



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO Y CAPTURA DE  
CARBONO EN LA SEGUNDA SECCIÓN DEL  
BOSQUE DE CHAPULTEPEC, DISTRITO FEDERAL**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**BIÓLOGA**

P R E S E N T A:

**ALEJANDRA HERNÁNDEZ GUILLÉN**

Directora de tesis:

M. en C. FABIOLA ROJAS GARCÍA

2015

Ciudad Universitaria, D.F.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno  
Hernández  
Guillén  
Alejandra  
55 39 55 78  
Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias  
Biología  
306027208
  
2. Datos del tutor  
M en C  
Fabiola  
Rojas  
García
  
3. Datos del sinodal 1  
Dra  
María de Lourdes  
Villers  
Ruiz
  
4. Datos del sinodal 2  
Dra  
Julieta Alejandra  
Rosell  
García
  
5. Datos del sinodal 3  
Dr  
Héctor Mario  
Benavides  
Meza
  
6. Datos del sinodal 4  
Dr  
Fernando  
Paz  
Pellat
  
7. Datos del trabajo escrito  
Estimación del contenido y captura de carbono en la Segunda  
Sección del Bosque de Chapultepec, Distrito Federal  
72 p.  
2015

## DEDICATORIA

A mi mamá por ser mi inspiración, por sus consejos, su cariño y por enseñarme lo que significa el esfuerzo.

A mi abuelita por ser la mujer más fuerte que conozco, por su cariño y dedicación.

A mi papá por haberme inculcado el amor a la naturaleza, por su apoyo incondicional y su cariño.

A mi hermano por enseñarme a ser paciente y a querer a pesar de todo.

A Norma y Araceli por su amistad, sus consejos y por enseñarme a disfrutar de la vida.

A Daniel por enseñarme de lo que soy capaz, por su amistad y apoyo incondicional.

Les dedico este trabajo porque sin ustedes no habría llegado hasta donde estoy y porque al final soy lo que soy gracias a ustedes.

## AGRADECIMIENTOS

A la M. en C Fabiola Rojas García por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo, por compartir sus amplios conocimientos sobre carbono y su experiencia en estudios sobre este tema, por todas sus observaciones y por motivarme a mejorar siempre.

Al Dr. Héctor M. Benavides Meza por inculcarme el amor por los árboles, por sus amplios conocimientos sobre bosques urbanos, sus consejos y su tiempo.

A la Dra. María de Lourdes Villers Ruiz por sus atinadas observaciones y por brindar información que fue de gran utilidad para mejorar este trabajo.

A la Dra. Julieta Alejandra Rosell García por su tiempo y apoyo para mejorar el análisis de resultados.

Al Dr. Fernando Paz Pellat por sus observaciones, que permitieron sacar lo mejor de este trabajo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales por brindar información del *Diagnóstico y caracterización de la 2ª sección e inventario total de su arbolado y determinación y evaluación de especies para la reforestación de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec*, que sirvió como base para la elaboración de la presente tesis.

A la Dirección del Bosque de Chapultepec por brindar los permisos para poder realizar este trabajo, y por brindar todas las facilidades necesarias.

Al Programa Mexicano del Carbono (PMC) por permitirme ingresar en el gremio de investigación sobre el carbono y por facilitar formación que sirvió para integrar este trabajo.

A Roberto Arreola por compartir sus conocimientos sobre el manejo de ArcGIS, que permitió el desarrollo de las herramientas necesarias para elaborar el presente trabajo.

A todos aquellos que ayudaron en la colecta de información: Dánae Hernández, Daniel Estrada, Itái Mijangos, Víctor Ramos, Andrea Navarrete y Azucena Santiago.

A todos aquellos involucrados en mi vida académica y personal

A Lucero, Daniela, Martha, Raisa, Daniel y Samantha por los momentos compartidos en esta bella Facultad.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
ANTECEDENTES	8
Los bosques urbanos en México	9
ÁREA DE ESTUDIO	12
Generalidades	12
Edafología	13
Hidrología	14
Clima	14
Vegetación	14
OBJETIVOS	16
MÉTODO	17
Mapa de arbolado	17
Muestreo de arbolado	17
<i>Muestreo 2013</i>	17
<i>Muestreo 2015</i>	19
Análisis estructural	19
Condición de los árboles	20
Estimaciones de biomasa y contenido de carbono	21

Captura de carbono	22
RESULTADOS	24
Mapa de vegetación	24
Muestreo de arbolado	24
Análisis estructural	24
<i>Registros nuevos y árboles derribados</i>	33
<i>Distribución de individuos y especies por sitio</i>	36
Condición de los árboles	40
Estimaciones de biomasa y contenido de carbono (C)	44
Captura de carbono	47
DISCUSIÓN	50
Condición del arbolado	50
Contenido de carbono	52
Captura de carbono	54
Comparación de contenido de carbono con áreas arboladas de otras ciudades	55
Necesidades del bosque	56
CONCLUSIONES	62
Recomendaciones	63
REFERENCIAS	65



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Lista de las especies encontradas en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en 2013 y 2015, DN y altura promedio, valor de importancia, número total de individuos por especie, total de sitios en los que está presente y su distribución geográfica.	27
Cuadro 2.- Biomasa y contenido de carbono promedio por año.	44
Cuadro 3.- Contenido de carbono promedio por especie.	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Lago mayor de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec	12
Figura 2.- Pinus radiata en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.	15
Figura 3.- Descripción del muestreo de arbolado	19
Figura 4.- Mapa de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec donde se diferencian las áreas verdes de las áreas construidas y vialidades	25
Figura 5.- Imagen Satelital de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec	26
Figura 6.- Distribución de alturas en función del DN de los individuos inventariados en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el año 2013 y 2015	32
Figura 7.- Reforestaciones en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec	34
Figura 8.- Distribución de alturas respecto al DN de los individuos muestreados entre el año 2013 y 2015, de las cinco especies más importantes	35
Figura 9.- Número de individuos por sitio de muestreo para el año 2013 y 2015	37
Figura 10.- Total de especies registradas por sitio de muestreo en el año 2013 y 2015	39
Figura 11.- Porcentaje de árboles por condición de vigor de los individuos muestreados en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el año 2013 y 2015	40
Figura 12.- Porcentaje de árboles por condición de vigor de las cinco especies más representativas en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el año 2013 y 2015	42
Figura 13.- Categorías de vigor identificadas en campo	43
Figura 14.- Contenido de carbono por sitio de muestreo por año	48

Figura 15.- Contenido de carbono en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el periodo 2013-2015	49
Figura 16.- Obras de rehabilitación y remodelación en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec	58

## RESUMEN

El Bosque de Chapultepec es el área verde más grande del Distrito Federal y brinda diversos beneficios y servicios ecosistémicos indispensables para el bienestar de la población urbana. No obstante su importancia, el estudio de la dinámica ecosistémica del bosque se encuentra muy limitado, por lo que el objetivo de este trabajo fue realizar la estimación del C contenido en el arbolado de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec mediante el uso de estándares internacionales. La información se obtuvo de 54 sitios de muestreo de 0.05 hectáreas en los años 2013 y 2015. Se registró la altura, el diámetro normal, condición de vigor y la especie de los árboles ubicados dentro de cada sitio. Se aplicaron ecuaciones de biomasa, de volumen y genéricas por árbol con las que se estimó el contenido de C de la biomasa aérea para 2013 y 2015. Se estimó la biomasa retirada por el derribo de árboles y la biomasa que ingresó por reforestación para el año 2015. Se registraron 1,143 individuos de 36 especies diferentes en 2013 y 1,154 individuos de 37 especies en 2015; en ambos años las especies más dominantes fueron *Eucalyptus camaldulensis*, *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus uhdei*, *Casuarina equisetifolia* y *Cupressus lusitanica*. En 2013 el bosque almacenó 4,873.26 MgC y en 2015 4,828.75 MgC, lo que significa un déficit de 44.52 MgC, por lo que en dicho periodo el bosque liberó C a la atmósfera, en lugar de capturarlo. La Segunda Sección del Bosque de Chapultepec emitió más C debido al derribo de árboles muertos, enfermos o declinantes que superó al C proporcionado por los árboles reforestados. Lo anterior es un indicador de la importancia de llevar a cabo un plan de manejo adecuado a las necesidades del bosque y de la sociedad con un enfoque preventivo y con visión a futuro, utilizando como base los diagnósticos realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en 2008 y 2012, así como la información generada en el presente trabajo, que en conjunto permiten conocer la estructura y composición del bosque, así como su condición sanitaria; la cual se complementa con su capacidad para almacenar y capturar C de forma anual. Esta información será de gran utilidad para distribuir de forma adecuada el presupuesto asignado al bosque, con el fin de mejorar las condiciones del arbolado

y con ello asegurar la permanencia del área verde y en consecuencia los servicios ecosistémicos que brinda.

**Palabras clave:** biomasa, bosque urbano, dióxido de carbono, captura de carbono, servicios ecosistémicos.

## ABSTRACT

The biggest urban forest of the Federal District, Mexico is the Bosque de Chapultepec; it provides essential ecosystem benefits and services for the well-being of the urban population. Despite its importance, its research has been scarce. The objective of this study was to develop a C estimation of the wooded areas in the Second Section of the park using international standards. The information was obtained from 54 sampling sites of 0.05 ha in 2013 and 2015. The height, normal diameter and species of every sampled tree were registered. Biomass, volume and generic equations were used to estimate the C content of the above ground biomass in 2013 and 2015. The biomass removal by cut trees and the biomass income of reforestation was estimated through 2015. There were 1,143 individuals of 36 different species registered in 2013 and 1,154 individuals of 37 species in 2015; the most dominant species in both years were *Eucalyptus camaldulensis*, *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus uhdei*, *Casuarina equisetifolia* and *Cupressus lusitanica*. In 2013 the forest carbon content was of 4,873.26 MgC and 4,828.75 MgC in 2015, so there was a 44.52 MgC deficit, which means that the forest emitted C instead of capturing it. The Second Section of the Chapultepec Forest released more C due to the downing of dead, sick or declining trees, which exceeded the C provided by the reforested trees. This indicates the importance of carrying out a proper management plan that meets the needs of the forest and society with a preventive approach and vision to the future, using as a basis the previous inventories carried out by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias in 2008 and 2012, as well as the information generated in this paper, which together provide insight into the structure and composition of the forest as well as their health condition, which complements with its ability to store and capture C annually. Furthermore, this information will be useful to properly distribute the budget allocated to forest management, to improve the conditions of trees and thereby ensure the permanence of this green area and therefore the ecosystem services it provides.

**Key words:** biomass, carbon dioxide, carbon sequestration, ecosystem services, urban forest.

## INTRODUCCIÓN

La Tierra es un sistema dinámico, dentro del cual la biosfera es un componente esencial que se encuentra en constante cambio (Steffen *et al.*, 2005). La hipótesis de Gaia (Lovelock, 1972) establece que la tierra funciona como un ser vivo, está compuesto por sistemas que llevan a cabo diversos procesos, los cuales son necesarios para lograr su autorregulación; su alteración puede provocar efectos directos sobre los mismos, lo que podría provocar el colapso del sistema tierra.

Las actividades humanas producen efectos negativos sobre los ecosistemas y como lo establece la hipótesis de Gaia, sus consecuencias afectan al planeta a escala global, amenazan los procesos y componentes bióticos y abióticos de los cuales depende el mismo ser humano (Steffen *et al.*, 2005).

El cambio global incluye alteraciones sistémicas que operan a través de la interacción entre geósfera y biósfera, así como la acumulación de los cambios que ocurren a escala local (Turner *et al.*, 1990), como la urbanización y el cambio de uso de suelo (Karl y Trenberth, 2003).

El cambio climático es considerado una modificación a nivel global, la cual de acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), es toda aquella alteración en las condiciones del clima que ocurra a lo largo del tiempo, ya sea ocasionado por variaciones naturales o como resultado de actividades humanas (IPCC, 2007). Por otro lado, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992) establece que el cambio climático corresponde a toda modificación ocasionada por las actividades humanas, que de forma directa o indirecta alteran la composición de la atmósfera y que ocurren además de los cambios climáticos naturales observados por largos periodos de tiempo.

Las actividades humanas contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales son principalmente vapor de agua (60% del total de GEI), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), (25%), ozono (O<sub>3</sub>), (8%) y el resto corresponde a trazas de otros gases como metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); las nubes también contribuyen al efecto invernadero (Karl y Trenberth, 2003).

El CO<sub>2</sub> forma parte del ciclo del carbono (C), el cual se compone de flujos que dependen de procesos fisicoquímicos y biogeoquímicos, como la fotosíntesis, la respiración de las plantas y los procesos heterotróficos del suelo (Cao y Woodward, 1998). Estos flujos son regulados por sumideros y fuentes naturales; los océanos, la atmósfera y los bosques son ejemplos de sumideros de C, mientras que la respiración de las plantas, la descomposición de materia orgánica y los incendios son fuentes de C (Falkowski *et al.*, 2000).

El CO<sub>2</sub> es el GEI de origen antropogénico más importante por ser el más abundante. De acuerdo con análisis de núcleos de hielo, la concentración de CO<sub>2</sub> de los últimos 420, 000 años estuvo en un rango de 180 a 280 ppmV (Steffen *et al.*, 2005). A partir de la era preindustrial y hasta el año 2005 el CO<sub>2</sub> aumentó un 31% (de 280 ppm a 379 ppm). En diez años el aumento en la concentración anual de CO<sub>2</sub> fue de 1.9 ppm, mientras que si se toma un periodo de 45 años, el aumento fue de 1.4 ppm por año, lo anterior indica un aumento de forma exponencial (Karl y Trenberth, 2003; IPCC, 2007).

Las tasas de aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> es resultado del incremento en el consumo per cápita de recursos naturales y del consumo de combustible fósil, principalmente petróleo, lo que significa una gran presión sobre los recursos terrestres y sobre la capacidad que tiene el planeta para asimilar los desechos (Steffen *et al.*, 2005). Según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008) las zonas urbanas consumen un tercio de la energía producida a nivel global y este sector contribuye con el 70% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, con una tendencia a aumentar en los próximos años.

De acuerdo al Inventario de Emisiones Contaminantes y de Efecto Invernadero, en 2012 se emitieron 42,139,949 Mg de CO<sub>2</sub>, que representa más del 85% del total de las emisiones de GEI (SEDEMA, 2013). El sector que contribuye de forma mayoritaria en la emisión de CO<sub>2</sub> es el transporte, seguido por la generación de energía eléctrica, manufactura y construcción, consumo personal de energía eléctrica y cambio de uso de suelo (INECC, 2013).



El contenido de C en los ecosistemas terrestres se estima en 2,000 Gt, en comparación con 670 Gt contenidos en la atmósfera (Coomes *et al.*, 2002). Entre los ecosistemas terrestres, los bosques son el principal sumidero de C (Falkowski *et al.*, 2000).

Brown (2002) refiere que los bosques, al verse alterados por causas tanto humanas como naturales, podrían dejar de ser sumideros y convertirse en fuentes de C. Las causas de esta conversión incluyen la remoción de los árboles, el cambio de uso de suelo, la erosión, las plagas y enfermedades que afectan al arbolado y los incendios. Estos cambios pueden ocurrir en periodos cortos de tiempo y por esta razón resulta importante realizar el monitoreo de captura de C de forma periódica.

Las zonas urbanas no poseen grandes extensiones de bosque natural, pero en su lugar tienen parques, jardines y arbolado de alineación, así como relictos de vegetación natural, ya sea en propiedad pública o privada; en su conjunto son los elementos que conforman el bosque urbano (Benavides, 1989; Nowak *et al.*, 2002).

Las áreas arboladas en las ciudades han adquirido mayor importancia debido a que brindan bienes y servicios ecosistémicos a una población en constante aumento (Nowak y Crane, 2002).

Los servicios ecosistémicos son las condiciones y los procesos que se llevan a cabo en los ecosistemas naturales que en conjunto con las especies que los habitan satisfacen de forma directa o indirecta las necesidades humanas; estos servicios incluyen: purificación de agua y aire, generación y renovación de suelos, polinización de flores, translocación de nutrientes, estabilización del clima, además de proveer belleza estética y estimulación intelectual (Daily, 1997).

Los bienes y servicios ecosistémicos que brindan las áreas verdes incluyen la reducción de la radiación solar, disminución de la contaminación auditiva, captura de partículas en suspensión, modificación de la composición de gases en la atmósfera, regulan el ciclo del C, actúan como cortinas rompe vientos, atraen vida silvestre y mejoran la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. Se deben conocer y estudiar los beneficios que cada área verde brinda, con el fin de medir su

calidad y de ser necesario, tomar las medidas correspondientes para mejorarla (Rowntree, 1986).

Los beneficios que brindan las áreas verdes las convierten en elementos esenciales para el bienestar humano y por lo tanto se deben considerar como parte de la infraestructura urbana. Su gestión y planeación debe realizarse acorde al concepto de desarrollo urbano sustentable, es decir, debe satisfacer las necesidades de las personas en el ámbito social, económico y ecológico, ser accesible para todos y asegurar su permanencia a futuro, sin exceder el límite de carga de los ecosistemas que mantienen a la población (Huizar y Ojeda-Revah, 2014; Guevara *et al.*, 2014).

La captura de C es un ejemplo de servicio ecosistémico, ésta forma parte del ciclo del C y corresponde a una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa arbórea (Dávalos *et al.*, 2008).

Las ciudades tienen otros almacenes de C además de la vegetación que compone el bosque urbano; los suelos, edificios, muebles y rellenos sanitarios almacenan C por diferentes periodos de tiempo, de acuerdo a la vida útil de los materiales que los conforman y mientras no liberen ese C almacenado mediante algún proceso de descomposición o combustión (Churkina, 2012).

El Bosque de Chapultepec es una de las áreas verdes que conforman el bosque urbano del Distrito Federal y como tal, brinda algunos de los bienes y servicios citados con anterioridad.

El almacén y la captura de C son los servicios ecosistémicos que toma como eje principal este trabajo, debido a que forman parte del ciclo biogeoquímico de uno de los elementos más contaminantes que participan en el cambio climático global. Se han realizado inventarios del arbolado de forma aislada (por delegaciones, parques o colonias), así como estudios florísticos y diagnósticos físico-sanitarios en algunas áreas verdes, mas no se ha estudiado la dinámica del C dentro del bosque urbano del Distrito Federal.

## ANTECEDENTES

La estimación del contenido de C de los bosques urbanos surgió a partir de la preocupación por mitigar los efectos del cambio climático. Debido a que el C es de los GEI más abundantes, fue necesario conocer su dinámica dentro de las ciudades, no sólo porque en éstas se emite la mayor cantidad de esos gases, sino porque más de la mitad de la población mundial se concentra en zonas urbanas.

