iniciales (2.5 cm a 9.9 cm y 10 cm a 19.9 cm), con más de 1000 y 550 individuos respectivamente, de manera similar a lo registrado en el PCD.

Con respecto a los servicios ambientales determinados para la cubierta arbolada del PCD, es importante referir que no existe un antecedente ya publicado de este tipo para México, ya que la información obtenida para las secciones 1ª, 3ª y 4ª del Bosque de Chapultepec está siendo procesada para su difusión y, si bien existe un par de trabajos disponibles que abordaron este tema, las condiciones en las que se desarrollaron no son similares a las del cementerio.

En función de lo anterior, el sistema i-Tree Eco adaptado a las condiciones de México permite la determinación de los servicios ambientales que genera la cubierta arbolada en este tipo de lugares, lo cual indudablemente coadyuvará a valorar en mayor medida los servicios que aporta el PCD, pues aunado a la función funeraria que ha cumplido por casi 150 años y que es altamente apreciada por los usuarios, se agregan los servicios ambientales derivados de la cubierta arbolada, los cuales alcanzan un valor económico de MXN 14 538 339, de los cuales, MXN 6 393 128 se producen de forma anual.

Es trascendente considerar el hecho de que estos valores se pueden incrementar en el futuro, si tan solo se mejoran las condiciones de mantenimiento del arbolado y se implementa en el corto plazo un programa de manejo, el



cual puede definirse en principio con la información obtenida en el proyecto que fundamentó esta publicación.

CONCLUSIONES

La cubierta arbolada del Panteón Civil Dolores está conformada por más de 19 000 individuos. Predominan algunas especies con muchos individuos y muchas especies con pocos individuos. La dimensión de los individuos es relativamente menor y la condición física y sanitaria predominante es de regular a buena.

Aunado al servicio social que proporciona el PCD como recinto para el entierro de los familiares de miles de deudos, los servicios ambientales que proporciona el arbolado a los habitantes de la Ciudad de México y al entorno de la misma, alcanza un valor superior a los 14 millones de pesos mexicanos, no obstante la condición regular en la que se encuentran los individuos.

El valor económico determinado para los servicios ambientales que genera el arbolado del PCD podría servir como parámetro de referencia para destinar recursos económicos y materiales que permitan la mejora de la cubierta arbolada.

RECONOCIMIENTOS

El primer autor agradece el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología al proyecto macro que permitió realizar el trabajo de investigación en el Panteón Civil Dolores, así como a las autoridades y trabajadores de este, por las facilidades otorgadas y a los que colaboraron en el proyecto de investigación.

REFERENCIAS

- Alcaraz H., S. (2008). Un lugar para los muertos. Problemáticas de higiene en la Ciudad de México durante la década de 1870. *Revista Cultura y Religión*, 2(3), 60-81. <https://www.revistaculturayreligion.cl/index.php/revistaculturayreligion/article/view/182>
- Benavides M., H. M. (1989). Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. En A. Villa, A. Castro, & C. Nieto (Eds.), *Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989* (Tomo II, pp. 966-992). Gobierno del Estado de México - Academia Nacional de Ciencias Forestales A. C.
- <http://areasverdesyarboladourbano.com.mx/wp-content/publicaciones/Bosque-Urbano.pdf>
- Benavides M., H. M. (2015a). Metodología para el diagnóstico de áreas verdes urbanas e inventario de su arbolado. Libro Técnico No. 8. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Benavides M., H. M. (2015b). *Metodología para la elaboración de programas de manejo para áreas verdes urbanas. Libro Técnico No. 18*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Benavides M., H. M., & Villalón R., R. (1992). *Algunos aspectos del arbolado de alineación de la Delegación Venustiano Carranza, D.F.* Reunión Científica Forestal y Agropecuaria del Campo Experimental Coyoacán (pp. 3-24). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <http://areasverdesyarboladourbano.com.mx/wp-content/publicaciones/Algunos-aspectos%20del-arbolado.pdf>
- Benavides M., H. M., & Segura B., C. (1996). Situación del arbolado de alineación de la Ciudad de México: Delegaciones Iztacalco e Iztapalapa, Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México*, 21(79), 121-164. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1003/2310>
- Benavides M., H. M., López M., R., & Flores H., J. (2002). Daños a banquetas por arbolado de alineación establecido en cepas en la Delegación Coyoacán, Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México*, 27(92), 53-78. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/902>
- Benavides M., H. M., & Young F. G., D. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosques*, 18(2), 51-71. <https://doi.org/10.21829/myb.2012.182352>
- Benavides M., H. M., López L., S. F., & Sheridan, R. (25 al 27 de abril de 2018). *Adaptación del programa i-Tree Eco en México*. Resúmenes del Congreso Internacional de Parque Urbanos. Mérida, Yucatán, México. Memoria Digital
- Borelli, S., Conigliaro, M., & Pineda, F. (2018). Urban forests in the global context. *Unasylva* 69, 3-10. <https://www.fao.org/3/I8707EN/i8707en.pdf>
- Cabildo de la Ciudad de México (1834). *El gobierno avisa que se resolverá en ornamentación el plantío de árboles*. Archivo Histórico de la Ciudad de México. Actas del Cabildo de la Ciudad de México, 154A. 28 de febrero de 1834.
- Calderón, G., & Rzedowski, J. (2001). *Flora Fanerógama del Valle de México* (2a ed.). Instituto de Ecología A.C. - CONABIO.

