



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**Laboratorio de Contaminación atmosférica**

**SELECCIÓN DE LAS ESPECIES ARBÓREAS APROPIADAS  
PARA LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS BOSQUES  
URBANOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**BIÓLOGA**

**PRESENTA:**

**LOURDES BERENICE SANDOVAL GARCÍA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M. EN C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ**



**CIUDAD DE MÉXICO, AGOSTO DE 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
PRESENTE.

Comunico a usted que la alumna SANDOVAL GARCÍA LOURDES BERENICE, con número de cuenta 415037923, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día 20 de agosto de 2019 a las 09:00 hrs., para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

PRESIDENTE Dr. EFRAÍN REYES ÁNGELES CERVANTES

VOCAL M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ

SECRETARIO Dr. CARLOS CASTILLEJOS CRUZ

SUPLENTE Dra. PATRICIA RIVERA GARCÍA

SUPLENTE Dr. ALBERTO MÉNDEZ MÉNDEZ

*[Handwritten signatures of the jury members]*

El título de la tesis que presenta es: **Selección de las especies arbóreas apropiadas para los servicios ecosistémicos de los bosques urbanos de la Ciudad de México.**

Opción de titulación: Tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Ciudad de México, a 25 de junio de 2019

DR. VICENTE JESÚS HERNÁNDEZ ABAD

DIRECTOR  
ZARAGOZA  
DIRECCIÓN

RECIBI  
OFICINA DE EXÁMENES  
PROFESIONALES Y DE GRADO

*[Handwritten signature]*  
Vº. BO  
Dr. JOSÉ LUIS GÓMEZ MÁRQUEZ  
JEFE DE CARRERA

*DEDICATORIA*

*A mis Padres:  
Lourdes García*

*Y*

*Valente Sandoval*

## AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A mi querido y hermoso país “México”, tierra de máximo orgullo para tu gente, gracias por tus increíbles maravillas naturales, tus bellas tradiciones e incomparables delicias culinarias.

A mí amada universidad, la máxima casa de estudios “Universidad Nacional Autónoma de México” y mi querida Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por permitirme ser parte de ella y haberme formado a lo largo de cinco años en esta maravillosa carrera como bióloga.

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México SECITI/103/2017, por la beca otorgada para la realización de este proyecto.

A mí apreciado director de este trabajo el M. en C. Germán Calva Vásquez, por abrirme las puertas de su laboratorio, por compartirme su conocimiento, sabiduría, pasión por la biología, arte, libros, la buena comida, todos los buenos momentos que compartimos, incluyendo esas largas charlas y las reflexiones mostradas tanto para el ámbito académico y el desarrollo personal, gracias infinitamente por ser un docente increíble, gran amigo y guía; por todo su tiempo dedicado a este trabajo y cada una de las revisiones realizadas valoró mucho todo su esfuerzo y trabajo invertido, por último, no olvidaré que creyó en mis capacidades, me ayudó a reconocer mis habilidades, debilidades y me hizo fuerte ante la crítica y la verdad. Mil gracias profe por estar para sus alumnos.

A mis sinodales, ya que sin su ayuda, crítica, observaciones, paciencia y tiempo dedicado no hubiera sido posible la culminación del trabajo: Dra. Patricia Rivera García, Dr. Carlos Castillejos Cruz, Dr. Alberto Méndez Méndez y Dr. Efraín Reyes Ángeles Cervantes.

Dra. Paty en especial a usted, por haberme acompañado en toda la carrera como mi tutora, amiga y guía, mil gracias por toda su ayuda brindada y por haber estado ahí siempre que la necesite, no olvidaré todos sus consejos ni sus enseñanzas, y mucho menos las charlas evolutivas que tuvimos, así como también, impulsarme toda la actitud que debemos tener los biólogos para apoderarnos de nuestro trabajo. Infinitamente gracias.

Al Biól. Luis Morales Garduño, por su ayuda en la identificación vegetal, sus observaciones y sugerencias dentro del catálogo y aportaciones a la redacción del trabajo.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

*A mis padres: Lourdes y Valente, por haberme dado el regalo maravilloso de la vida, por siempre brindarme todo su amor y cariño, ustedes han hecho de mí la mujer que ahora soy, y por ello, esta meta que hoy se cumple también les pertenece. Mil gracias por haberme obsequiado la maravillosa oportunidad para estudiar, porque sé que ha sido un enorme sacrificio y aún con todo lo que implicó lograron sacarme adelante, ustedes son mi mayor ejemplo a seguir, porque han sabido demostrarme que no existen los imposibles cuando se tiene gran fuerza de voluntad, espero saberlo aprovechar y no defraudarlos ni a ustedes ni a mí misma en el intento, finalmente no terminaría de agradecerles en tan pequeño texto todo mi amor y gratitud que siento por ustedes. ¡Los amo!*