La primera estimación del contenido de C de un bosque urbano fue realizada por Rowntree y Nowak en 1991, utilizando datos empíricos del porcentaje de área cubierta por bosques urbanos en los Estados Unidos de América, el número de árboles por unidad de área, la biomasa promedio de peso seco y el valor promedio de C contenido por acre.

Dwyer y colaboradores (1992), y McPherson (1992) realizaron estudios sobre los beneficios ambientales de los bosques urbanos en varias ciudades del mismo país. Después de obtener información sobre los beneficios de los bosques urbanos, comenzaron a considerarse como un elemento indispensable en la infraestructura de las ciudades.

Durante la década de los 90 se realizaron estimaciones más precisas sobre captura de C en el bosque urbano de los Estados Unidos, tanto en las ciudades más importantes como una estimación de todo el país (Rowntree y Nowak, 1991; Nowak, 1993; Nowak, 1994).

A finales de los años noventa el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos desarrolló un modelo computarizado llamado UFORE (Urban Forest Effects), para determinar la estructura, los efectos medioambientales y el valor económico del bosque urbano (UFORE, 2012). El modelo incorpora datos de la vegetación, datos meteorológicos locales y mediciones de contaminantes para determinar la anatomía del bosque urbano, emisiones de compuestos volátiles orgánicos biogénicos (que contribuyen a la formación de  $O_3$ ), contenido y captura de C y deposiciones secas de contaminantes atmosféricos (Nowak y Crane, 1998).

El modelo UFORE ha demostrado que la cantidad total de C contenido y almacenado dentro de las ciudades estadounidenses es mayor mientras mayor sea

el área del bosque urbano, así como la proporción de árboles más grandes y/o más sanos (Nowak y Crane, 2000).

A principios del siglo XXI se realizaron estudios en varias ciudades de países industrializados, como Australia (Brack, 2002), Corea del Sur (Hyun-Kil Jo, 2002), China (Yang *et al.*, 2005; Liu y Li, 2012), Sudáfrica (Stoffberg *et al.*, 2010; Schäffler y Swilling, 2012), Italia (Paoletti *et al.*, 2011), Canadá (Millward y Sabir, 2011), Portugal (Soares *et al.*, 2011) y Alemania (Strohbach *et al.*, 2012; Strohbach y Haase, 2012). En todos ellos se encontró que el bosque urbano brinda beneficios como reducción del gasto energético, mitigación de la contaminación y captura de C.

### **Los bosques urbanos en México**

En México se han realizado estudios tanto cualitativos, como cuantitativos en relación a los bosques urbanos, sin embargo son incipientes los que se han realizado para la cuantificación de C. Los primeros son más abundantes pues requieren menos recursos. Ambos son de gran utilidad para conocer la estructura, condición, necesidades y, para el caso de este trabajo, la importancia de estos bosques como generadores de bienes y servicios ecosistémicos.

En Jalisco se han realizado dos análisis dasonómicos en bosques urbanos de la Zona Metropolitana de Guadalajara, uno en la Cabecera Municipal de Zapopan (Covarrubias, 1991) y otro en el Municipio de Guadalajara (Chagollan, 1994); en ambos estudios se encontró que los árboles no se encuentran en óptimas condiciones debido a la falta de planeación y mantenimiento.

Espinosa (2005) estimó el contenido de C del bosque periurbano de *Pinus hartwegii* que se encuentra en suelo de conservación, en la cuenca alta del río Magdalena, el cual fue de 43.94 MgC ha<sup>-1</sup>.

En la Ciudad de Durango se realizó un análisis de los flujos de carbono en la biomasa aérea de los parques y jardines, donde se determinó que el contenido de C del bosque urbano en 2007 fue de 29.69 MgC ha<sup>-1</sup> (Sánchez-Gallegos, 2007).

Escobedo y Chacalo (2008) utilizaron el modelo UFORE para estimar la deposición seca de contaminantes atmosféricos ( $O_3$  y  $PM_{10}$ ) en la cobertura del arbolado urbano de la Ciudad de México, dicha estimación fue de 2,161 ton de partículas  $>10$  ppm y 1,863 ton de  $O_3$  durante el año 2000.

En el Bosque Colomos, Guadalajara, se analizó la percepción de los visitantes respecto a los servicios ecosistémicos culturales que ofrece y se realizó la medición de algunos servicios ecosistémicos de regulación. Se encontró que en el interior del bosque se mantiene una menor variación de temperatura con respecto a sus límites y al área urbana, mayor humedad relativa, reducción de la contaminación auditiva, infiltración de agua al subsuelo y captura de partículas suspendidas, sin embargo no se analizaron los servicios ecosistémicos de contenido y captura de C (Díaz y Curiel, 2012).

El Dr. Héctor Mario Benavides Meza, investigador del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID-COMEF del INIFAP) llevó a cabo entre 2008 y 2009 el proyecto intitulado *Diagnóstico y caracterización de la 2ª sección e inventario total de su arbolado y determinación y evaluación de especies para la reforestación de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec*.

Dicho diagnóstico consistió en el establecimiento de una red cuadrangular de estaciones de muestreo para la toma de datos dasométricos; la finalidad del proyecto fue conocer la estructura del bosque y su condición fitosanitaria. En 2012 el CENID-COMEF repitió la metodología de dicho proyecto con el objetivo de actualizar y complementar la información previa, determinar los requerimientos de mantenimiento del arbolado y conformar el Programa de Manejo de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

La metodología implementada en ambos proyectos se fundamentó en criterios de dasonomía urbana aplicados de forma específica para la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec, por lo tanto fue necesario seguir la metodología para cuantificar contenido de C de la biomasa aérea desarrollada por el IPCC (2003), la

cual establece estándares internacionales. Dicha metodología se implementó en el presente trabajo para continuar con la línea de investigación referente a la captura de C de las áreas verdes a nivel internacional; para ello se utilizó como base la información generada en las estaciones de muestreo para el diagnóstico de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec, establecidas por el CENID-COMEF (2009).

La línea de investigación que utiliza la metodología del IPCC inició con Mijangos (2015) que consistió en la estimación de contenido y captura de C del Bosque de San Juan de Aragón en el año 2012. Este bosque es un área verde con una extensión de 162.03 ha y es considerada como la segunda área verde más importante del Distrito Federal. En dicho estudio encontró que el área verde almacenó 52.74 MgC ha<sup>-1</sup> en 2012 y capturó 866.91 MgC en un periodo de dos años.

López-López (2015), por otro lado, realizó la estimación del contenido de C en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec. Encontró que ésta almacena 3,067.42 MgC en las 182 ha que corresponden a áreas verdes.

La investigación de los servicios ecosistémicos de las áreas verdes urbanas de México se encuentra poco explotada, pero los trabajos de Mijangos (2015), López-López (2015) y el presente estudio, sentarán las bases para el monitoreo de los almacenes de C en las áreas verdes del Distrito Federal. Estos almacenes forman parte del ciclo del C en las ciudades, y su estudio permitirá elaborar estrategias viables para mitigar los efectos del cambio climático (Rowntree y Nowak, 1991; Nowak y Crane, 2002; Churkina, 2012).

## ÁREA DE ESTUDIO

### Generalidades

El Bosque de Chapultepec es el área verde más grande de La República Mexicana; se localiza en el Distrito Federal, dentro del pie de monte volcánico de la Sierra de Las Cruces. Su posición geográfica está entre los 19° 23' 40" y 19° 25' 45" de latitud Norte y 99° 10' 40 " y 99° 14' 15" de longitud Oeste, entre 2,240 y 2,450 msnm (GODF, 2006).

La extensión del bosque es de 686.01 ha, divididas en tres secciones. La Primera Sección ocupa un área de 274.08 ha de las cuales 182 ha corresponden a áreas verdes; la Segunda Sección comprende una superficie total de 168.03 ha (no se ha reportado de forma oficial la superficie que corresponde a áreas verdes); y la Tercera Sección posee una superficie de 243.9 ha de las cuales 53.5 ha corresponden a áreas verdes (GDF, 2006; INIFAP-DBCh, 2010).



**Figura 1|** Lago mayor de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

El bosque se ubica dentro de la Delegación Política Miguel Hidalgo del Distrito Federal y tiene acceso por las siguientes vialidades: al norte, por Rubén Darío y Paseo de la Reforma, al oriente, por Calzada General Mariano Escobedo y Circuito Interior, al sur, por Avenida Constituyentes, al poniente, por las calles Cumbres de Acultzingo, Paseo de la Reforma, Sierra Mijes, Montes Cárpatos, Miguel Ángel de Quevedo y Avenida Boulevard de los Virreyes (GDF, 2006).

La Segunda Sección se inauguró el 24 de octubre de 1964, a cargo del presidente Adolfo López Mateos; el diseño de las vialidades, kioscos, calzadas y museos lo llevó a cabo el arquitecto Leónides Guadarrama. En la actualidad, esta sección alberga espacios recreativos y culturales como el Papalote Museo del Niño, La Feria, el Museo de Historia Natural, el Cárcamo de Dolores, la pista de corredores “El Sope”, el Museo Jardín del Agua, el Museo Tecnológico de la C.F.E., las fuentes de Tláloc y Xochipilli, así como restaurantes y puestos ambulantes, dicha infraestructura brinda sus servicios a un promedio de 4.5 millones de visitantes al año (Molina, 1979; Fideicomiso Probosque de Chapultepec, 2013)

### **Edafología**

Los suelos en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec son de origen volcánico, cuyo endurecimiento facilitó la formación de un horizonte de baja porosidad, fertilidad baja, limitada actividad biológica y de textura arcillosa a arenosa denominado tepetate. Hay zonas en donde el tepetate se encuentra muy por debajo de una capa de residuos de material de construcción, el cual se utilizó como relleno para nivelar el área. En general, los suelos de la segunda sección son muy heterogéneos, en su mayoría son ácidos con altos grados de compactación y baja humedad, presentan baja conductividad eléctrica, baja capacidad de intercambio catiónico, así como metales pesados como hierro y cobre, los cuales son más solubles en condiciones de acidez y su presencia representa cierto grado de toxicidad para las plantas, en menor proporción, se registraron zonas con suelos ricos en materia orgánica y fósforo (PUEC-UNAM, 2002; INIFAP-DBCh, 2010).



## Hidrología

El Bosque de Chapultepec se encuentra dentro de la pequeña subcuenca hidrológica Dolores-Chapultepec, la cual se encuentra a su vez entre dos subcuencas de mayor extensión, la del Río Tacubaya al sur y la del Río Tecamachalco al norte. Los escurrimientos de la subcuenca Dolores-Chapultepec tienen lugar sólo en temporada de lluvias. Dentro de la subcuenca existe una presa de contención que representa un importante regulador climático e hidrológico local (GODF, 2006).

## Clima

Predomina el clima C(w), templado subhúmedo con lluvias en verano, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García. La precipitación promedio anual varía entre 678.3 y 924.8 mm. La temperatura media anual es de 15°C; con una temperatura mínima promedio de 14.2°C y una temperatura promedio máxima de 18°C (PDDU en Miguel Hidalgo, 2008; PUEC-UNAM, 2002).

## Vegetación

El Bosque de Chapultepec se localiza en la Cuenca de México, en la provincia fisiográfica de la Altiplanicie Mexicana que forma parte del Eje Neovolcánico Transversal (Rzedowski, 2006).

La vegetación original de la Segunda Sección de Chapultepec carece de un registro oficial, pero fuentes históricas señalan que en la Cuenca de México habitaron cipreses (*Cupressus* sp.), sauces (*Salix* sp.), pinos (*Pinus* sp.), ahuehuetes (*Taxodium mucronatum*), fresnos (*Fraxinus* sp.), entre otras (López-López, 2011). Después se establecieron especies como *Schinus molle* L., *Acacia schaffneri* (Was.) Hermann y *Eysenhardtia polystachia* (Ort.) Sarg.

El estudio realizado por INIFAP-DBCh (2014) señala que la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec está compuesto por 27,193 individuos que corresponden a 118 especies, de las cuales *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh, *Ligustrum lucidum* W. T. Aiton. y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. constituyen más

del 63% del arbolado. Aquellas con una representación entre el 1 y 10% son: *Cupressus lusitanica* Mill, *Casuarina equisetifolia* Forst., *Pinus radiata* D. Don, *Cupressus sempervirens* L., *Jacaranda mimosifolia* D.Don, *Phoenix canariensis* Chabaud y *Yucca gigantea* Lem.



**Figura 2|** *Pinus radiata* en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

En el año 2009 y posteriormente en 2014, se realizaron programas de saneamiento que incluyeron el retiro de ramas, el derribo de alrededor de mil árboles y la reforestación de brinzales de fresno, trueno, pino, entre otras especies.

## OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio fue estimar el contenido y captura de C en el arbolado de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

En tanto que los objetivos particulares derivados del anterior, son los siguientes:

- ❖ Elaborar un mapa de la vegetación arbórea de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec
- ❖ Analizar la composición de especies arbóreas y su tamaño.
- ❖ Estimar la biomasa aérea forestal por medio de mediciones en campo estandarizadas internacionalmente
- ❖ Determinar el contenido de C actual de la biomasa aérea en el arbolado de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec
- ❖ Estimar el C capturado durante el periodo 2013-2015

## MÉTODO

### **Mapa de arbolado**

Se elaboró un mapa de las áreas verdes de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec, con base en imágenes satelitales cuyo procesamiento de datos cartográficos se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap versión 10 (ESRI, 2011), con el cual se obtuvo la proporción de áreas arboladas que permitieran extrapolar los resultados obtenidos en los sitios de muestreo.

### **Muestreo de arbolado**

Se solicitó al CENID-COMEF la ubicación de las estaciones de muestreo del diagnóstico 2008, las cuales se establecieron mediante coordenadas UTM, que representaron el centro de las unidades de muestreo, las cuales consistieron en sitios circulares de 500 m<sup>2</sup> con 12.6 m de radio (INIFAP-DBCh, 2010).

En cada sitio ubicaron el árbol central (el más cercano a las coordenadas establecidas) y los árboles situados dentro de los 500 m<sup>2</sup>. De cada árbol se registró su número de inventario, su especie y datos dasométricos como altura, DN, diámetro basal, diámetro de copa, vigor, entre otras.

El muestreo descrito se replicó de forma parcial en el presente estudio, en los años 2013 y 2015; la obtención de los datos dasométricos se realizó siguiendo estándares internacionales para estimar la biomasa aérea con ecuaciones alométricas, el contenido de C para cada año de muestreo y la captura de C en el periodo 2013-2015.

### ***Muestreo 2013***

El muestreo que se empleó fue del tipo aleatorio simple a partir de la retícula de 173 puntos, equidistantes uno de otro a 100 m establecidos por INIFAP-DBCh (2010). Del total de puntos, 62 sitios se ubicaron en áreas inaccesibles o sin vegetación (dentro de los lagos, sobre vialidades o construcciones) por lo que no fueron

considerados para el muestreo; de los 111 puntos aptos para muestreo, se levantaron 54 sitios.

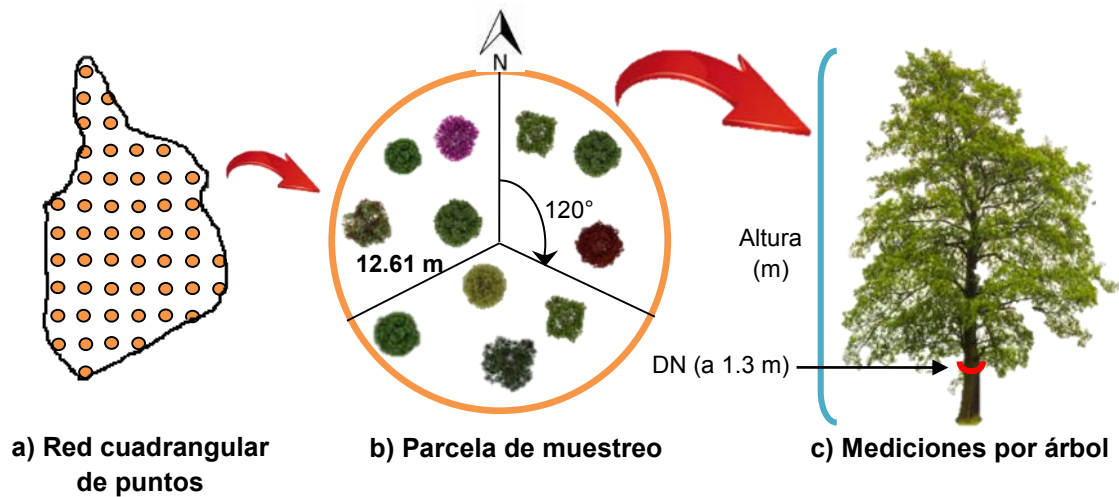
La ubicación del centro de cada sitio a muestrear se estableció por medio de un geoposicionador marca Garmin eTrex Vista® H, modelo 12XL, con un error menor a 10 m.

La información del arbolado proporcionada por INIFAP-DBCh (2010) se utilizó para ubicar el árbol central y los árboles levantados de cada sitio a muestrear. No fue posible identificar a cada árbol por su número de inventario previo, debido al error de precisión del GPS, a que la etiqueta de los árboles se había perdido, el número de inventario se había borrado o el árbol había sido derribado. Debido a lo anterior, se ubicó al árbol más cercano a las coordenadas proporcionadas y éste se tomó como el centro del sitio. Para delimitar el área de muestreo se lanzaron tres cuerdas de 12.6 m de longitud; la primera cuerda se lanzó hacia el norte, la segunda a 120° y la tercera a 240°.

Una vez delimitada la unidad de muestreo se numeraron todos los árboles con DN mayor a 5 cm y altura mayor a 1.3 m con al menos 50% de su área basal dentro de la circunferencia, aquellos árboles con ramificaciones debajo del DN se les consideró cada tallo como un individuo independiente (IPCC, 2003; Rojas-García y Villers-Ruíz, 2008; Hutyra *et al.*, 2010).

De cada árbol se registró la especie, se midió su altura en metros con una pistola Haga y su perímetro con cinta métrica en centímetros, para posteriormente realizar la conversión a DN (Figura 3).

Los datos de campo fueron obtenidos durante el año 2013 entre los meses de enero a marzo. La información registrada a nivel de unidad de muestreo fue: zona, número de sitio (tomados de INIFAP-DBCh, 2010), fecha, coordenadas UTM y altitud (msnm).



**Figura 3|** Descripción del muestreo de arbolado.

a) Red de sitios de muestreo; b) dimensión del círculo usado como unidad de muestreo y líneas utilizadas para delimitar el área; c) mediciones tomadas por árbol.