- Calderón, G., & Rzedowski, J. (2004). Familia Oleaceae. En J. Rzedowski, & G. Calderón de Rzedowski (Eds.), *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 124*. Instituto de Ecología, A.C., - Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. <https://doi.org/10.21829/fb.183.2004.124>
- Cárdenas C., D. U. (2014). *Los parques funerarios: un refugio importante para las aves en la ciudad de Guadalajara y su zona conurbada* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara]. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5742/Cardenas_Carmona_Daniel_Ulises.pdf?sequence=1
- Contreras, F. (02 de noviembre de 2021). La Miguel Hidalgo tuvo 120 mil visitantes en los panteones por el día de muertos. *Debate*. Debate.com.mx/cdmx/La-Miguel-Hidalgo-tuvo-120-mil-visitantes-en-panteones-por-Día-de-Muertos-20211102-0334.html
- Cruz G., O., & Guillén, D. (2015). ¿Derechos comunitarios vs. modernidad urbana? La upbcdf y su disputa por los panteones vecinales de la Ciudad de México. *Estudios Mexicanos*, 31(2), 343-366. <https://doi.org/10.1525/mex.2015.31.2.343>
- Dallimore, W., & Jackson, A. B. (1966). *A Handbook of the Coniferae and Ginkgoaceae*. (3a ed.). Edward Arnold Publishers.
- Delegación Miguel Hidalgo [DMH] (2012). *Atlas de riesgos naturales Delegación Miguel Hidalgo 2012*. Delegación Miguel Hidalgo - Secretaría de Desarrollo Social - Desarrollo de Proyectos de Gobernabilidad Municipium S. C. http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2012/09016_Miguel_Hidalgo.pdf
- Dirr, M. A. (1990). *Manual of Woody Landscape Plants: their identification, ornamental characteristics, culture, propagation and uses* (4a Ed.). Stipes Publishing Company.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM.
- Gobierno de la Ciudad de México [COCM] (2022). Guía oficial para visitantes de la Ciudad de México. <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/panteon-civil-de-dolores/?lang=es>
- Gobierno del Distrito Federal [GDF] (2006). Programa de rehabilitación integral del Bosque de Chapultepec. En *Memorias. Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental* (pp. 59-113). Gobierno del Distrito Federal - Secretaría del Medio Ambiente. <http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/librodfbuea/03.pdf>
- Grey, G. W., & Deneke, F. J. (1992). *Urban forestry*. John Wiley and Sons.
- Harris, R. W., Clark, J. R., & Matheny, N. P. (2004). *Arboriculture: integrated management of landscape trees, shrubs, and vines* (4a ed). Prentice Hall.
- Herrera M., E. (2004). El Panteón de Dolores y sus inicios. *Boletín de Monumentos Históricos*, (2), 77-90. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/boletinmonumentos/article/view/3821>
- Herrera M., E. (2013). “y los ángeles volaron”... Patrimonio perdido y transformaciones en el Panteón de Dolores de la ciudad de México. *Boletín de Monumentos Históricos*, 3ª época, 29, 222-239. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/boletinmonumentos/article/view/2657>
- Hirabayashi, S. (2013). *i-Tree Eco Precipitation Model Descriptions*. United States Department of Agriculture, Forest Service. https://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions.pdf
- Hirabayashi, S. (2016). *Air Pollutant Removals, Biogenic Emissions and Hydrologic Estimates for i-Tree Applications*. United States Department of Agriculture, Forest Service. https://www.itreetools.org/landscape/resources/Air_Pollutant_Removals_Biogenic_Emissions_and_Hydrologic_Estimates_for_iTree_v6_Applications.pdf
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2015). *i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions*. United States Department of Agriculture, Forest Service. https://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Dry_Deposition_Model_Descriptions.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2002). *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana*. Inegi. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/70285480509/702825480509_4.pdf
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [Inafed] (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*. Secretaría de Gobernación. http://www.e-local.gob.mx/wb/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia
- Jim, C. Y. (1996). Roadside trees in urban Hong Kong: Part 1 census methodology. *Arboricultural Journal*, 20(2), 221-237. (doi.org/10.1080/03071375.1996.9747119)
- Kunkel, G. (1978). *Flowering trees in subtropical gardens*. Dr. W. Junk b. v., Publishers.
- de Lacy, P. J. G. (2014). *Woody species composition and congregant appreciation of the cultural and spiritual services provided by cemeteries and church gardens in Grahamstown, South Africa*. [Tesis de Maestría, Rhodes University].