*A mis hermanos: Vanessa y Salvador, por todo lo bueno y lo malo que hemos compartido, las buenas charlas, pleitos, horas de diversión, la complicidad, el bullying, los macanazos, las risas, abrazos y en ocasiones los partidos de americano que luego nos chutamos, sea poco o mucho pero la vida es más divertida con hermanos como ustedes, espero seguir contando siempre con ustedes, y ojalá muy pronto puedan concluir sus estudios, disfrutando de lo que más les haga felices, los quiero mucho.*

*A Luis Morales, por haberme acompañado en esta travesía tan hermosa que fue el último periodo de la universidad, te agradezco infinitamente por todo tu tiempo, comprensión, paciencia, los grandiosos momentos vividos, las charlas científicas a las que asistimos y tenemos; por ilustrarme tu pasión por la ciencia, los museos y exposiciones recorridas, las visitas artísticas y recreativas, las comidas riquísimas y los fines de semana en la biblioteca Vasconcelos, mil gracias amor, por toda esa felicidad que compartimos día a día, por ser parte uno del otro y de la inspiración que me ayuda a seguir adelante, junto con los pequeñines y los huskies, formando el mejor equipo. Agradecida estoy con el universo quien decidió que era tiempo de ser uno y no dos, ¡te amo!*

A mi mejor amigo, Alberto Vargas, “El pingüino”, con quien compartí los mejores momentos en la carrera desde el principio y hasta el fin, gracias por toda la confianza, la ayuda y el apoyo que me brindaste durante todo este tiempo, sobre todo por hacer tan amena y divertida esta travesía, diciendo “vamos por una chela”. Jajaja mil gracias mi buen Beto, porque sé que esta amistad va a perdurar muchos años más.

A mis amigos con quienes compartí muchas aventuras en toda la carrera desde el primer semestre y hasta el último, gracias por todo: Stephie, Toledo y Estephania.

A mis amigos y compañeros del laboratorio de contaminación atmosférica, con quienes tuve la dicha de compartir e interactuar un poco con cada uno de ellos, gracias por escucharme, animarme, y tener una sonrisa siempre que regalar: Jessy, Quarly, Bryna, Brenda, Sol, Erick, Damaris J. Chava. Y Aline.

Por último y no menos importante, agradezco de una manera especial al universo y a todos aquellos científicos e investigadores que me han impulsado a amar y profesar el espíritu de la ciencia.

*“Seamos la pesadilla de quienes  
pretenden arrebatarnos nuestros sueños”*

*-Che Guevara.*

*“Toda nuestra ciencia comparada con la realidad es primitiva e infantil... y sin embargo es lo más preciado que tenemos”.*

*-A. Einstein.*

*“La ciencia más útil es aquella cuyo fruto es el más comunicable.”*

*-Da. Vinci.*

*“Elige solo una maestra: La naturaleza”*

*-Rembrand.*

*“Es preciso soñar, pero con la condición de creer en nuestros sueños. De examinar con atención la vida real, de confrontar nuestra observación con nuestros sueños, y de realizar escrupulosamente nuestra fantasía”.*

*-V. Lenin.*

*“No hay obstáculos imposibles; solo hay voluntades fuertes y débiles”*

*-J. Verne.*

*“El éxito es la capacidad de ir de fracaso en fracaso sin perder el entusiasmo”.*

*-W. Churchill.*



## CONTENIDO

	Págs.
<b>I. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>III. ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
<b>IV. PROBLEMÁTICA</b>	<b>6</b>
<b>V. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>VI. OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
<b>6.1. Objetivo general</b>	<b>8</b>
<b>6.2. Objetivos particulares</b>	<b>8</b>
<b>VII. MARCO TEÓRICO</b>	<b>9</b>
<b>7.1. Normatividad de las áreas verdes urbanas</b>	<b>9</b>
<b>7.2. Áreas verdes urbanas</b>	<b>10</b>
<b>7.3. Bosques urbanos</b>	<b>11</b>
<b>7.4. Bienes y servicios ecosistémicos</b>	<b>11</b>
7.4.1. Regulación de la calidad del aire	13
7.4.2. Remoción de contaminantes atmosféricos	14
7.4.3. Almacenamiento y secuestro de Carbono	14
7.4.4. Conservación del agua	15
<b>VIII. MÉTODO</b>	<b>16</b>
<b>8.1. Áreas de estudio</b>	<b>16</b>