### **Muestreo 2015**

La metodología del muestreo realizado en 2013 se replicó en 2015 para estimar el incremento de la biomasa aérea y el re-muestreo de los 54 sitios se realizó en los meses de abril y mayo. Se ubicó el centro del sitio con GPS y con ayuda del muestreo 2013 se ubicaron los árboles de cada sitio. Se midió su altura en m y su DN en cm. Se registraron individuos nuevos, algunos de éstos correspondieron a reforestaciones y el resto a individuos que no entraron en el muestreo de 2013 porque no alcanzaron el DN mínimo requerido (5 cm).

### **Análisis estructural**

De acuerdo con la metodología de Rojas-García (2008), se graficó la altura de cada individuo muestreado en función de su DN, tanto para el año 2013 como 2015. Se calculó la abundancia relativa, dominancia y frecuencia de cada especie arbórea para determinar su valor de importancia escalado a 100 de conformidad con la siguiente fórmula:

$$VI = AR + DR + FR$$

Donde: VI es el valor de importancia; AR es la abundancia relativa; DR es la dominancia relativa y FR es la frecuencia relativa.

La abundancia relativa se calculó al dividir el número de individuos de la especie entre el número total de individuos muestreados. La dominancia de la especie se calculó como la suma del área basal de los individuos de la misma especie entre la suma total de las áreas basales. La frecuencia de la especie es el número de sitios en los que se encuentra la especie entre el número total de sitios muestreados (Kent, 2011).

Se graficó la altura en función del DN de las especies cuyo valor de importancia fue mayor al 5%, ya que se consideraron como las más dominantes en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

### **Condición de los árboles**

La condición de vigor de cada uno de los individuos se obtuvo mediante una caracterización cualitativa desarrollada por INIFAP-DBCh (2010). El procedimiento consiste en determinar el porcentaje de ramas secas, presencia de follaje, estructura de la copa, estado sanitario de la copa y del tronco. La condición de vigor se divide en seis categorías:

- Vigoroso – árbol en condiciones físicas y sanitarias óptimas
- Declinante incipiente – Ausencia de follaje en no más del 30% de la copa, presencia de ramas terciarias muertas.
- Declinante moderado – Ausencia de follaje entre 30 y 60% de la copa, ramas terciarias y/o secundarias muertas.
- Declinante avanzado – Ausencia de follaje en un 60 a 90% de la copa, ramas terciarias, secundarias muertas, poco follaje en ramas primarias, puntas de ramas primarias muertas, brotes epicórmicos y de yemas adventicias.
- Declinante severo – Muy poco follaje en copa, menos del 10 %, presencia de brotes epicórmicos y ramas terciarias, secundarias y primarias muertas.

- Muerto – pérdida total de follaje, tronco seco (si se raspa en la corteza no se ve tejido vivo) y posible desprendimiento de corteza.

La apariencia de la copa, ramas y hojas de los árboles fueron los elementos utilizados para asignar la condición de vigor, por lo tanto, los individuos que presentaron defoliación estacional (debido a que el muestreo de 2013 se realizó en invierno) fueron descartados para este análisis.

Se comparó la condición de vigor de los árboles registrados en ambos años, para determinar si hubo cambio en su condición, lo cual sirvió como indicador de las condiciones del sitio.

### **Estimaciones de biomasa y contenido de carbono**

La biomasa de todos los individuos muestreados se determinó, tanto del muestreo 2013 como del 2015. Se emplearon 11 ecuaciones de biomasa para su especie correspondiente, desarrolladas en la Ecoregión Nivel I Sierras Templadas, donde se ubica el Distrito Federal (Rojas-García *et al.*, 2015), con la siguiente forma:

$$B = \left( ([a0]) * ([DN])^{([a1])} * \frac{([HT])^{([a2])}}{1000} \right) + ([a3])$$

donde  $B$  = biomasa (Mg);  $DN$  = diámetro normal (cm);  $HT$  = altura total (m) y  $a(n)$ =coeficientes definidos para cada especie.

Se utilizaron 10 ecuaciones volumétricas y valores de densidad de la madera específicos para 15 especies que no tenían ecuación de biomasa (Rojas-García *et al.*, 2015):

$$V = \text{Exp}(a0 + a1 * \text{Log}(DN) + a2 * \text{Log}(HT))$$

donde  $V$  = volumen (m<sup>3</sup>);  $DN$  = diámetro normal (cm);  $HT$  = altura total (m) y  $a(n)$  = coeficientes.

Las 12 especies que no contaron con ecuaciones específicas para estimar su biomasa, se les estimó su volumen con la siguiente fórmula:



$$V = \left( \frac{\pi * \frac{DN^2}{4}}{10000} \right) * HT * 0.7$$

donde V = volumen (m<sup>3</sup>); DN = diámetro normal (cm) y HT = altura total (m). El valor obtenido se multiplicó por el valor de densidad de la madera a nivel de género o en su defecto por 0.5 (Grijpma, 2001).

Se calculó el contenido de C de cada árbol a partir de la biomasa para ambos años, el cual corresponde entre el 45 y 50% del peso seco total (Schlesinger, 1997). El valor de biomasa se multiplicó por el valor más conservador, es decir por 0.45.

Se obtuvo el contenido de biomasa y C por sitio, a partir de este dato, se escaló a ha, se determinó la biomasa y C promedio entre los sitios. El valor obtenido se extrapoló a la extensión de área verde calculada a partir del mapa de vegetación, con lo que se obtuvo el contenido de C en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec por cada año de muestreo. Se diferenció el C contenido en la biomasa viva de la muerta, debido a que ésta última representa un almacén de C mientras la materia muerta no sea quemada o removida (IPCC, 2003).

### **Captura de carbono**

La captura de C del periodo 2013-2015 se estimó mediante la comparación de los datos de contenido de C total en el área verde de la Segunda Sección del Bosque; se graficaron ambos valores y se determinó si existía incremento, decremento o si se mantuvo igual. Un incremento en el contenido de C significaría que la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec es un almacén. Por el contrario, un decremento significaría que el bosque emitió en ese periodo más C del que pudo capturar el arbolado.

El incremento en el contenido de C podría deberse al aumento de la biomasa aérea, dada por el crecimiento del diámetro y la altura de los árboles o por la adición de elementos arbóreos al muestreo (reforestación o brinzales que no habían entrado en el muestreo de 2013 y que crecieron lo suficiente para ser incorporados en el muestreo 2015), por el contrario el decremento estaría dado por la remoción de árboles.



# RESULTADOS

## Mapa de vegetación

La extensión total reportada para la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec es de 168.03 ha (GDF, 2006). El mapa de vegetación elaborado arrojó una extensión total de 158.34 ha para la zona de estudio, mientras que el área verde ocupó 84.62 ha, lo que representa el 53.44% de la superficie total (Figura 4). La diferencia entre la extensión total reportada y la calculada es de 9.69 ha.

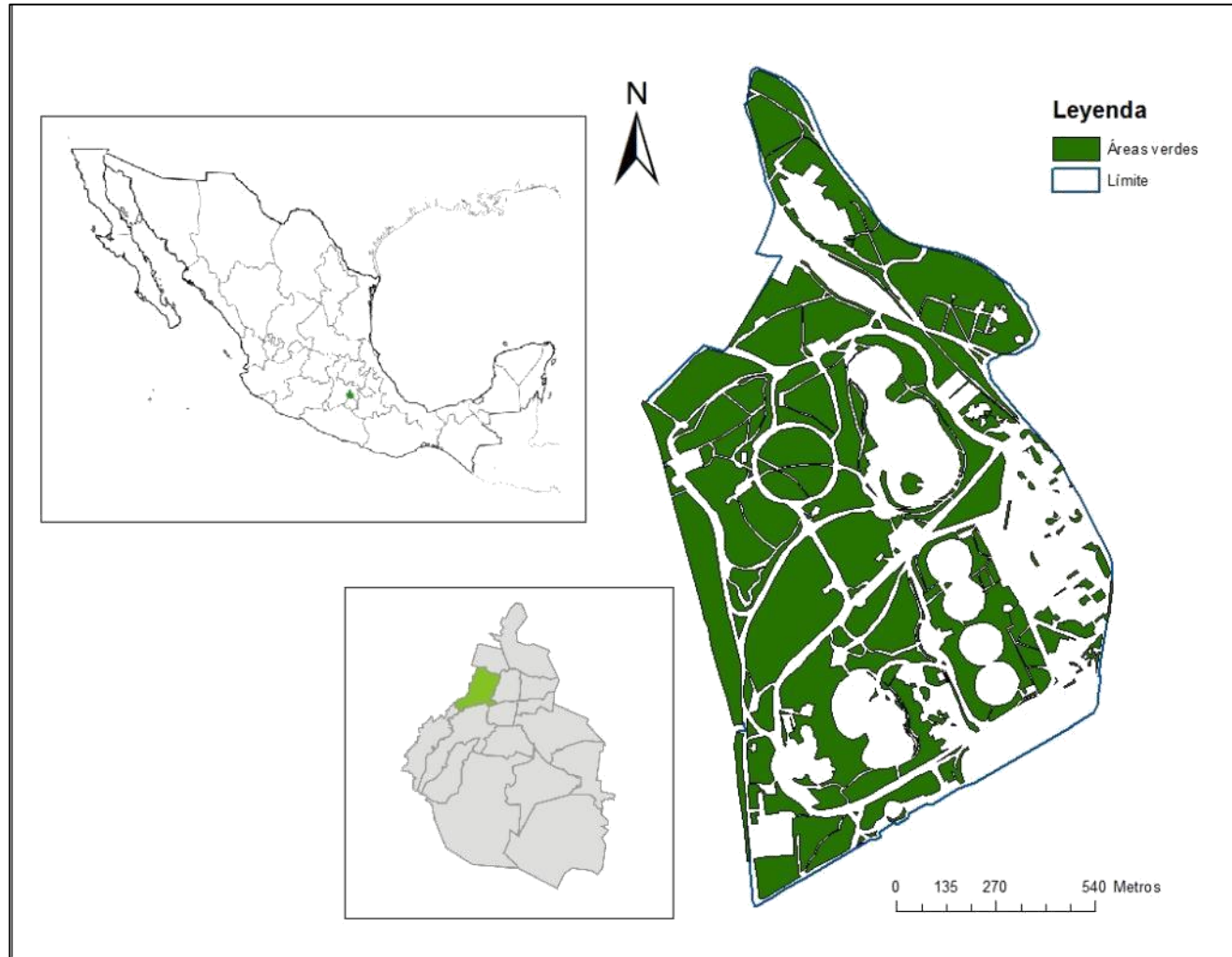
## Muestreo de arbolado

El área muestreada total fue de 2.7 ha, es decir 54 sitios de muestreo que representan el 3.2% del área que corresponde a área verde en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec (Figura 5) y en las cuales se evaluaron 1,143 árboles correspondientes a 36 especies arbóreas, pertenecientes a 29 géneros y 21 familias para el año 2013, mientras que para 2015 se midieron 1,154 individuos correspondientes a 37 especies, pertenecientes a 28 géneros y 21 familias. En el Cuadro 1 se muestra el listado completo de las especies registradas.

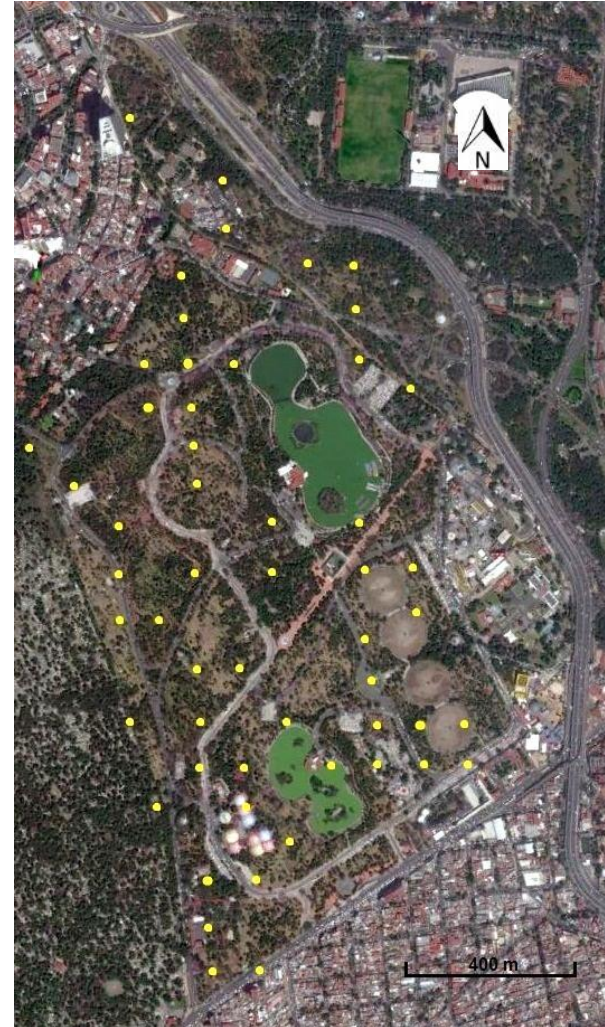
## Análisis estructural

La distribución de los individuos inventariados en 2013 arrojó un DN promedio y desviación estándar de  $18.01 \pm 13.78$  cm y una altura promedio de  $10.73 \pm 6.25$  m, mientras que para 2015 el DN promedio fue de  $18.46 \pm 13.74$  cm y la altura promedio de  $10.60 \pm 5.83$  m, con un aumento promedio de  $1.17 \pm 2.75$  cm en DN y  $0.48 \pm 0.84$  m en altura. En el Cuadro 1 se muestra el DN y altura promedio de las especies registradas para ambos años, así como el número de árboles y sitios en los que estuvo presente y su distribución geográfica. En la Figura 6 se muestra la distribución de alturas en función del DN de los individuos muestreados para cada año.

Tanto para 2013 como para 2015, el DN y la altura promedio se encontró en torno a los 18 cm y los 10 m, respectivamente. Para 2015 el DN promedio aumentó 0.45 cm, mientras que la altura promedio se redujo 0.13 m.



**Figura 4|** Ubicación de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec donde se diferencian las áreas verdes de las áreas construidas y vialidades.



**Figura 5|** Imagen Satelital de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec. Tomada de Google™ earth el 24 de marzo de 2013 (izquierda) y 9 de abril de 2015 (derecha), los puntos representan los sitios muestreados. La numeración inicia en el extremo Norte.

**Cuadro 1|** Especies registradas en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en 2013 y 2015, diámetro normal y altura promedio, valor de importancia, número total de individuos por especie, total de sitios en los que está presente y su distribución geográfica.

Familia	Especie	2013	DN		H		VI	I	S	Distribución
		2015	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$				
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.		33.94	21.87	11.00	6.24	0.84	3	3	SA <sup>15</sup>
			21.46	22.23	8.00	5.74	0.94	6	3	
	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi		9.39	3.16	5.21	0.94	1.52	15	6	SA <sup>15</sup>
			11.30	3.11	5.85	0.68	1.57	17	6	
Arecaceae	<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud		72.02	14.60	9.15	2.39	4.35	12	2	IC <sup>8</sup>
			72.96	14.14	9.69	2.43	4.76	13	3	
	<i>Washingtonia filifera</i> (Linden ex André) H.Wendl. ex de Bary		40.50	6.86	9.50	0.71	0.58	2	2	EUA y MEX <sup>4</sup>
			41.86	7.43	9.75	1.06	0.57	2	2	
Asparagaceae	<i>Yucca filifera</i> Chabaud		45.03	7.84	3.43	1.21	0.61	3	1	MEX <sup>4</sup>
			9.52	3.48	3.77	1.21	0.54	11	1	
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> (Schltdl.) Furlow		16.58	s.d.	8.50	s.d.	0.21	1	1	MEX y CA <sup>1</sup>
			17.76	s.d.	9.00	s.d.	0.21	1	1	
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don		26.46	11.40	15.00	5.58	2.73	25	5	ARG y BRA <sup>15</sup>
			26.53	13.28	13.76	6.21	3.33	31	6	
Cannabaceae	<i>Celtis occidentalis</i> L.		11.65	3.02	6.50	0.00	0.24	2	1	EUA y CAN <sup>9</sup>
			12.65	2.81	7.25	0.35	0.24	2	1	

Continúa...

Continuación Cuadro 1...

Familia	Especie	2013	DN		H		VI	I	S	Distribución
		2015	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$				
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>		20.96	11.62	13.99	3.90	6.50	12	73	AUS <sup>16</sup>
	L.		22.83	11.52	14.27	3.82	6.62	12	73	
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>		19.77	10.21	10.46	3.51	5.97	49	19	MEX y GUA <sup>15</sup>
	Mill.		21.43	10.29	11.20	3.61	5.77	46	19	
	<i>Cupressus</i>		13.94	7.31	10.40	3.56	2.46	30	7	EU <sup>5</sup>
	<i>sempervirens</i> L.		13.88	7.45	10.23	3.75	2.67	33	8	
	<i>Taxodium mucronatum</i>		6.05	s.d.	3.80	s.d.	0.20	1	1	EUA, MEX y
	Ten.		s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	GUA <sup>2</sup>
	<i>Thuja occidentalis</i> L		6.10	0.83	4.74	0.58	1.16	21	3	NA <sup>12</sup>
			6.72	0.91	5.40	0.66	1.14	21	3	
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née		6.27	1.04	6.00	1.41	0.40	2	2	EUA y MEX <sup>3</sup>
			8.88	2.78	6.50	0.50	0.58	3	3	
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.		20.53	s.d.	7.00	s.d.	0.22	1	1	MEX <sup>4</sup>
			20.69	s.d.	7.00	s.d.	0.21	1	1	
Leguminosae	<i>Acacia melanoxylon</i>		14.74	1.67	6.50	0.71	0.25	2	1	AUS <sup>15</sup>
	R.Br.		16.35	0.74	7.50	0.71	0.25	2	1	
	<i>Acacia retinodes</i>		s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	AUS <sup>15</sup>
	Schltdl.		6.10	0.99	5.81	0.94	0.75	14	2	
	<i>Erythrina coralloides</i>		9.41	1.51	4.00	0.00	0.41	7	1	MEX <sup>6</sup>
	D.C.		10.35	1.66	5.00	0.00	0.40	7	1	

Continúa...

Continuación Cuadro 1...