- http://vital.seals.ac.za:8080/vital/access/manager/Repository/vital:4783?site_name=GlobalView
- Lezama, J. L., & Graizbord, B. (2010). *Los grandes problemas de México* (Vol. 4). El Colegio de México.
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119-124. <https://doi.org/10.2134/jecq2015.11.0567>
- Lorenzoni, L., & Koechlin, F. (2017). *International comparisons of health prices and volumes: new findings*. OECD. <https://www.oecd.org/health/health-systems/International-Comparisons-of-Health-Prices-and-Volumes-New-Findings.pdf>
- Lussenhop, J. (1977). Urban cemeteries as bird refuges. *The Condor*, 79(4), 456-461. <https://doi.org/10.2307/1367725>
- Martin, N. A., Chappelka, A. H., Loewenstein, E. F., & Gary, J. K. (2012). Comparison of carbon storage, carbon sequestration, and air pollution removal by protected and maintained urban forests in Alabama, USA. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(3), 265-272. <https://doi.org/10.1080/21513732.2012.712550>
- Martin, N. A., Chappelka, A. H., Somers, G., Loewenstein, E. F., & Keever, G. J. (2013). Evaluation of sampling protocol for i-Tree Eco: a case study in predicting ecosystem services at Auburn University. *Arboriculture & Urban Forestry*, 39(2), 56-61. DOI: <https://doi.org/10.48044/jauf.2013.008>
- Martínez, M. (1948). *Los pinos mexicanos* (2a ed.). Ediciones Botas.
- McBarron, E. J., Benson, D., & Doherty, M. D. (1988). The botany of old cemeteries. *Cunninghamia*, 2(1), 97-105.
- McPherson, E. G., Nowak, D. J., & Rowntree, R. A. (1994). *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Includes executive summary*. Forest Service general technical report (Final). United States Department of Agriculture, Forest Service - Northeastern Forest Experiment Station. <https://www.osti.gov/biblio/7131245>
- Miranda, R., Kraudy, S., Corona, O., Navarrete, P., & Herrera, D. (2012). Panteón Civil de Dolores. En O. Molina P. (Ed.). *Breve historia y relación del patrimonio tangible de la Delegación Miguel Hidalgo* (pp. 155-157). Delegación Miguel Hidalgo.
- Mizerit T., L. H. (2006). *Situación y características del arbolado en las áreas verdes de las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza, Distrito Federal* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Murakami, I. (02 de noviembre de 2021). Día de muertos 2021 en Guadalajara: vuelven visitas a panteones. *Informador.mx*. <https://www.informador.mx/jalisco/Dia-de-Muertos-2021-en-Guadalajara-Vuelven-visitas-a-panteones-20211102-0095.html>
- Nicolás G., D. (1991). La tratadística sobre botánica funeraria y el arbolado en los cementerios en Murcia en el siglo XIX: a propósito de dos dibujos arquitectónicos en el Museo de Bellas Artes. *Verdolay: Revista del Museo Arqueológico de Murcia*, (3), 189-192.
- Nordh, H., & Swensen, G. (2018). Introduction to the special feature: The role of cemeteries as green urban spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, 33, 56-57. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.014>
- Nowak, D. J. (2018). Improving city forests through assessment, modelling and monitoring. *Unasylva*, 69, 30-36. <https://www.fao.org/3/I8707EN/i8707en.pdf>
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (1998). The urban forest effects (UFORE) model: quantifying urban forest structure and functions. En M. Hansen, & T. Burk (Eds.). *Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21st Century* (pp. 714-720). USDA - Forest Service, North Central Research Station. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/18420#:~:text=The%20model%20quantifies%20species%20composition,carbon%20stored%20and%20net%20carbon>
- Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2000). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. En J. E. Kuser (Ed.). *Urban and community forestry in the northeast* (pp. 25-46). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-4289-8_2
- Nowak, D. J., Stevens, J. C., Sisinni, S. M., & Luley, C. J. (2002). Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture*, 28(3), 113-122. <https://doi.org/10.48044/jauf.2002.017>
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., Hoehn, R. E., Walton, J. T., & Bond, J. (2008). A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystems services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(6), 347-358.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
- Orozco, L., & Brumér, C. (2002). Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados en América Central. CATIE.
- Perry, J. P. (1991). *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press.

- Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad [PUEC] (2002). *Proyecto ejecutivo sobre la implementación del manejo integral y desarrollo autosostenible del Bosque de Chapultepec*. Universidad Nacional Autónoma de México - Dirección General de la Unidad de Bosques Urbanos y Educación Ambiental - Secretaría del Medio Ambiente - Gobierno del Distrito Federal.
- de Quevedo, M. A. (1926). Los desastres de la deforestación en el Valle y Ciudad de México. *México Forestal*, IV(7-8), 67-82.
- Quinton, J. M., Duinker, P. N., Steenberg, J. W. N., & Charles J. D. (2020). The living among the dead: Cemeteries as urban forests, now and in the future. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126564. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126564>.
- Rehder, A. (1990). *Manual of cultivated trees and shrubs* (2a ed., Vol. 1). Dioscorides Press.
- Rico A., M. L. (2007). *American species of Acacia (Leguminosae; Mimosoideae)*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Royal Botanic Gardens, Kew.
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., & Doick, K. (2015). *Valuing London's Urban Forest: Results of the London i-Tree Eco Project*. Treeconomics. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/valuing_london_s_urban_forest_i-tree_report_final.pdf
- Rojó N., I. A. (2006). *Condiciones y características de las áreas verdes y su arbolado en las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, D.F.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Román G., L. M., Orantes G., C., Carpio-Penagos, C. U., Sánchez-Cortés, M. S., Ballinas-Aquino, M. L., & Farrera S., O. (2019). Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511559. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511559>
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., & Chen, Y. (2017). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i6210s.pdf>.
- Sallay, A., Mikházi, Z., Gecséné Tar, I., & Takács, K. (2022). Cemeteries as a part of green infrastructure and tourism. *Sustainability*, 14(5), 2918. <https://doi.org/10.3390/su14052918>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [Sedema CDMX] (1° de abril de 2016). Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-001-RNAT- 2015, que establece los requisitos y especificaciones técnicas que deberán cumplir las personas físicas, morales de carácter público o privado, autoridades, y en general a todos aquellos que realicen poda, derribo, trasplante y restitución de árboles en el Distrito Federal (ahora Ciudad de México). *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, XIX época, No. 41. http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-df/DF-N-NADF-001-RNAT-2016_04.pdf
- Schreuder, H. T., Gregoire, T. G., & Wood, G. B. (1993). *Sampling methods for multiresource forest inventory*. John Wiley & Sons.
- Schulz, C., Knopf, P., & Stützel, Th. (2005). Identification key to the Cypress family (Cupressaceae). *Feddes Repertorium*, 116(1-2), 96-146. <https://doi.org/10.1002/fedr.200411062>
- Smith, A. D., & Minor, E. (2019). Chicago's Urban Cemeteries as Habitat for Cavity-Nesting Birds. *Sustainability*, 11(12), 3258. <https://doi.org/10.3390/su11123258>