Familia	Especie	2013	DN		H		VI	I	S	Distribución
		2015	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$				
Moraceae	<i>Ficus microcarpa</i> L.f.	9.17	s.d.	3.00	s.d.	0.20	1	1	AS y AUS <sup>7</sup>	
		9.71	s.d.	4.00	s.d.	0.19	1	1		
Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i>	32.86	16.01	21.37	6.89	22.80	157	38	AUS <sup>15</sup>	
	<i>camaldulensis</i> Dehnh.	37.28	15.33	22.58	6.35	19.33	113	38		
	<i>Eucalyptus cinerea</i>	92.31	s.d.	33.00	s.d.	0.68	1	1	AUS <sup>15</sup>	
	F.Muell. ex Benth.	92.63	s.d.	33.00	s.d.	0.66	1	1		
	<i>Eucalyptus robusta</i>	49.15	6.93	26.50	2.12	0.67	2	2	AUS <sup>15</sup>	
	Sm.	49.31	5.90	26.25	0.35	0.64	2	2		
	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	84.35	s.d.	33.00	s.d.	0.60	1	1	AUS <sup>15</sup>	
Sm.	86.26	s.d.	22.00	s.d.	0.59	1	1			
Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.)	13.35	8.69	8.45	3.14	17.96	267	38	MEX <sup>3</sup>	
	Lingelsh.	14.90	9.03	9.16	3.12	18.21	271	37		
	<i>Ligustrum lucidum</i>	12.95	6.30	8.12	2.39	19.56	376	25	CHN <sup>3</sup>	
	W.T.Aiton	13.89	6.32	8.50	2.33	19.62	376	25		
Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i>	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	s.r.	MEX y CA <sup>4</sup>	
	Ehrenb. ex Schltld.	8.98	0.18	6.25	2.47	0.39	2	2		
	<i>Pinus montezumae</i>	5.12	s.d.	3.00	s.d.	0.20	1	1	MEX y GUA <sup>4</sup>	
	Lamb.	7.15	2.77	4.25	0.35	0.38	2	2		
	<i>Pinus radiata</i> D.Don	18.47	10.68	10.40	6.09	4.79	57	10	EUA y MEX <sup>4</sup>	

Continúa...



Continuación Cuadro 1...

Familia	Especie	2013	DN		H		VI	I	S	Distribución
		2015	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$				
			19.16	11.00	10.55	5.96	4.97	61	10	
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>		26.26	17.33	14.67	8.50	0.74	3	3	AUS <sup>15</sup>
	A.Cunn. ex R.Br.		16.12	14.83	9.79	7.40	1.17	7	5	
Rosaceae	<i>Crataegus mexicana</i>		19.23	2.17	6.00	0.00	0.32	3	1	MEX Y CA <sup>4</sup>
	D.C.		20.33	2.69	6.00	0.00	0.31	3	1	
	<i>Eriobotrya japonica</i>		9.17	1.42	4.30	0.54	0.84	5	4	CHN y JPN <sup>15</sup>
	(Thunb.) Lindl.		9.59	1.39	5.10	0.55	0.81	5	4	
	<i>Prunus persica</i> (L.)		9.12	2.12	5.04	0.80	0.41	7	1	CHN <sup>17</sup>
	Batsch		9.56	2.38	5.50	0.76	0.40	7	1	
	<i>Prunus serotina</i> subsp.		18.45	2.45	8.00	0.00	0.26	2	1	NA y GUA <sup>3</sup>
	<i>capuli</i> (Cav. ex		18.27	2.52	8.00	0.00	0.25	2	1	
	Spreng.) McVaugh									
	<i>Pyracantha coccinea</i>		5.56	0.49	5.00	0.00	0.26	3	1	AS y EU <sup>10</sup>
M.Roem.		5.53	0.43	5.04	0.27	0.43	9	1		
<i>Pyrus communis</i> L.		15.47	1.94	6.00	0.00	0.25	2	1	AS <sup>15</sup>	
		15.64	2.32	6.50	0.00	0.24	2	1		
Sapindaceae	<i>Acer negundo</i> L.		23.32	8.68	12.50	0.00	0.36	3	1	NA <sup>13</sup>
			24.67	9.09	11.17	1.26	0.35	3	1	
Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata</i>		32.47	s.d.	10.50	s.d.	0.26	1	1	MEX y GUA <sup>14</sup>
	Kunth		35.40	s.d.	11.00	s.d.	0.26	1	1	

Continúa...

Continuación Cuadro 1...

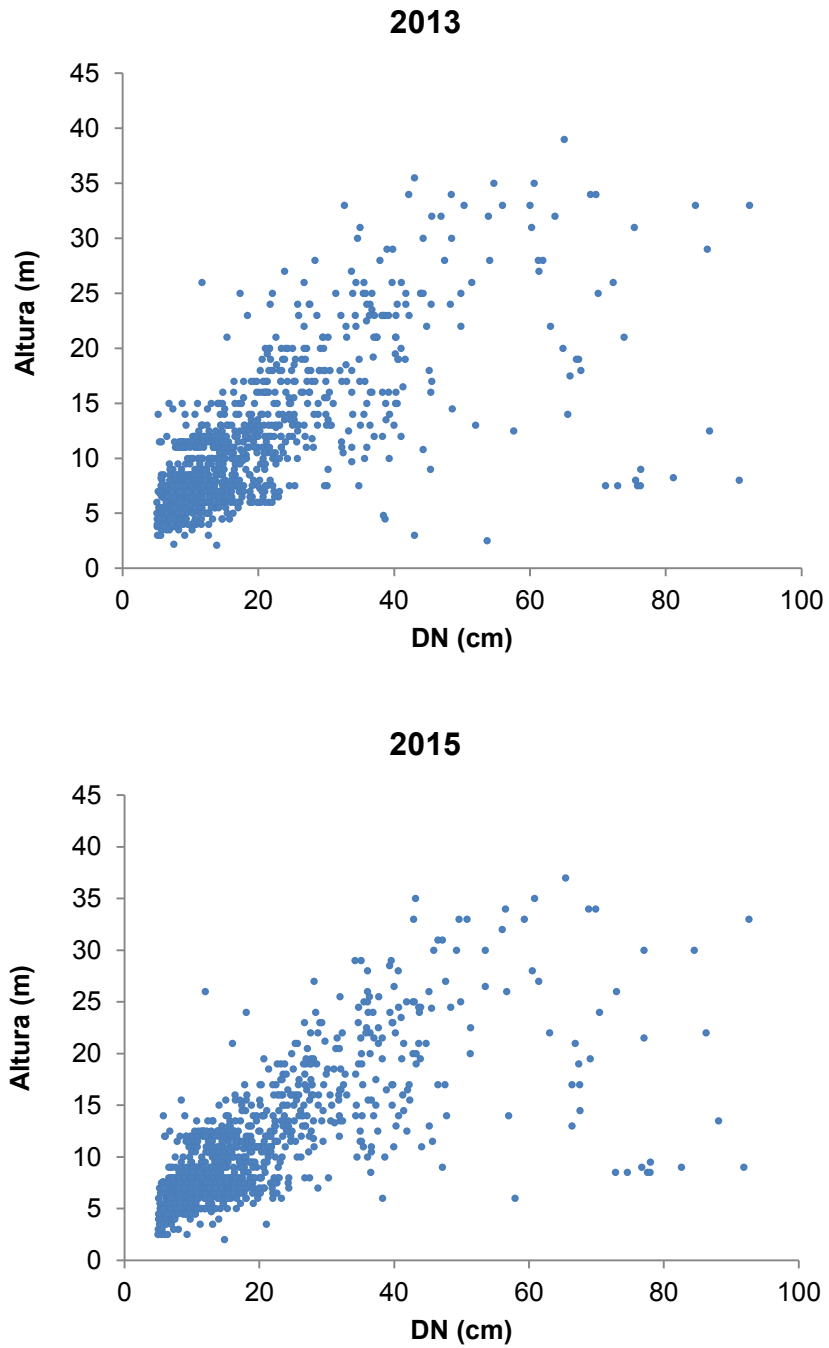
Familia	Especie	2013	DN		H		VI	I	S	Distribución
		2015	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$				
Ulmaceae	<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.		7.27	1.19	6.75	1.06	0.23	2	1	CHN, KOR y
			7.50	1.01	6.75	1.06	0.22	2	1	JPN <sup>11</sup>
<b>Total</b>			<b>18.01</b>	<b>13.78</b>	<b>10.73</b>	<b>6.25</b>	<b>100</b>	<b>1143</b>	<b>54</b>	
			<b>18.46</b>	<b>13.74</b>	<b>10.60</b>	<b>5.83</b>	<b>100</b>	<b>1154</b>	<b>54</b>	

<sup>1</sup>Acosta-Castellanos, 2004; <sup>2</sup>Carranza-González, 1992; <sup>3</sup>CONABIO, 2012; <sup>4</sup>Ecosur, 2014; <sup>5</sup>Farjon, 2013; <sup>6</sup>GBIF, 2013a; <sup>7</sup>GBIF, 2013b; <sup>8</sup>González-Pérez, 2001; <sup>9</sup>Gucker, 2011; <sup>10</sup>López-González, 2006; <sup>11</sup>Moore y King, 2000; <sup>12</sup>Nesom, 2002; <sup>13</sup>Nesom, 2006; <sup>14</sup>Ocampo-Acosta, 2004; <sup>15</sup>Orwa, Mutua, Kindt, Jamnadass y Anthony, 2009; <sup>16</sup>Parrotta, 1993; <sup>17</sup>USDA, 2015.

$\bar{x}$  - Promedio;  $\sigma$  - desviación estándar; I - número de individuos muestreados por especie; S- número de sitios en los que está presente la especie.

AF-África; ARG-Argentina; AS-Asia; AUS-Australia; BRA-Brasil; CA-Centroamérica; CAN-Canadá; CHN-China; EU-Europa; GUA-Guatemala; IC- Islas Canarias; JPN-Japón; KOR-Corea; MEX-México; NA-Norteamérica; SA-Sudamérica y EUA-Estados Unidos

\*Clasificación taxonómica consultada en: Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 20 Sep 2015. Disponible en: <http://www.tropicos.org>



**Figura 6|** Distribución de alturas en función del DN de los individuos inventariados en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el año 2013 y 2015.

### **Registros nuevos y árboles derribados**

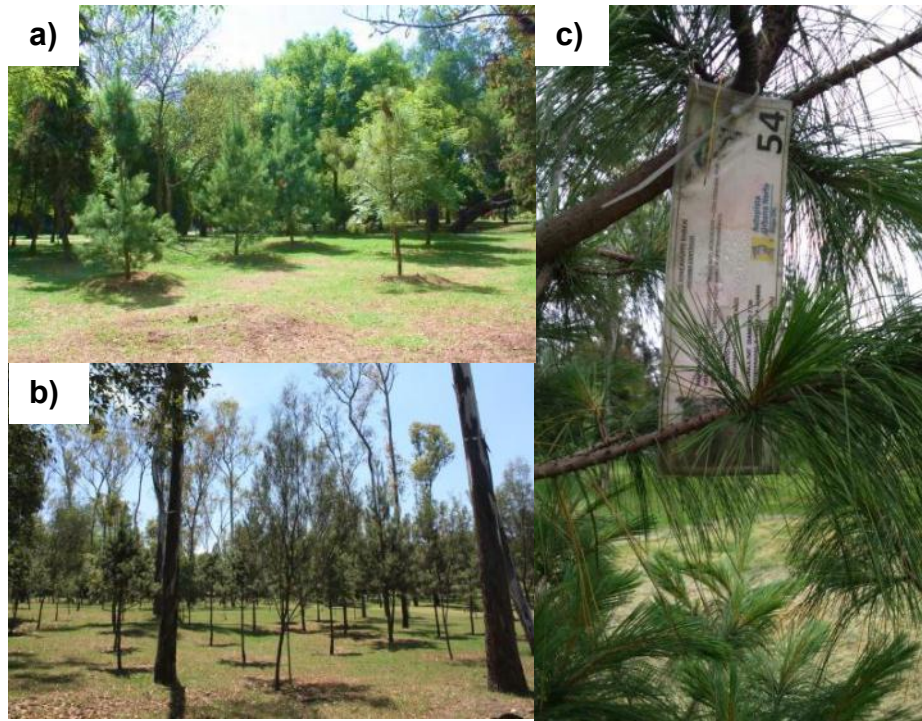
En el muestreo 2015 se obtuvieron 75 registros nuevos de árboles correspondientes a 17 especies, en 28 sitios diferentes, respecto al muestreo 2013. De dichos registros, se identificaron dos especies no registradas en 2013, las cuales fueron *Acacia retinodes* Schltl y *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltl. El DN promedio de los registros nuevos fue de  $8.84 \pm 8.63$  cm y su altura promedio de  $5.56 \pm 2.05$  m.

Los árboles correspondieron a brinzales que para 2015 alcanzaron el DN mínimo requerido, así como a árboles reforestados después de elaborado el muestreo 2013 (Figura 7).

No se encontraron 65 árboles de 7 especies en 16 sitios diferentes; su DN promedio fue de  $19.63 \pm 11.91$  cm y su altura promedio de  $15.07 \pm 7.36$  m, los cuales se presume que fueron derribados ya que 43 de estos árboles se registraron en 2013 con algún tipo de declinación, 10 se encontraban muertos y 12 en estado vigoroso.

Las especies cuyo valor de importancia fue mayor al 5% fueron cinco: *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Ligustrum lucidum* W.T.Aiton, *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., *Casuarina equisetifolia* L. y *Cupressus lusitanica* Mill (Cuadro 1), todas ellas presentaron muchos individuos (más de 46), un DN promedio entre 12 y 37 cm y con presencia en más de 12 sitios.

La diferencia del valor de importancia entre 2013 y 2015 fue mínima para *C. equisetifolia* y *C. lusitanica*, mientras que para *E. camaldulensis* se redujo 3.47%, debido al derribo de 46 individuos; en el caso de *L. lucidum* aumentó 0.07% y su valor de importancia para 2015 superó el de *E. camaldulensis*, con lo que se posicionó como la especie más importante; *F. uhdei* tuvo un aumento de 0.25% debido al crecimiento de los individuos muestreados en 2013, así como el registro de 13 individuos nuevos para 2015.



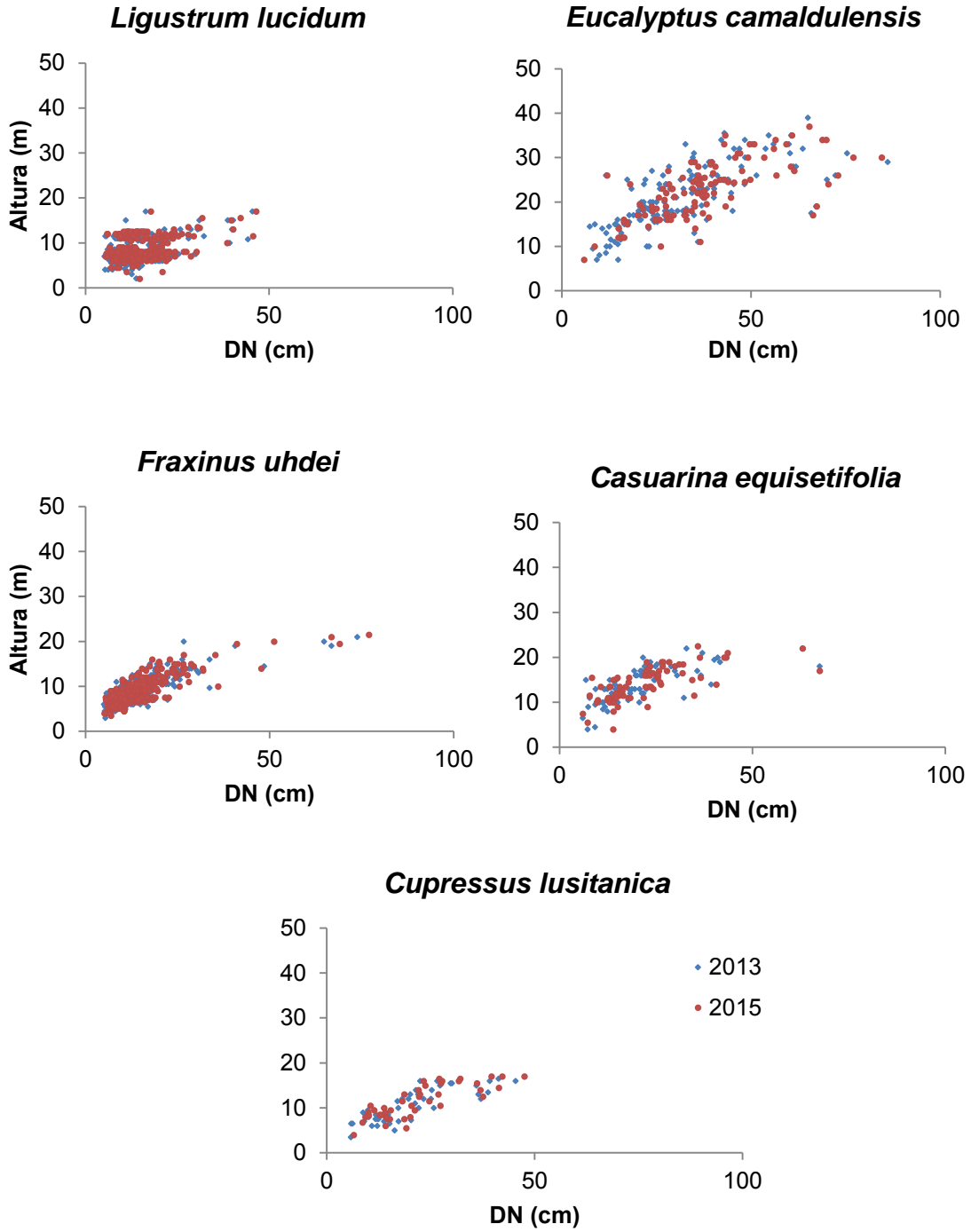
**Figura 7|** Reforestaciones en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

a) A un costado del restaurante Meridiam; b) Dentro de la pista de corredores “El Sope”; c) Etiqueta de reforestación realizada por la empresa OHL.

Las cinco especies más importantes concentran un valor de importancia de 72.78% para 2013 y 69.55% para 2015. Debido a lo anterior, la descripción detallada de estas especies permite determinar la estructura general del Bosque y los cambios más importantes suscitados entre 2013 y 2015.

Se graficó la altura respecto al DN de estas cinco especies para observar la distribución de las tallas de los árboles medidos (Figura 8).

Más del 80% de los individuos aumentaron de talla, lo cual indica que los árboles crecieron de 2013 a 2015. El incremento promedio en DN de todos los individuos muestreados fue de  $1.17 \pm 2.76$  cm y el incremento promedio en altura de  $0.48 \pm 0.84$  m.



**Figura 8|** Distribución de alturas respecto al DN de los individuos muestreados entre el año 2013 y 2015, de las cinco especies más importantes.

Las dimensiones que alcanza *L. lucidum* en su madurez son de 8 m de altura y 90 cm de DN, *F. uhdei* puede llegar a medir 30 m de altura y 1.2 m de DN (CONABIO, 2012), *E. camaldulensis* alcanza los 30 ó 40 metros de altura y 80 cm de diámetro (ANBG, 2004), *C. equisetifolia* llega a medir 25 a 30 m de altura y 25 cm de DN (Burns y Honkala, 1990), y *C. lusitanica* alcanza 10 a 30 m de altura y de 60 a 100 cm de DN (CONABIO, 2012; Earle, 2013).

El DN y altura promedio de los árboles de las cinco especies más abundantes se encuentra por debajo de las dimensiones máximas reportadas, lo que sugiere que aún no han alcanzado su madurez y por lo tanto les falta por crecer.

### ***Distribución de individuos y especies por sitio***

La Figura 9 muestra el número de individuos por sitio para cada año. El valor máximo para 2013 fue de 66 individuos encontrado en los sitios 56 y 67, mientras que para 2015 sólo el sitio 67 tuvo los mismos 66 individuos; el valor mínimo se encontró en los sitios 152 y 166 con dos individuos en ambos años. El número promedio de individuos por hectárea fue de 423 para 2013 y de 427 para 2015.

La composición de especies en los sitios con más individuos estuvo representada por rodales coetáneos con *L. lucidum* como la especie más abundante (más del 85% de los individuos).

El sitio 56 presentó cinco especies, la especie dominante fue *L. lucidum* con 56 individuos de los 66 totales; mientras que el sitio 67, presentó tres especies, igual que en el caso anterior *L. lucidum* fue la especie dominante con 57 individuos. Los dos sitios se encontraron dentro de la pista de corredores “El Sope”, la cual recibe mantenimiento en forma periódica (derribo de árboles muertos o de alto riesgo, podas, reforestaciones y riego) a petición de los corredores que utilizan la pista.

El sitio 152 sólo tuvo dos individuos de la especie *P. canariensis* y el sitio 166 dos individuos pertenecientes a *E. camaldulensis*. El sitio 152 se localizó sobre la banqueta, junto al estacionamiento ubicado frente al Museo de Historia Natural, mientras que el sitio 166 se localizó al extremo sureste del bosque, de igual forma, cerca del Museo pero en un área muy abierta con juegos infantiles.

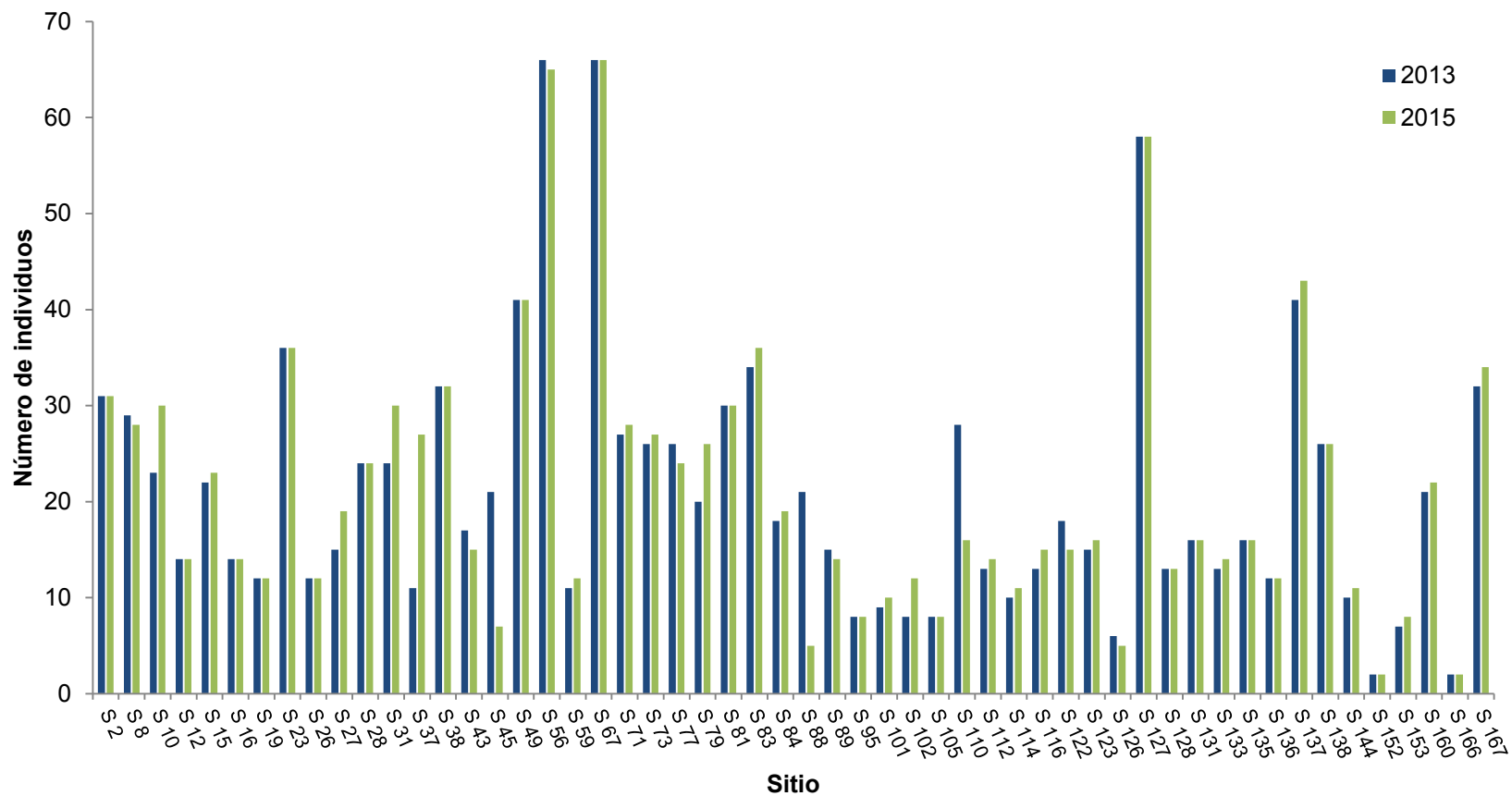


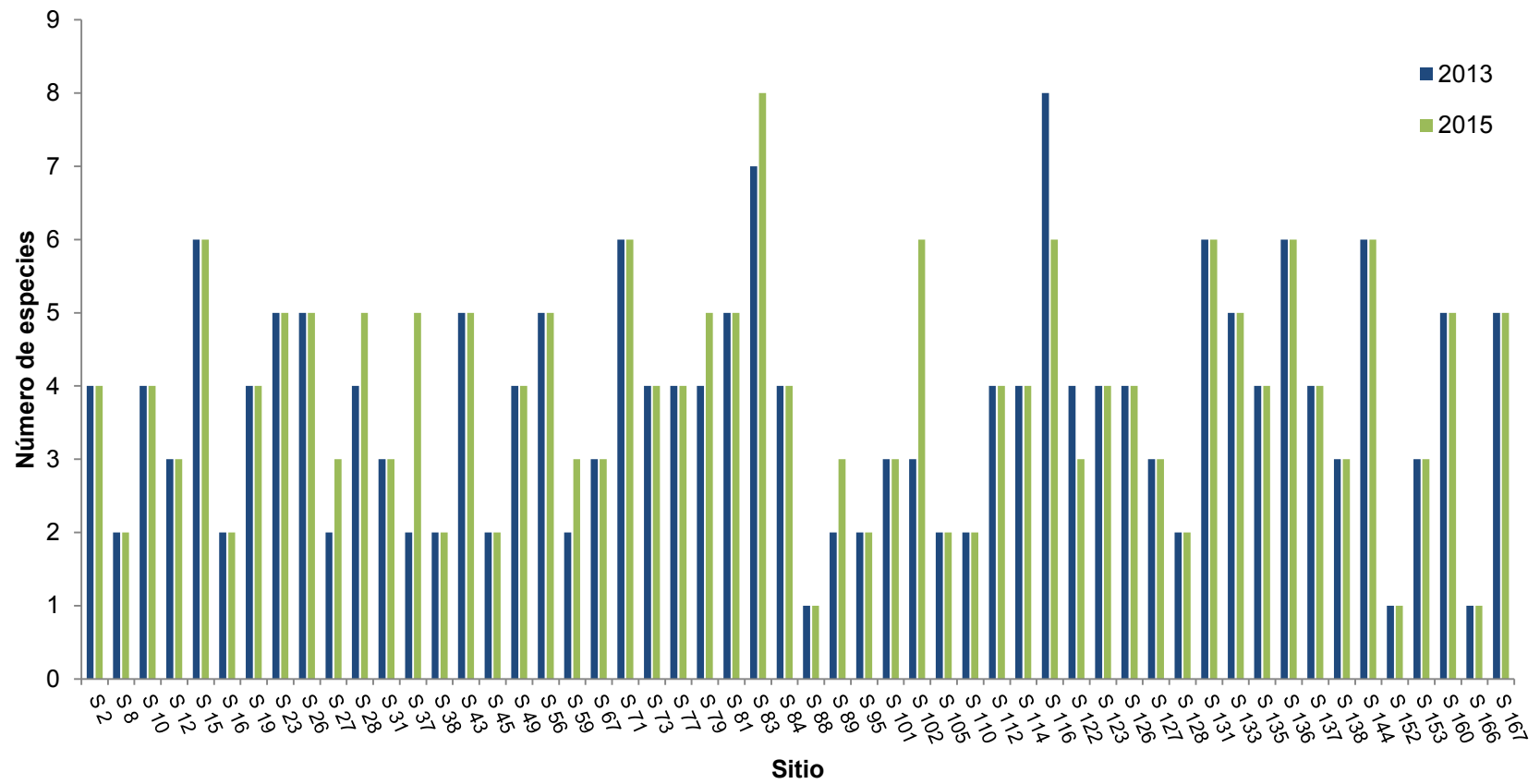
Figura 9| Número de individuos por sitio de muestreo para el año 2013 y 2015.



La Figura 10 muestra el número de especies por sitio. Se encontró que el sitio con mayor diversidad de especies en 2013 fue el sitio 116 (ubicado a un costado de la Fuente de Tláloc) con ocho especies: *L. lucidum*, *F. uhdei*, *C. lusitanica*, *E. camaldulensis*, *Grevillea robusta*, *Jacaranda mimosifolia*, *Quercus rugosa* y *Taxodium mucronatum*.

El sitio 83 (a un costado de la fuente de Xochipilli) presentó también ocho especies: *L. lucidum*, *F. uhdei*, *C. lusitanica*, *C. sempervirens*, *E. camaldulensis*, *C. equisetifolia*, *Phoenix canariensis* y *Pyrus communis* para el año 2015.

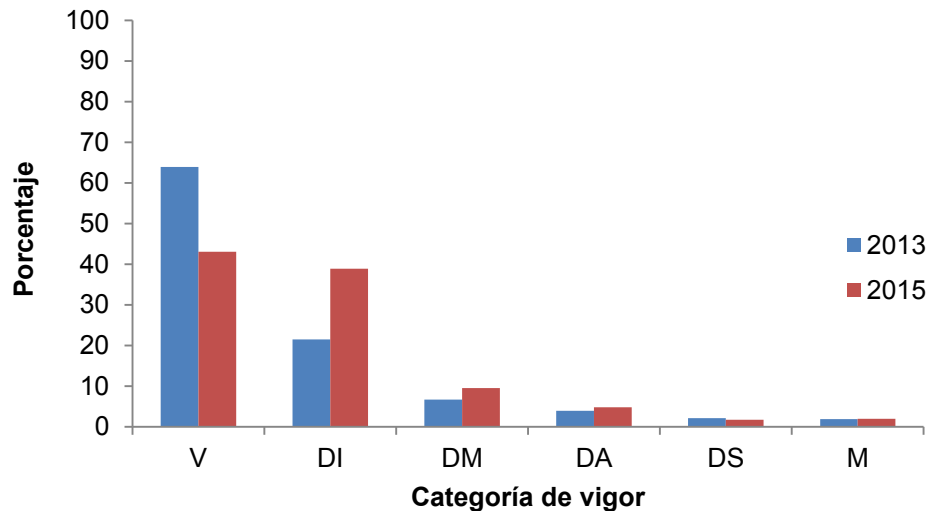
Los sitios que presentaron una sola especie fueron los mismos para los dos años: el sitio 88 con *E. camaldulensis*, ubicado a un costado de la barda del Panteón de Dolores, el sitio 152 con *P. canariensis* y el sitio 166 con *E. camaldulensis*.



**Figura 10|** Total de especies registradas por sitio de muestreo en el año 2013 y 2015.

## Condición de los árboles

La Figura 11 muestra el porcentaje de individuos por condición de vigor para cada año. Para el año 2015, la proporción de árboles vigorosos se redujo en 20% y la condición de declinante incipiente, moderado y avanzado aumentó, lo cual indicó que la condición general del arbolado decayó.



**Figura 11|** Porcentaje de árboles por condición de vigor de los individuos muestreados en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el año 2013 y 2015.

V-Vigorous; DI-Declinante incipiente; DM-Declinante moderado; DA-Declinante avanzado; DS-Declinante severo; M-Muerto.

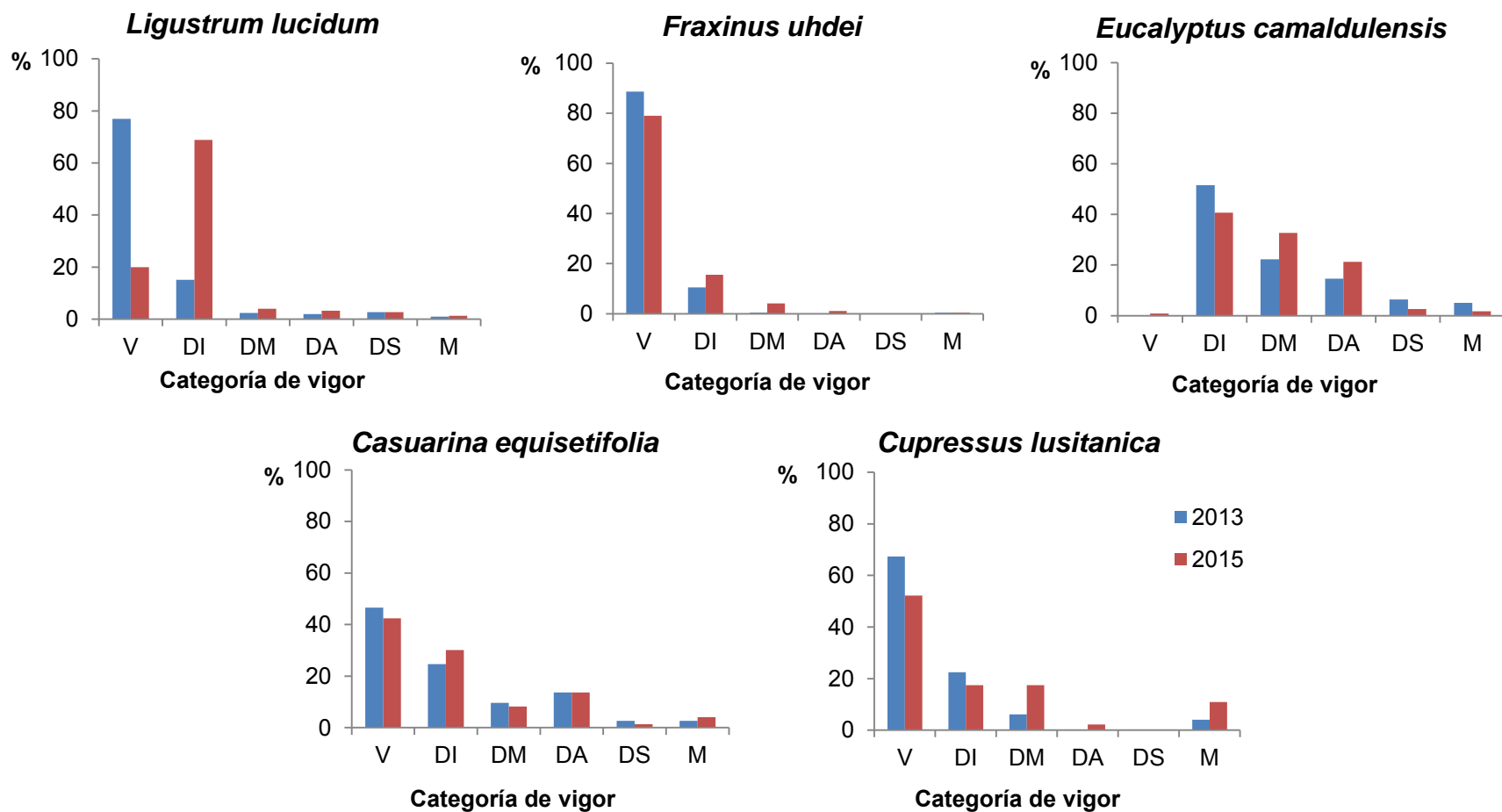
El porcentaje de individuos muertos aumentó un 0.15%; en el muestreo de 2015 se encontraron 10 individuos que en el muestreo 2013 ya se encontraban muertos, 8 habían presentado algún grado de declinación, 4 se habían registrado con condición vigorosa y uno fue un registro nuevo correspondiente a un brinzal de reforestación.

La condición de vigor de las especies más abundantes se concentró en las primeras cuatro categorías. Para el año 2015, las cinco especies presentaron mayor porcentaje de individuos declinantes, asimismo se redujo el porcentaje de individuos

vigorous, a excepción de *E. camaldulensis*, que presentó más individuos vigorosos para 2015, como se observa en la Figura 12.

Las especies *F. uhdei* y *C. lusitanica* fueron las especies con más del 50% de sus individuos vigorosos, en comparación con *E. camaldulensis* cuya condición predominante es declinante. En la Figura 13 se muestran árboles con diferentes categorías de vigor, encontrados en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

Las especies introducidas y con mayor número de individuos fueron las que presentaron más individuos con mala salud, lo cual es un indicador de que el arbolado del bosque no está en óptimas condiciones. Lo anterior es un efecto de la sobreplantación, del uso de especies que no están adaptadas a las condiciones del bosque y la ciudad, así como de la falta de riego y mantenimiento adecuado.



**Figura 12|** Porcentaje de árboles por condición de vigor de las cinco especies más representativas en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el año 2013 y 2015. V-Vigoroso; DI-Declinante incipiente; DM-Declinante moderado; DA-Declinante avanzado; DS-Declinante severo; M-Muerto.



**Figura 13|** Categorías de vigor identificadas en campo.

- a) *C. lusitanica* con condición vigorosa; b) *Q. rugosa* con condición declinante incipiente; c) *E. camaldulensis* declinante moderado a avanzado; d) *Persea americana* declinante severo; e) *Pinus radiata* muerto.