- Timilsina N., Escobedo, F. J., Straudhammer, C. L., & Brandeis, T. (2014). Analyzing the causal factors of carbon stores in a subtropical urban forest. *Ecological Complexity*, 20, 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2014.07.001>
- Toussaint, S., & Decrop, A. (2013). The Pere-Lachaise Cemetery: Between Touristic Experience and Heterotopic Consumption. En A. Correia, M. Kozak, J. Gnoth, A. Fyall, S. Lebe, & L. Andreu (Eds.), *Marketing Places and Spaces: Shifting Tourist Flows. 5th Advances in Tourism Marketing Conference Proceedings* (pp. 417-420). Faculdade de Economia da Universidade do Algarve. https://www.researchgate.net/profile/FranciscoMartinezLopez/publication/262686184_Tourism_second_homes_market_a_course_of_owners'_perspectives/links/554f2aa908ae93634ec72e82/Tourism-second-homes-market-acourse-of-owners-perspectives.pdf#page=
- United States Forest Service [USFS] (2016). *i-Tree Eco Manual de Campo*. USDA Forest Service - Davey Tree Expert Company - The Arbor Day Foundation - Society of Municipal Arborists - International Society of Arboriculture - Casey Trees - SUNY College of Environmental Science and Forestry. https://www.itreetools.org/resources/lang/es/EcoV6_Manual_de_Campo.pdf
- United States Forest Service [USFS] (2017a). *i-Tree Eco v6 Overview*. USDA Forest Service - Davey Tree Expert Company - The Arbor Day Foundation - Society of Municipal Arborists - International Society of Arboriculture - Casey Trees - SUNY College of Environmental Science and Forestry. <https://www.itreetools.org/eco/index.php#>
- United States Forest Service [USFS] (2017b). *i-Tree Eco User's Manual*. USDA Forest Service - Davey Tree Expert Company - The Arbor Day Foundation - Society of Municipal Arborists - International Society of Arboriculture - Casey Trees - SUNY College of Environmental Science and Forestry. https://www.itreetools.org/documents/275/EcoV6_UsersManual.2021.09.22.pdf



Valencia A., S., Gómez C., M., & Becerra L., F. (2002). *Catálogo de encinos del estado de Guerrero, México. Libro Técnico No. 1*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Varona G., D. E. (2001). *Avifauna de áreas verdes urbanas del norte de la Ciudad de México* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://repositorio.unam.mx/contenidos/avifauna-de-areas-verdes-urbanas-del-norte-de-la-ciudad-demexico3491406?c=r30OvQ&d=true&=*:*&i=1&cv=1&t=search_0&as=0.

Velasco B., E., Cortés B., E., González H., A., Moreno S., F., & Benavides M., H. M. (2013). Diagnóstico y caracterización del arbolado del Bosque de San Juan de Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 102-111. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.382>

Manuscrito recibido el 06 de septiembre de 2022

Aceptado el 06 de abril de 2023

Publicado el 20 de diciembre de 2023

Este documento se debe citar como:

Benavides Meza, H. M., & García Ponce, N. (2023). Características del arbolado del Panteón Civil Dolores y valoración de sus servicios ambientales. *Madera y Bosques*, 29(2), e2922533. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2922533>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.