## Estimaciones de biomasa y contenido de carbono (C)

La estimación de biomasa se obtuvo a partir de 11 ecuaciones específicas aplicadas a su especie correspondiente, 10 ecuaciones de volumen aplicadas a 15 especies y la ecuación genérica utilizando tres valores de densidad aplicada a 12 especies. La biomasa y contenido de C estimado se muestra en el siguiente Cuadro:

**Cuadro 2|** Biomasa y contenido de carbono promedio por año.

Año	Biomasa (Mg ha <sup>-1</sup> )	$\sigma$	Contenido de C (MgC ha <sup>-1</sup> )	$\sigma$
2013	105.26	77.56	57.59	44.61
2015	105.64	74.86	57.06	42.45

$\sigma$  - desviación estándar

Los valores estimados por ha se extrapolaron a la extensión total de área verde, lo que dio como resultado un contenido de C en la biomasa aérea de 4,873.26 MgC para 2013 y 4,828.75 MgC para 2015.

La especie con mayor contenido de C promedio (considerando su valor de importancia) fue *E. camaldulensis*. Esta especie obtuvo las mayores dimensiones registradas y fue una de las más frecuentes en los sitios de muestreo. Sólo esta especie representó el 55.7% del contenido de C total muestreado para 2013 y el 49.3% para 2015.

La diferencia entre *E. camaldulensis* y *C. equisetifolia*, la segunda especie con mayor contenido de C total, fue de más de 4 veces. El mayor contenido de C promedio sin considerar el valor de importancia lo obtuvo *E. robusta*, especie de la cual sólo se registraron cuatro individuos pero todos ellos de gran tamaño. En seguida se encontró *E. camaldulensis*, *P. canariensis* y *W. filifera*, las cuales estuvieron representadas por los individuos más altos, de mayor diámetro o ambos. El valor promedio de contenido de C para cada una de las 38 especies registradas se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3|** Contenido de carbono promedio por especie.

ESPECIE	MgC (2013)		MgC (2015)		Eq
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	
<i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	0.044	0.011	0.054	0.005	B
<i>Acacia retinodes</i> Schltl.	s.d.	s.d.	0.007	0.002	B
<i>Acer negundo</i> L.	0.069	0.049	0.072	0.058	V
<i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> (Schltl.) Furlow	0.042	s.d.	0.049	s.d.	B
<i>Buddleia cordata</i> Kunth	0.149	s.d.	0.185	s.d.	V
<i>Casuarina equisetifolia</i> J.R. Forst. & G. Forst.	0.211	0.329	0.239	0.328	S
<i>Celtis occidentalis</i> L.	0.010	0.004	0.012	0.006	V
<i>Crataegus mexicana</i> D.C.	0.029	0.006	0.032	0.008	V
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	0.055	0.049	0.062	0.052	B
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	0.030	0.029	0.030	0.030	B
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	0.006	0.002	0.008	0.003	S
<i>Erythrina coralloides</i> D.C.	0.007	0.002	0.011	0.003	V
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	0.552	0.654	0.673	0.678	S
<i>Eucalyptus cinerea</i> F. J. Muell. Ex Benth.	4.522	s.d.	4.553	s.d.	S
<i>Eucalyptus robusta</i> Sm.	1.051	0.374	1.035	0.259	S
<i>Eucalyptus tereticornis</i> Sm.	3.776	s.d.	2.633	s.d.	S
<i>Ficus microcarpa</i> L. F.	0.002	s.d.	0.003	s.d.	V
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	0.038	0.100	0.046	0.112	V
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	0.288	0.335	0.143	0.276	S
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	0.227	0.206	0.232	0.219	S

Continúa...



Continuación Cuadro 3...

ESPECIE	MgC (2013)		MgC (2015)		Eq
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	0.020	0.033	0.023	0.035	V
<i>Persea americana</i> Mill.	0.023	s.d.	0.023	s.d.	V
<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud	0.432	0.174	0.478	0.203	V
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltldl.	s.d.	s.d.	0.005	0.000	B
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	0.002	s.d.	0.003	0.003	B
<i>Pinus radiata</i> D. Don	0.142	0.197	0.155	0.218	B
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	0.006	0.003	0.007	0.003	B
<i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh	0.029	0.009	0.028	0.009	B
<i>Pyracantha coccinea</i> M. Roem.	0.002	0.000	0.003	0.001	S
<i>Pyrus communis</i> L.	0.023	0.006	0.026	0.008	S
<i>Quercus rugosa</i> Née	0.011	0.011	0.049	0.031	B
<i>Schinus molle</i> L.	0.169	0.147	0.103	0.159	V
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	0.005	0.003	0.008	0.004	V
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	0.001	s.d.	s.d.	s.d.	V
<i>Thuja occidentalis</i> L.	0.002	0.001	0.002	0.001	S
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	0.005	0.002	0.005	0.002	V
<i>Washingtonia filifera</i> (Linden ex André) H. Wendl. ex de Bary	0.251	0.066	0.274	0.067	S
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	0.059	0.008	0.004	0.004	V
<b>Total general</b>	<b>0.136</b>	<b>0.368</b>	<b>0.134</b>	<b>0.349</b>	

C - contenido de carbono;  $\sigma$  - desviación estándar; Eq - Tipo de ecuación utilizada: B – Biomasa; V – Volumen; G – Genérica; s.d.- sin datos, por tener una sola muestra

El sitio con el mayor contenido de C se obtuvo en 2015 y fue el sitio 8 (ubicado a un costado de la planta de tratamiento de agua) con  $187.84 \text{ MgC ha}^{-1}$ ; en éste se registraron 28 individuos, 27 de ellos de la especie *C. equisetifolia* y un individuo de *E. camaldulensis*. Por el contrario, el sitio con el menor contenido de C se obtuvo en 2013, en el sitio 27 (en el parque Washington) con  $3.92 \text{ MgC ha}^{-1}$ ; en este sitio se registraron 15 individuos, 12 de la especie *F. uhdei* y 3 de *Schinus terebinthifolia*. La Figura 14 muestra el contenido de C por sitio para cada año de muestreo.

### **Captura de carbono**

Después del diagnóstico elaborado por INIFAP-DBCh (2010), en 2009 y durante el lapso hasta 2014 se llevaron a cabo labores de saneamiento, que incluyeron podas sanitarias y derribo de árboles muertos y de alto riesgo, por lo que de antemano se sabe que el número de individuos se vio reducido.

La diferencia de C, la cual representa la captura o la emisión de C, se obtuvo al graficar el contenido de C tanto para el año 2013 como para 2015, obtenido a partir del contenido de C promedio por hectárea entre sitios y extrapolado a las 84.62 ha de área verde de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

La diferencia entre el contenido de C de 2013 y 2015 representó una pérdida de  $44.53 \text{ MgC}$ , es decir, un déficit de 0.9% como se muestra en la Figura 15. Lo anterior fue consecuencia del retiro de 65 árboles que representaban  $11.63 \text{ MgC}$  del C muestreado en 2013.

El contenido de C estimado para 2015 tiene el potencial de aumentar en los próximos años si los árboles presentes en el bosque se mantienen en pie y aumentan su biomasa.

Los 75 árboles nuevos representan un potencial almacén de C, ya que son árboles cuyo contenido de C se estimó en  $1.34 \text{ MgC}$  y su DN y altura promedio fue de  $8.84 \pm 8.63 \text{ cm}$  y  $5.56 \pm 2.05 \text{ m}$ , respectivamente. Estos árboles, en conjunto con aquellos que aún no están en etapa senil, almacenarán C mientras sigan creciendo.

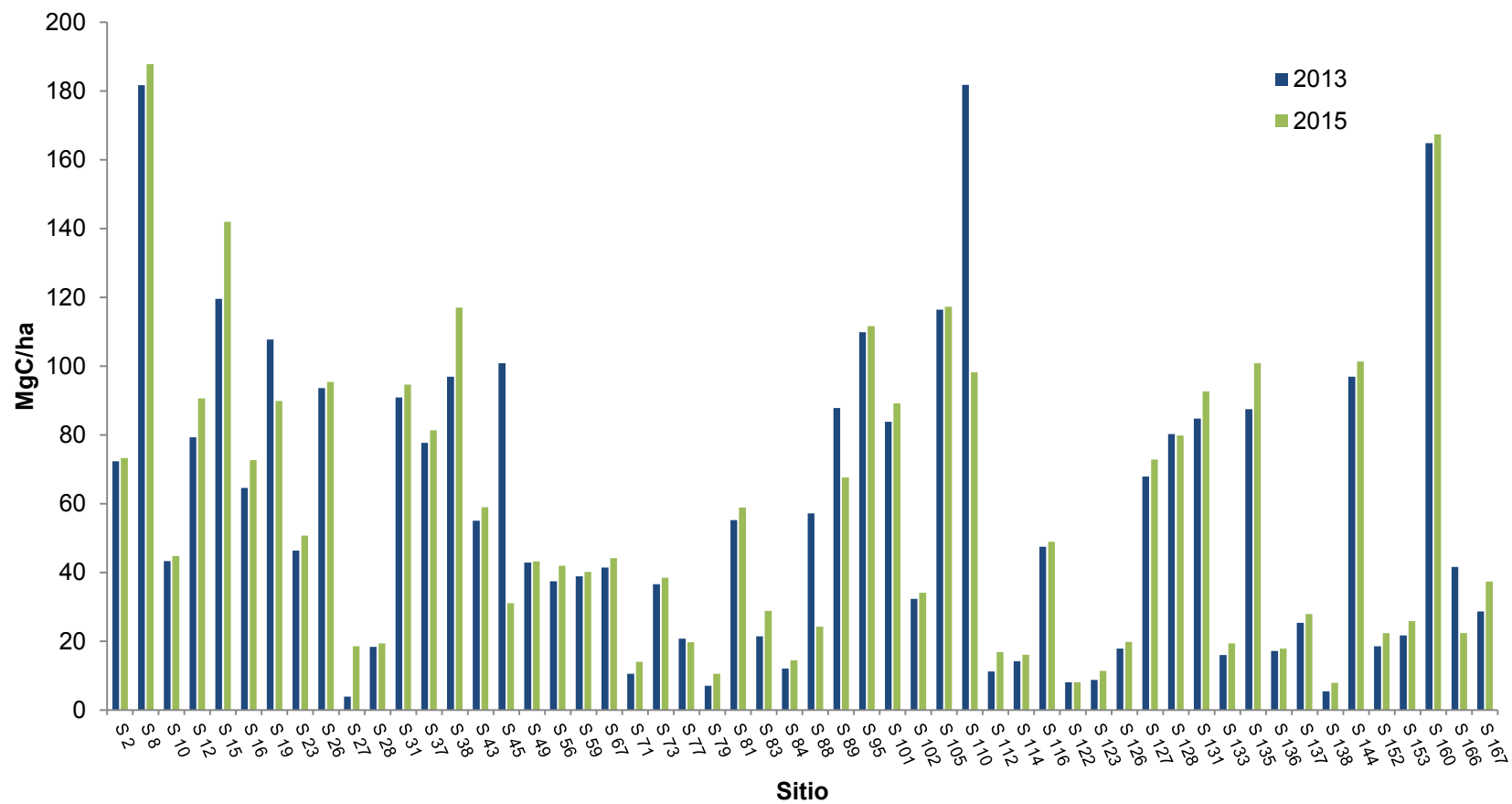
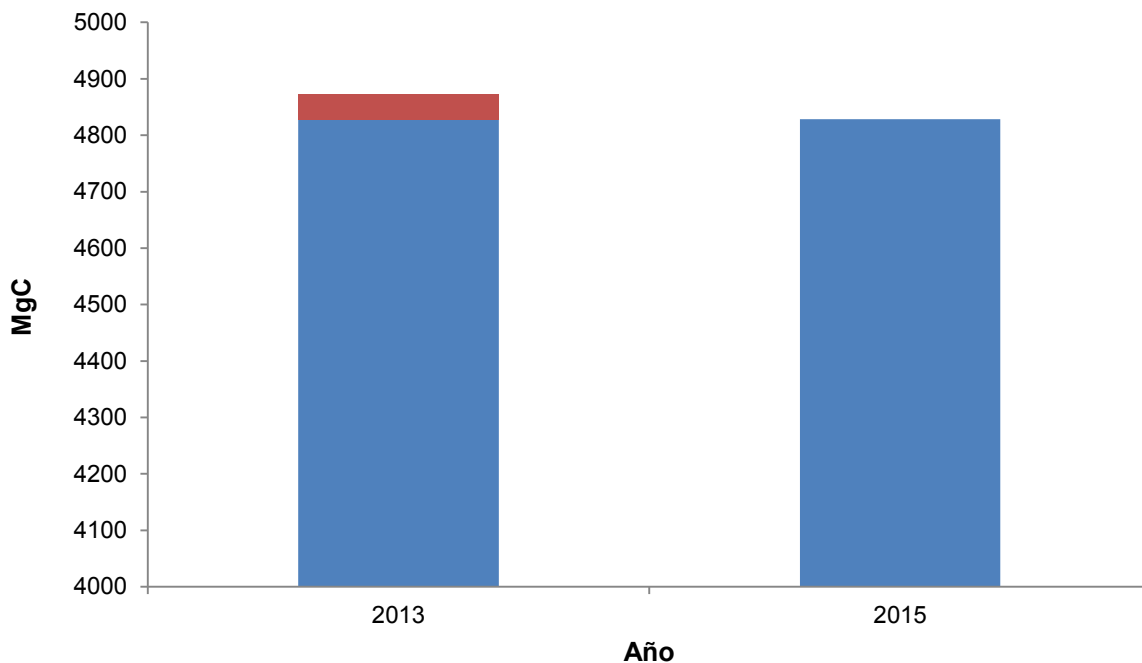


Figura 14| Contenido de carbono por sitio de muestreo por año.



**Figura 15|** Contenido de carbono en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec en el periodo 2013-2015.

La barra roja representa el C removido para el año 2015.

El contenido de C en los árboles muertos fue de 2.93 Mg, los cuales representan un almacén mientras no sean derribados, astillados, quemados o inicie el proceso de descomposición; en el momento en que lo anterior ocurriese, dejarán de ser un almacén para convertirse en una fuente de C (como lo ocurrido con los árboles retirados para 2015).

## DISCUSIÓN

Los bosques urbanos regulan procesos biogeoquímicos como el ciclo del agua y del C a escala local y regional, también mejoran la salud y brindan bienestar a la población. Estos procesos corresponden a bienes y servicios ecosistémicos, los cuales son indispensables para el buen funcionamiento de una ciudad.

Los beneficios que brindan estas áreas verdes se les considera como parte de la infraestructura de una ciudad y como tal deben cumplir con una gestión que incluya la creación del espacio, su promoción, diseño, construcción, mantenimiento, administración, control y evaluación. La intención de este trabajo es iniciar con el monitoreo del arbolado de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec como almacén de C y al mismo tiempo identificar los elementos que componen ese almacén para comprender su dinámica y los factores ambientales y humanos que lo modifican.

La información generada permitirá ampliar las herramientas que poseen las autoridades que llevan a cabo la gestión del área verde, con la finalidad de explotar los beneficios que el bosque brinda a la ciudad y a sus habitantes.

### **Condición del arbolado**

El Bosque de Chapultepec es el área verde más grande de la Ciudad de México y como tal forma parte del bosque urbano del Distrito Federal; la Segunda Sección representa casi el 25% de la extensión total del bosque y de esa fracción el 53.44% está cubierta por vegetación arbórea, arbustiva o herbácea. La vegetación arbórea es el elemento principal, debido a su tamaño y tiempo de permanencia, y para el caso del papel del área verde como almacén de C, es el que tiene más biomasa.

El análisis de la estructura y estado fitosanitario del arbolado permite entender la condición general del bosque y la relación que existe entre ésta y la dinámica del C dentro del área verde; de ahí deriva la intención de este trabajo al recabar información de la composición de especies, su distribución de diámetros y alturas y su condición de vigor.

La composición de especies encontrada fue similar a la reportada por PUEC-UNAM (2002) y por INIFAP-DBCh (2010); más del 60% de las especies registradas son introducidas, tal es el caso de *L. lucidum*, *E. camaldulensis* y *C. equisetifolia*. Estas especies han desplazado a especies nativas del centro de México como *Q. rugosa* y varias especies del género *Pinus*.

La distribución de diámetros y alturas presentó mucha variación. Se registraron árboles con DN desde 5 cm hasta 92 cm, y alturas de 2 m hasta 37 m en ambos muestreos. El valor promedio de DN fue de  $18.01 \pm 13.78$  cm para el año 2013 y de  $18.46 \pm 13.74$  cm para 2015, en tanto que la altura promedio para 2013 fue de  $10.73 \pm 6.25$  m y para 2015 fue de  $10.60 \pm 5.83$  m. Es necesario recalcar que cada especie posee características alométricas particulares, por lo que presentar un valor promedio general no permite determinar si el arbolado ha alcanzado su madurez o no.

La composición de especies permitió determinar de manera general si el arbolado se encuentra en estado maduro o aún es joven. Al hacer una revisión bibliográfica de la alometría de las especies más abundantes se pudo determinar que más del 50% de sus individuos no ha alcanzado su madurez, aunado a esto, al comparar el DN entre 2013 y 2015 se encontró incremento, lo que significa que los árboles han crecido en dicho periodo de tiempo.

La tasa de crecimiento es una variable que depende de cada especie, además de las condiciones ambientales, la salud del individuo y los nutrientes en el suelo del sitio donde se encuentra establecido, por esta razón el conocer el estado fitosanitario permite conocer de forma indirecta la condición general de salud de cada árbol, para saber si se está desarrollado de forma adecuada o si se encuentra en condiciones de estrés.

La condición de vigor general del arbolado mostró una disminución de los individuos vigorosos en un 20% y un aumento de los individuos con condición declinante incipiente, moderado y avanzado entre 2013 y 2015, lo que indica condiciones desfavorables para el óptimo desarrollo del arbolado. De los individuos con condición declinante, más del 80% corresponden a especies introducidas, ya

que no están adaptadas a las condiciones medioambientales presentes en el Distrito Federal, situación que las hace más propensas a debilitarse por la falta o exceso de nutrientes, temperatura, humedad y/o agua. Asimismo, las especies con mayor densidad de individuos presentaron la mayor proporción de árboles declinantes, lo cual sugiere que a mayor número de árboles, mayor es la incidencia de plagas y enfermedades, lo cual se debe a que la cercanía entre individuos, sobretodo de la misma especie, facilita su propagación.

La condición de un árbol es un indicador de su salud y por lo tanto de su capacidad fotosintética. Flores (2010) encontró que los bosques con declinación presentan valores de biomasa menores respecto a bosques vigorosos, debido a una disminución en su productividad primaria neta (PPN), lo cual sugiere que su capacidad de capturar C también se ve afectada. Para comprobar lo encontrado por Flores, sería necesario realizar estudios detallados sobre el efecto de la declinación de los árboles urbanos en su PPN, lo cual serviría para conocer el efecto sobre su capacidad de almacenar C por especie y por origen y grado de declinación.

La relación entre la salud de los árboles y su capacidad de almacenar y capturar C reafirma la necesidad del arbolado de recibir el mantenimiento adecuado para mejorar su condición fitosanitaria y por consiguiente la calidad de los servicios ecosistémicos que brindan.

### **Contenido de carbono**

Los factores que determinan el contenido de C de un área verde son de dos tipos: locales y regionales. Los factores locales son la composición de especies, densidad de arbolado, rangos de edad, prácticas de manejo y uso de suelo; los factores regionales son el clima, la composición del suelo y la infraestructura (McPherson *et al.*, 2013).

Las especies con mayor contenido de C promedio fueron las que estuvieron representadas por lo árboles de mayor tamaño, como fue el caso de las especies del género *Eucalyptus*, *P. canariensis* y *Washingtonia filifera*.

Las condiciones de cada sitio fueron muy diferentes, ya que se encontró que los sitios con el mayor contenido de C tenían individuos de gran tamaño, especies con maderas duras y por lo tanto valores altos de contenido de C o una combinación de ambos. Lo anterior hace notar que el contenido de C en un sitio depende de su misma estructura, es decir la composición y distribución de especies y sus dimensiones. Cada especie posee características particulares que determinan su contenido de C, de ahí la importancia de desarrollar y utilizar ecuaciones de biomasa específicas. Asimismo, las especies representadas por individuos de gran tamaño, al tener más volumen, presentaron mayor C almacenado en su biomasa.

Las características específicas de cada especie, como la densidad de su madera, su tasa de crecimiento, longevidad y dimensiones máximas, son el factor principal que determina el contenido de C de cada individuo ya que éstas no se pueden modificar, sin embargo la estructura del sitio en donde está plantado, la densidad de árboles, la combinación de especies, su distribución espacial y el mantenimiento que recibirán a lo largo de su vida son los factores locales que sí están sujetos a modificación y por lo tanto deben tomarse en cuenta para el manejo del área verde. En este sentido el factor local predominante que determinó el contenido de C en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec fue la estructura del bosque (composición de especies, dimensiones y densidad) y la condición de su arbolado.

La Segunda Sección alberga árboles que aún no han alcanzado la madurez, ya que más del 70% presentaron un DN entre 5 y 20 cm y 4 a 12 m de altura; si se toma en cuenta que a los árboles les falta por crecer, el bosque tiene el potencial de incrementar de manera exponencial su captura de C anual. Si se toma a *F. uhdei* como ejemplo, que es una especie de rápido crecimiento y que vive alrededor de 100 años (CONABIO, 2012), un individuo de esta especie con las dimensiones promedio registradas ( $14.90 \pm 9.03$  cm de DN y  $9.16 \pm 3.12$  m de altura) tendría un contenido de C de 0.028 MgC; cuando alcance la talla de un árbol maduro (77 cm de DN y 21.5 m de altura, medidas máximas inventariadas) almacenará 1.159 MgC.



Lo anterior refleja la relación proporcional que existe entre el contenido de C y el tamaño de los árboles y su condición fitosanitaria. Esto es que a mayor DN y altura, mayor será el contenido de C, además de considerar variables particulares para cada especie. De acuerdo a Nowak (1994) los árboles sanos con un diámetro mayor a 77 cm almacenan noventa veces más C que los árboles con un diámetro menor a 8 cm. Los árboles que viven más tiempo almacenarán el C en mayor cantidad (porque suelen ser árboles de gran tamaño) y por más tiempo (Nowak y Crane, 2002). Para el caso de *F. uhdei*, un individuo maduro equivale a 40 individuos pequeños, por lo que, lo mejor para el bosque en términos de almacén de C, es tener pocos árboles de tallas grandes en lugar de muchos árboles de tallas pequeñas.

El mantenimiento del arbolado es otro factor local importante, ya que éste favorece o entorpece el óptimo desarrollo de los individuos. Para el caso de la Segunda Sección, se observó falta de riego y de podas sanitarias, lo que ha dado como resultado estrés hídrico y propagación de plagas y enfermedades, que en consecuencia debilitan al arbolado y a la larga afectan la capacidad del bosque de almacenar C.

Las podas sanitarias y de mantenimiento son parte del manejo de las áreas verdes y aunque su aplicación es necesaria, representan una remoción importante de biomasa (Nowak, 1994), debido a esto, para realizar mejores estimaciones de contenido de C en áreas verdes urbanas se requiere la generación de ecuaciones de biomasa en condiciones urbanas.

### **Captura de carbono**

La captura de C se entiende como el aumento de la biomasa en un periodo de tiempo determinado. En este sentido, en el periodo 2013-2015, el bosque contribuyó con la emisión de 44.53 MgC a la atmósfera, provenientes de los árboles derribados.

Los árboles que no fueron derribados reportaron crecimiento durante el periodo que duró este estudio y por extensión, ese aumento de biomasa se incrementará en los próximos años, sobretodo si reciben el mantenimiento

adecuado, con lo que el bosque recuperará el C perdido e incluso capturará una parte del C emitido por las actividades humanas. En un escenario en el que los 65 árboles derribados siguieran en pie, el bosque habría capturado 320.94 MgC. Este escenario hipotético muestra el impacto que tiene el derribo de árboles en la dinámica del C dentro del área verde.

Lo anterior demuestra la necesidad del bosque de tener un plan de manejo adecuado que monitoree los almacenes y las fuentes de C, así como un programa de mantenimiento que se ejecute en tiempo y forma, para reducir los riesgos fitosanitarios, que a la larga debilitan al arbolado y ocasionan su muerte prematura; que se realicen programas de reforestación con especies adecuadas al sitio de plantación y a las necesidades del bosque, y todo con un enfoque preventivo. Esto con el fin de evitar en un futuro escenarios como el actual, en el que la falta de planeación y mantenimiento debilitó a muchos árboles al mismo tiempo, situación que demandó una intervención que resultó en la poda y derribo masivo de árboles.

El presente estudio brinda un panorama inicial de la situación actual del bosque en relación a su papel como almacén de C, por lo que a partir de la información generada, junto con la información disponible, las autoridades correspondientes contarán con más herramientas para tomar las decisiones que contribuyan a mejorar las condiciones del bosque, para explotar los beneficios que brinda.

### **Comparación de contenido de carbono con áreas arboladas de otras ciudades**

La estimación individual de contenido de C aporta información detallada sobre el efecto que tienen las condiciones de cada árbol en su capacidad de almacenar C, sin embargo para poder tomar decisiones respecto a las medidas a tomar para mitigar los efectos del cambio climático, se debe estimar el contenido de C por área. Se puede considerar un área verde (parque, jardín o cualquier área arbolada) o el conjunto de áreas verdes, que se conoce como bosque urbano.

Las estimaciones de contenido de C del bosque urbano de diferentes ciudades varían desde los 46.91 MgC ha<sup>-1</sup> en Sacramento, California, en Estados Unidos de

América (McPherson, 1998), hasta 4.70 MgC ha<sup>-1</sup> en Chuncheon, Corea (Jo, 2002). En este estudio se encontró que la Segunda Sección almacenó 57.06 MgC ha<sup>-1</sup> en el año 2015, lo que la coloca por encima del contenido de C de Sacramento, California. Cabe destacar que en este estudio sólo se midió un área verde, mientras que en el otro, el conjunto de áreas verdes que componen su bosque urbano.

La segunda área verde más grande del Distrito Federal es el Bosque de San Juan de Aragón, en ésta se estimó un contenido de 52.74 MgC ha<sup>-1</sup> en el año 2012 y una captura de 866.91 MgC entre 2010 y 2012; mientras que la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec almacenó 4.32 Mg más de C por ha, pero con una pérdida de 44.53 MgC de 2013 a 2015.

La diferencia encontrada entre ambos estudios se debe a diversos factores, como la composición de especies, la densidad de árboles por ha y la temporalidad. Estos resultados muestran que el contenido de C por sí sólo no garantiza la captura de C a lo largo del tiempo; el arbolado debe crecer para aumentar su biomasa y para lograrlo debe encontrarse en condiciones favorables. Lo anterior, a su vez, precisa la necesidad de realizar evaluaciones periódicas para monitorear las fuentes y almacenes de C en las áreas verdes, con lo que se podrán implementar las medidas necesarias para reducir impactos negativos en el arbolado y por lo tanto, en su capacidad de almacenar C.

### **Necesidades del bosque**

Los árboles en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec son árboles jóvenes que crecerán por los próximos años, su contenido de C será mayor y por consiguiente se recuperará el C removido en los árboles derribados. Lo anterior tendrá lugar sólo si se incrementa la biomasa del Bosque, que a su vez será posible si se lleva a cabo una gestión que considere las necesidades ecológicas, económicas y sociales actuales y futuras.

El Bosque de Chapultepec posee un plan de manejo (GODF, 2006), el cual establece que muchos árboles se encuentran bajo estrés hídrico por la falta de riego que los ha debilitado y los ha hecho más susceptibles al ataque de plagas y

enfermedades. Para mejorar la salud general del arbolado, el bosque necesita mantenimiento adecuado. Dentro del programa se establece la elaboración de un Plan Maestro dividido en tres etapas. La Segunda Sección del bosque se consideró en la Tercera Etapa, la cual debía realizarse durante 2007-2008.

Las acciones a realizar en dicha etapa consistían en la implementación de un programa de saneamiento, la rehabilitación del Parque Rosario Castellanos, parque y pista atlética “El Sope” y del vivero, así como la creación del Parque de los Cárcamos, Parque Lago Menor, Parque Constituyentes 2, Parque Extremo y Parque Estancia Infantil.

Durante la elaboración de los muestreos, realizados en 2013 y 2015 (5 y 8 años después del plazo establecido para la Tercera Etapa) se observó que de lo estipulado en el Plan Maestro, se llevó a cabo el programa de saneamiento, posterior al estudio elaborado por INIFAP-DBCh (2010), la rehabilitación del parque y pista de corredores, la creación del Parque Estancia Infantil (“La Tapatía”) y la remodelación de vialidades y banquetas (Figura 16). Tanto en la rehabilitación como en la creación de parques se estableció la instalación de sistemas de riego, lo cual se consideraba como la acción urgente para mejorar la calidad del arbolado, sin embargo no se observó ninguna instalación para ello.

Se observó la rehabilitación y reordenamiento de las vialidades internas de la Segunda Sección, así como la construcción de estacionamientos y baños exclusivos para los usuarios del estacionamiento.

Lo anterior hace notar la falta de interés para mejorar al elemento principal del bosque que son las áreas verdes. Si se comparan los resultados obtenidos en el diagnóstico realizado en 2013 y 2015, la condición general del arbolado decayó debido a la pérdida de biomasa aérea, la persistencia del estrés hídrico y de plagas y enfermedades.

Las medidas que deben aplicarse a partir de este año para mejorar el servicio de captura de C, deben encaminarse a mejorar la condición del arbolado mediante labores de saneamiento y mantenimiento preventivo. Se deben incluir campañas de



**Figura 16|** Obras de rehabilitación y remodelación en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

a) Pista de corredores “El Sope”; b) Área de juegos infantiles “La Tapatía”; Remodelación de banquetas y vialidades frente al MUTEC y al Papalote Museo del Niño.

reforestación con especies adecuadas, de preferencia nativas, podas, derribos, mejoramiento de suelo, riego permanente y estudios de monitoreo de forma periódica. Lo anterior con el fin de tener un bosque compuesto por árboles sanos que capturen C (y demás bienes y servicios ecosistémicos) por el mayor tiempo posible.

La necesidad de reforestar con especies nativas se debe a que las especies con mayor número de individuos declinantes pertenecen a especies introducidas, tal es el caso de *E. camaldulensis*, *L. lucidum* y *C. equisetifolia*, las cuales también fueron muy abundantes y se encontraron formando rodales coetáneos que corresponden a jornadas de reforestación anteriores, de las cuales no se tiene

registro. Lo anterior no significa que los individuos de estas especies deban retirarse, más bien deben recibir más atención por ser tan abundantes y por lo mismo más propensas al ataque de plagas. En el momento en que deban retirarse se deberán compensar con la reforestación de especies nativas.

Las especies nativas suelen ser adecuadas a las condiciones medioambientales actuales, la disponibilidad de semillas es mayor y su uso está considerado como una práctica que contribuye al rescate de especies que han sido desplazadas por la urbanización. Deben ser adecuadas al sitio de plantación, es decir, deben ser especies que estén adaptadas o tengan la capacidad de tolerar los niveles de contaminación actuales, así como ser especies que requieran poco mantenimiento (agua, fertilización y podas), estén disponibles en vivero y cuya contribución como almacén de C sea considerable.

Lo encontrado en el presente estudio sugiere el uso de *Quercus rugosa* para futuras reforestaciones, como una especie con gran capacidad para almacenar C, ya que fue la especie con la mayor cantidad de biomasa por unidad volumen debido a que la densidad de su madera es alta. Los individuos de esta especie observados en la Segunda Sección presentaron condición vigorosa o declinante incipiente, categoría asignada por la presencia de manchas foliares.

*Q. rugosa* es nativa de México, se adapta una vez establecida, no requiere fertilización, requiere poco riego, luz directa, tolera suelos ácidos, someros y secos, también es tolerante a la contaminación y sus hojas ayudan a la formación de suelo (CONABIO, 2012).

Benavides, Gazca y López (2012) elaboraron una propuesta metodológica con especies nativas del Valle de México para reforestar la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec. Esta propuesta incluye a *Q. rugosa*, *Tecoma stans* (L.) H. B. K., *Bursera fagaroides* (H. B. K.) Engl., *Juniperus deppeana* Steud., *Acacia angustissima* (Mill.) Kuntze, *A. schaffneri* (S. Wats) Hermann, *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., *Mimosa aculeaticarpa* Ortega, *Senna multiglandulosa* (Jacq.) H. S. Irwin & Barneby, *S. septemtrionalis* (Jacq.) H. S. Irwin & Barneby,



*Morus celtidifolia* Kunth y *Pinus leiophylla* Schiede & Deppe. Estas especies a pesar de ser nativas, no se registraron en los sitios de muestreo.

Las condiciones ambientales actuales podrían ser un factor limitante para el desarrollo de esas especies. Para determinar si es posible su establecimiento en la Segunda Sección, deben ser utilizadas en futuras reforestaciones para determinar su tasa de supervivencia, y una vez establecidas se podrá estimar su contenido de C.

Lo ideal es utilizar especies nativas, sin embargo las especies introducidas o naturalizadas también deben ser consideradas, ya que los beneficios que brindan son independientes de su origen. Para optimizar los beneficios individuales se requiere una planeación adecuada de los espacios con especies diferentes, plantadas con el espacio suficiente para reducir la competencia y que en conjunto optimicen los beneficios del área verde.

El plan de manejo vigente refiere que pocas especies abarcan más del 80% de la población total (cifra confirmada por los estudios de desarrollados por PUEC-UNAM (2002) e INIFAP-DBCh (2010)), pero no menciona la importancia de tener un área verde cuya composición de especies sea más heterogénea; más allá de la incidencia de plagas y enfermedades, tampoco considera la densidad de arbolado, la necesidad de riego de acuerdo a la especie y temporada del año, así como el mantenimiento y el manejo de los residuos.

El plan de manejo debe considerar los impactos ambientales de las prácticas de mantenimiento. Los equipos para podar, derribar árboles y triturar residuos utilizan combustibles fósiles que emiten gases contaminantes y GEI, incluido el CO<sub>2</sub>; los residuos orgánicos emiten C debido al proceso de descomposición y éstos se utilizan como cubre suelos, que si se utilizan en exceso, pueden alterar la proporción carbono:nitrógeno (Nowak *et al.*, 2002; Dobbs *et al.*, 2011). Lo anterior debe considerarse para minimizar las emisiones de C, con el fin de aprovechar al máximo los beneficios del área verde para explotar su capacidad de almacenar y capturar C.

El programa de manejo considera el aspecto social como una problemática que debe manejarse de forma adecuada para evitar daños al bosque. Es bien sabido que los visitantes contribuyen a su degradación, ya sea porque dañan las áreas verdes de forma intencional por actos vandálicos, o no intencional, como contaminación auditiva, generación de basura y compactación del suelo por el paso constante, lo cual limita la infiltración de agua. A pesar de los efectos negativos de los visitantes, la finalidad del bosque es generar bienes y servicios a la población, por lo que educar e involucrar a la sociedad en su cuidado generará un sentimiento de pertenencia y por lo tanto se promoverá el cuidado y mantenimiento del bosque (Lee *et al.*, 2008). Esto asegurará su permanencia en el tiempo y por lo tanto se conservarán los servicios ecosistémicos que brinda, entre ellos la captura de C.



## CONCLUSIONES

La Segunda Sección del Bosque de Chapultepec tiene una extensión de 168.03 ha de las cuales 84.62 ha corresponden a áreas verdes, de las cuales se muestreó el 3.2%, es decir 2.7 ha. En esta área se registró un arbolado representado por 1,143 individuos en 2013 y 1,154 individuos para 2015. Se registró una variación de 9 individuos, debido al derribo de 65 árboles y la incorporación de 75 registros nuevos.

El arbolado de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec se encuentra en crecimiento; entre 2013 y 2015 se registró un incremento promedio de  $1.17 \pm 2.76$  cm en DN y  $0.48 \pm 0.84$  m en altura.

La condición general de vigor de dicho arbolado fue regular, ya que más del 54% presentó algún grado de declinación, lo cual se debe a la falta de riego y mantenimiento adecuado, situación que prevaleció de 2013 a 2015 y que ocasionó la declinación del 20% de árboles vigorosos en ese periodo. Para establecer una relación cuantitativa entre la condición de vigor y su capacidad de almacenar C, será necesario desarrollar estudios para determinar el efecto de la declinación sobre la PPN de acuerdo a la especie.

La estimación de contenido de C arrojó que el bosque almacenó 4,873.26 MgC para 2013 y 4,828.75 MgC para 2015, en tanto que la estimación de captura de C registró una pérdida de 44.52 MgC para dicho periodo, que representó la emisión de 0.9% del C almacenado en 2013.

La especie que más C almacena por las dimensiones que alcanza es *E. camaldulensis*. Mientras que la especie que almacena más C por unidad de volumen es *Q. rugosa*.

El papel de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec como fuente de C se debió a las medidas de saneamiento implementadas entre 2013 y 2015, que incluyó la poda y el derribo masivo de árboles, más no a su falta de crecimiento.

## **Recomendaciones**

El bosque requiere de la implementación de acciones correctivas y preventivas. Entre las acciones correctivas se encuentra la poda de ramas muertas y el derribo de árboles muertos o con riesgo de caer. El riego y mejoramiento del suelo deben implementarse como medidas correctivas en un inicio y como preventivas a largo plazo.

La falta de agua y nutrientes en el suelo han debilitado al arbolado y por ello presentan vigor bajo. Por ello, una vez que se hayan mejorado las condiciones del suelo y se mantenga un suministro constante de agua, los nuevos árboles que se establezcan, encontrarán las condiciones adecuadas en su etapa inicial de crecimiento, lo que reducirá la tasa de mortalidad en su etapa juvenil y adulta.

La biomasa removida durante las acciones de mantenimiento debe estar sujeta a un manejo adecuado. Puede utilizarse como acolchado (mulch), sin embargo no debe utilizarse en exceso para evitar un desbalance de nutrientes en el suelo. Por otro lado, se puede utilizar como materia prima, ya sea para mobiliario del mismo bosque, artesanías o para la manufactura de papel, con el fin de prolongar el proceso de descomposición y explotar su papel como almacén de C.

La medida para restituir a los árboles derribados es la reforestación, ésta debe realizarse con especies que requieran poco mantenimiento, para reducir costos ecológicos y económicos; las especies nativas suelen ser la mejor opción, ya que están adaptadas a las condiciones ambientales del sitio y por lo mismo no demandan de la intervención humana, como sí ocurre con algunas especies introducidas. El beneficio extra del uso de especies nativas es la recuperación de la vegetación original que se ha perdido en las últimas décadas.

El manejo del área verde debe considerar el seguimiento de las condiciones del arbolado, el cual debe ser permanente e independiente a los cambios de administración. Esto es porque el bosque constituye un sistema dinámico, con un tiempo de vida largo, por lo tanto sufre cambios de forma constante y para poder mantenerlo en buen estado se debe estar al tanto de esos cambios y cómo lo afectan, ese seguimiento permitirá satisfacer las necesidades del bosque, con lo

que será posible asegurar los bienes y servicios ecosistémicos que brinda a la población durante el mayor tiempo posible.

## REFERENCIAS

- Acosta-Castellanos, S. 2004. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 54. Betulaceae Gray. Instituto de Biología, UNAM. 7p.
- ANBG, Australian National Botanic Gardens. 2004. Water for a healthy country. Taxon attribute profiles. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Disponible en: <http://www.anbg.gov.au/cpbr/WfHC/Eucalyptus-camaldulensis/> (Consulta: 25 de agosto de 2013)
- Benavides Meza, H. M. 1989. Bosque Urbano: La importancia de su investigación y correcto manejo. In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano. S.A.R.H., A.N.C.F. y Gobierno del Estado de México. 19 al 22 de julio de 1989. Toluca, México. 966-999p.
- Benavides Meza, H. M. y D. Y. Fernández Grandizo. 2011. Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. Madera y Bosques. 18(2): 51-71.
- Benavides Meza, H. M., M. O. Gazca Guzmán y S. F López López. 2012. Propuesta metodológica para la conformación de un catálogo con nuevas opciones para la reforestación de la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec. Folleto Técnico Num. 1. CENID-COMEF, INIFAP. México, D.F., México. 245p.
- Brack, C. L. 2002. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. Environmental Pollution 116:195-200.
- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. Environmental Pollution 116:363-372.
- Burns, M. R. y B. H. Honkala (Eds.). 1990. Silvics of North America – Vol. 2, Hardwoods. Agriculture Handbook No. 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC., 877 p. Disponible en: [http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics\\_manual/volume\\_2/casuarina/casaurina.htm](http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics_manual/volume_2/casuarina/casaurina.htm) (Consulta: 6 de febrero de 2014).

- Cao, M. y F. I. Woodward. 1998. Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. *Nature*. 393:249-252.
- Carranza-González, E. 1992. Taxodiaceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Centro Regional del Bajío e Instituto de Ecología, A.C. Fascículo 4. 7p.
- Chagollan, F. 1994. Análisis dasonómico del arbolado urbano de la zona industrial en el Municipio de Guadalajara, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Guadalajara. México. 63p.
- Churkina G. 2012. Carbon cycle of urban ecosystems. In: Lal R., Augustin B. (Eds) *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Springer, New York. pp. 315-330.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2012. Biodiversidad Mexicana, Especies para la reforestación. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/reforestacion/indiceEspecies.html> (Consultado el 30 de enero de 2015).
- Coomes, D. A., R. C. Allen, N. A. Scott, C. Goulding y P. Beets. 2002. Designing systems to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *Forest Ecology and Management* 164:89–108.
- Covarrubias, N. 1991. Análisis dasonómico del arbolado urbano en las áreas verdes (banquetas, camellones, parques y jardines) correspondientes al Área Metropolitana de la Cabecera Municipal de Zapopan, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Guadalajara. México. 134p.
- Dávalos, R., M.I. Rodrigues y E. Martínez. 2008. Almacenamiento de carbono. In *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación*. Eds: Manson R., Hernández V., Gallina S. y Mehltreter K. México D.F: INE-SEMARNAT. pp. 223-233.
- Daily, G.C. 1997. Introduction: what are ecosystem services? In: Daily, G.C. (Ed.), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press. Washington, D. C. pp. 1-10.
- Díaz, J. & A. Curiel. 2012. Bosques urbanos para enfriar las ciudades. *Ciencia*. 63(4):36-41.

- Dobbs, C., F. J. Escobedo y W. C. Zipperer. 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning* 99:196–206.
- Dwyer, J. F., E. G. McPherson, H. G. Shroeder y R. A. Rowntree, 1992. Assessing the benefits and costs of urban forest. *Journal of Arboriculture* 18(5): 227-234.
- Earle, C. J. (Ed.) 2013. *Cupressus lusitanica* Miller 1768. The Gymnosperm Database. Última modificación 23 de noviembre de 2012. Disponible en: [http://www.conifers.org/cu/Cupressus\\_lusitanica.php](http://www.conifers.org/cu/Cupressus_lusitanica.php) (Consulta: 6 de febrero de 2014).
- Ecosur, El Colegio de la Frontera Sur. 2014. Fichas de Especies. Informe del Proyecto REDDEAM: Riesgo de Extinción Determinado por Distribución de Árboles Mexicanos. Disponible en: <http://geoserv.ecosur.mx/Informe/FichasSp/> (Consultado el 5 de febrero de 2015).
- Escobedo, F. y A. Chacalo. 2008. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la Ciudad de México. *Interciencia* 33(1):29-33.
- Espinosa, M. I. 2005. Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena, D. F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90p.
- ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Falkowski, P., R. J. Scholes, E. Boyle, J. Canadell, D. Canfield, J. Elser, N. Gruber, K. Hibbard, P. Högberg, S. Linder, F. T. Mackenzie, B. Moore III, T. Pedersen, Y. Rosenthal, S. Seitzinger, V. Smetacek, W. Steffen. 2000. The global carbon cycle: A test of our knowledge of Earth as a system. *Science* 290:291-296.
- Farjon, A. 2013. *Cupressus sempervirens*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/details/32518/0> (Consultado el 5 de febrero de 2015).

Fideicomiso Probosque de Chapultepec. 2013. Boletín de prensa. Presentación plan maestro de rehabilitación para la segunda sección del bosque de Chapultepec. Disponible en: <http://www.chapultepec.org.mx/plan-maestro-de-rehabilitacion-de-la-segunda-seccion-del-bosque-de-chapultepec/> (Consultado el 31 de agosto de 2015).

Flores, P. 2010. Impacto del proceso de declinación sobre la productividad primaria neta en bosques de *Abies religiosa*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Estado de México. México. 74p.

GBIF. 2013a. The Global Biodiversity Information Facility: GBIF Backbone Taxonomy. Disponible en: <http://www.gbif.org/species/5349518> (Consultado el 4 de febrero de 2015).

GBIF. 2013b. Secretariat: English Wikipedia Species Pages. Disponible en: <http://www.gbif.org/species/116628309> (Consultado el 4 de febrero de 2015).

González-Pérez. 2001. Caracterización Molecular de la Palmera Canaria ("*Phoenix Canariensis*") como base para su conservación. Tesis Doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 326p.

GODF, Gaceta Oficial del Distrito Federal. 2006. Plan de manejo del área de valor ambiental del Distrito Federal, con la categoría de bosque urbano denominada "Bosque de Chapultepec". Gobierno del Distrito Federal. 32p.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246p.

GDF, Gobierno del Distrito Federal. 2006. Programa de rehabilitación integral del Bosque de Chapultepec. In: Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental. Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente, Dirección de Educación Ambiental. Memorias. pp:59-113. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/librodgbuea/03.pdf> (Consulta: 9 de julio de 2012).

Google earth. 2015. Google, Inc.

- Grijpma, P., 2001. Producción Forestal Ed. Secretaría de Educación Pública/Trillas, 4ª Reimpresión. México, D.F. 134 p.
- Guevara, A., I. Espejel, L. Ojeda-Revah, G. Arámburo Vizcarra y C. A. de la Parra. 2014. Nuevas visiones: parques sustentables e infraestructura verde. In: Ojeda-Revah, L. y Espejel, I. (Coord.). Cuando las áreas verdes se transforman en paisaje urbano, la visión de la Baja California. COLEF. México. pp. 208-236.
- Gucker, C. L. 2011. *Celtis occidentalis*. In: Fire Effects Information System. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Disponible en: <http://www.fs.fed.us/database/feis/> (Consulta: 22 de junio de 2015).
- Huizar, H. y L. Ojeda-Revah. 2014. Una perspectiva de justicia ambiental: Tijuana. In: Ojeda-Revah, L. y Espejel, I (Coord.). Cuando las áreas verdes se transforman en paisaje urbano, la visión de la Baja California. COLEF. México. pp. 83-114.
- Hutyra, L. R., B. Yoon y M. Alberti. 2010. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle WA region. *Global Change Biology* 17(2):783-797.
- Hyun-Kil J. 2002. Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *Journal of Environmental Management* 64:115–126.
- IEA, International Energy Agency. 2008. World energy outlook 2008: executive summary. Paris. Disponible en: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2008-1994/WEO2008.pdf> (Consulta: 26 de agosto de 2013).
- INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2013. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. SEMARNAT. México. 384p.
- INIFAP-DBCh, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias -Dirección del Bosque de Chapultepec. 2010. Informe final del proyecto Diagnóstico y caracterización de la 2ª sección e inventario total de su arbolado. Informe de uso Interno. 111 p.



- INIFAP-DBCh, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias -Dirección del Bosque de Chapultepec. 2014. Informe final de las condiciones del arbolado de la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec. Informe de uso Interno. 171 p.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). IPCC/IGES. Japón.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 18p.
- Jo, H-K. 2002. Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *Journal of Environmental Management*. 64:115-126.
- Karl, T. R. y K. E. Trenberth. 2003. Modern Global Climate Change. *Science* 302:1719-1723.
- Kent, M. 2011. *Vegetation Description and Data Analysis: A Practical Approach*. 2ª edición. Wiley-Blackwell. EU. 428p.
- Lee, S. W., C. D. Ellis, B. S. Kweon y S. K. Hong. 2008. Relationship between landscape structure and neighborhood satisfaction in urbanized areas. *Landscape and Urban Planning* 85:60–70.
- Liu, C. y X. Li. 2012. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry & Urban Greening* 11:121-128.
- López-González. 2006. Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares: especies silvestres y las principales cultivadas. Tomo 1. 2ª edición. Mundi-Prensa. España. 861p.
- López-López, S. F. 2011. Ensayo de especies arbóreas de las familias Pinaceae, Apocynaceae, Burseraceae y Tiliaceae para la reforestación de la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 93 p.

- López-López, S. F. 2015. Reservorio de carbono en la biomasa aérea del arbolado de la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Estado de México. México. 92 p.
- Lovelock, J. E. 1972. Gaia as seen through the atmosphere. *Atmospheric Environment* 6:579-580.
- McPherson, E. G. 1992. Accounting for benefits and costs of urban green space, *Landscape and Urban Planning* 22:41-51.
- McPherson, E.G., 1998. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture*. 24 (4), 215–223.
- McPherson, E. G., Q. Xiao y E. Aguaron. 2013. A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forests. *Landscape and Urban Planning*. 120:70– 84.
- Mijangos, A. I. 2015. Estimación del contenido y captura de carbono en la biomasa arbórea del Bosque de San Juan de Aragón, Distrito Federal. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 77 p.
- Millward, A. A. y S Sabir. 2011. Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada. *Landscape and Urban Planning* 100:177-188.
- Molina, E. M., J. F. F. 1979. Algunos aspectos del deterioro ambiental en el Bosque de Chapultepec. Tesis profesional. Carrera de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 58 p.
- Moore, L. M. y K. King. 2000. Plant profile: *Ulmus parvifolia* Jacq. Chinese elm. Plant guide. USDA-NRCS, United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service. Disponible en: [plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg\\_ulpa.pdf](http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_ulpa.pdf) (Consultado el 5 de febrero de 2015).
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). 1992. Naciones Unidas. 50p.

- Nesom, G. 2002. Plant profile: *Thuja occidentalis* L. arborvitae, Plant guide. USDA-NRCS, United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service. Disponible en: [plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs\\_thoc2.pdf](http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_thoc2.pdf) (Consultado el 5 de febrero de 2015).
- Nesom, G. 2006. Plant profile: *Acer negundo* L. boxelder, Plant guide. USDA-NRCS, United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service. Disponible en: [plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg\\_acne2.pdf](http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_acne2.pdf) (Consultado el 5 de febrero de 2015).
- Nowak, D. J. 1993. Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental Management* 37:207-217.
- Nowak, D.J., 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (Eds.). *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. USDA Forest Service General Technical Report NE-186, Radnor, PA, pp. 83-94.
- Nowak, D. J. y D. E. Crane. 1998. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions. In: Hansen, M. y Burk, T. (Eds.) *Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21st Century*. Proceedings held at Boise Centre on the Grove Boise. Idaho. 744p.
- Nowak, D.J. y D.E. Crane. 2000. The urban forest effects (UFORE) model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, M., Burk, T. (Eds.), *Proceedings: Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21st Century*. IUFRO Conference, 16–20 August 1998, Boise, ID. General Technical Report NC-212. US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, St. Paul, MN, pp. 714–720.
- Nowak, D. J. y D. E. Crane. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution* 116:381-389.
- Nowak, D. J., J. Stevens, S. Sisinni y C. Luley. 2002. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture* 28(3): 113-122.

- Ocampo-Acosta, G. 2004. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 39. Buddlejaceae. Instituto de Biología, UNAM. 9p.
- Orwa, C., A. Mutua, R. Kindt, R. Jamnadass y S. Anthony. 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya. Disponible en: <http://www.worldagroforestry.org/resources/databases/agroforestrytree> (Consulta: 5 de febrero de 2015).
- Parrotta, J. A. 1993. Casuarina equisetifolia L. ex J.R. & G. Forst. Casuarina, Australian pine. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. EU. 11 p.
- Paoletti, E., T. Bardelli, G. Giovannini & L. Pecchioli. 2011. Air quality impact of an urban park over time. Procedia Environmental Sciences 4:10-16.
- PDDU, Programa Delegacional de Desarrollo Urbano en Miguel Hidalgo. 2008. Administración Pública del Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal. 125p.
- PUEC-UNAM, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad. 2002. Proyecto ejecutivo sobre la implementación y el manejo integral y desarrollo autosostenible del Bosque de Chapultepec. Universidad Nacional Autónoma de México y Dirección General de la Unidad de Bosques Urbanos y Educación Ambiental. Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente. 782p.
- Rojas-García, F. 2008. Consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche. Tesis de Maestría. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal. México. 70p.
- Rojas-García, F. y L. Villers-Ruíz. 2008. Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. Revista Ciencia Forestal en México 33(104):59-86.
- Rojas-García F., B. H. J. De Jong, P. Martínez-Zurimendí y F. Paz-Pellat. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and

- forests. *Annals of Forest Science*. Publicado en línea el 30 de enero de 2015. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s13595-015-0456-y>
- Rowntree, R. A. 1986. Ecology of the urban forest - Introduction to part II. *Urban Ecology* 9:229-243.
- Rowntree, R. A. y D. J. Nowak. 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture* 17(10):269-275.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ª edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC6.pdf> (Consulta: 8 de agosto de 2012).
- Sánchez-Gallegos, C. D. 2007. Valoración ambiental del arbolado urbano de la Ciudad de Durango por secuestro y flujo de carbono en la biomasa aérea. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. México. 63p.
- Schäffler, A. y M. Swilling. 2012. Valuing green infrastructure in an urban environment under pressure – The Johannesburg case. *Ecological Economics* 86:246-257.
- Schlesinger, W. H. 1997. Biogeochemistry: an analysis of global change. 2ª edición. Academic Press. EU. 588p.
- SEDEMA, Secretaría de Medio Ambiente. 2013. Inventario de Emisiones Contaminantes y de Efecto Invernadero. Gobierno del Distrito Federal. 122p.
- Soares, A. L., F. C. Rego, E. G. McPherson, J. R. Simpson, P. J. Peper & Q. Xiao. 2011. Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening* 10:69-78.
- Steffen, W., A. Sanderson, P. Tyson, J. Jäger, P. Matson, B. Moore III, F. Oldfield, K. Richardson, H. J. Schellnhuber, B.L. Turner II y R. J. Wasson. 2005. Global change and the earth system: A planet under pressure. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. Alemania. 343p.

- Stoffberg, G. H., M. W. van Rooyen, M. J. van der Linde & H. T. Groeneveld. 2010. Carbon sequestration estimates of indigenous street trees in the City of Tshwane, South Africa. *Urban Forestry & Urban Greening* 9:9-14.
- Strohbach, M. W., E. Arnold y D. Haase. 2012. The carbon footprint of urban green space -A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning* 104:220-229.
- Strohbach, M. W. y D. Haase. 2012. Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning* 104:95-104.
- Thomas, S. C. y A. R. Martin. 2012. Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. *Forests* 3:332-352
- Turner II, B. L., R. E. Kasperson, W. B. Meyer, K. M. Dow, D. Golding, J. X. Kasperson, R. C. Mitchell, y S. J. Ratick. 1990. Two Types of Global Environmental Change: Definitional and Spatial Scale Issues in Their Human Dimensions. *Global Environmental Change* 1:14-22.
- UFORE. 2012. Background. United States Department of Agriculture. Forest Service. Disponible en: <http://www.ufore.org/about/index.html> (Consulta: 21 de agosto de 2012).
- USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network - (GRIN) [Online Database]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Disponible en: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?30065> (Consultado el 5 de febrero de 2015).
- Yang, J., J. McBride, J. Zhou y Z. Sun. 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening* 3:65–78.