<b>8.2. Método de campo</b>	<b>20</b>
<b>8.3. Método de Gabinete y laboratorio.</b>	<b>21</b>
8.3.1. Identificación taxonómica de las especies	21
8.3.2. Servicios ecosistémicos	21
<b>IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>27</b>
<b>9.1. Especies arbóreas en los Bosques de la CDMX</b>	<b>27</b>
<b>9.2. Lista de Especies arbóreas presentes en los Bosques de la CDMX</b>	<b>28</b>
<b>9.3. Estructura de las especies arbóreas en los bosques de la CDMX</b>	<b>64</b>
<b>9.4. Evaluación de los servicios ecosistémicos en los bosques urbanos</b>	<b>75</b>
9.4.1. Estimación de la captura de carbono	75
9.4.2. Remoción de contaminantes atmosféricos	90
9.4.3. Producción de Oxígeno (O <sub>2</sub> )	99
9.4.4. Almacenaje y transpiración de agua (H <sub>2</sub> O)	102
<b>X. CONCLUSIONES</b>	<b>106</b>
<b>XI. LITERATURA CITADA</b>	<b>108</b>
<b>XII. APÉNDICE I</b>	<b>121</b>

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación de los bosques urbanos de la CDMX	16
<b>Figura 2.</b> Abundancia de las especies presentes en el bosque de Chapultepec	64
<b>Figura 3.</b> Composición de las especies en el bosque de Chapultepec; dominio y alta densidad de <i>Fraxinus uhdei</i> y <i>Ligustrum lucidum</i>	65
<b>Figura 4.</b> Tamaño de los árboles en bosque de Chapultepec	66
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de cobertura de copas para bosque de Chapultepec	66
<b>Figura 6.</b> Abundancia de las especies presentes en el bosque de Tlalpan	67
<b>Figura 7.</b> Tamaño de los árboles en bosque de Tlalpan	68
<b>Figura 8.</b> Dominancia de los eucaliptos en el bosque de Tlalpan	68
<b>Figura 9 .</b> Porcentaje de cobertura de copas para bosque de Tlalpan	69
<b>Figura 10.</b> Abundancia de las especies presentes en el bosque de San Juan de Aragón	70
<b>Figura 11.</b> Plantación intensiva de <i>Casuarina equisetifolia</i>	70
<b>Figura 12.</b> Plantación de <i>Phoenix canariensis</i>	71
<b>Figura 13</b> Tamaño de los árboles en bosque San Juan de Aragón	72
<b>Figura 14.</b> Porcentaje de cobertura de copas para bosque de San Juan de Aragón	73
<b>Figura 15.</b> Modelo de PAOT para captura de carbono en bosque de Chapultepec	75
<b>Figura 16.</b> Modelo de Jenkins para captura de carbono en bosque de Chapultepec	76
<b>Figura 17.</b> Modelo de IPCC para captura de carbono en bosque de Chapultepec	76
<b>Figura 18.</b> Modelo de PAOT para captura de carbono en bosque de Tlalpan	77
<b>Figura 19.</b> Modelo de Jenkins para la captura de carbono en bosque de Tlalpan	78
<b>Figura 20.</b> Modelo de IPCC para la captura de carbono en bosque de Tlalpan	78
<b>Figura 21.</b> Modelo de PAOT para captura de carbono en bosque de San Juan de Aragón	79

<b>Figura 22.</b> Modelo de Jenkins para captura de carbono en bosque de San Juan de Aragón	80
<b>Figura 23.</b> Modelo de IPCC para captura de carbono en bosque de San Juan de Aragón	80
<b>Figura 24.</b> Gráfico del modelo ajustado para <i>Acacia retinodes</i>	83
<b>Figura 25.</b> Gráfico del modelo ajustado para <i>Callitropsis lusitanica</i>	84
<b>Figura 26.</b> Gráfico del modelo ajustado para <i>Cupressus sempervirens</i>	85
<b>Figura 27.</b> Gráfico del modelo ajustado para <i>Fraxinus uhdei</i>	86
<b>Figura 28.</b> Gráfico del modelo ajustado para <i>Phoenix canariensis</i>	87
<b>Figura 29.</b> Deposición de los contaminantes en bosque de Chapultepec	90
<b>Figura 30.</b> Deposición de los contaminantes en bosque de Tlalpan	91
<b>Figura 31.</b> Deposición de los contaminantes en bosque de San Juan de Aragón	91
<b>Figura 32.</b> Remoción de los contaminantes por las especies del bosque de Chapultepec	94
<b>Figura 33.</b> Remoción de los contaminantes por las especies del bosque de Tlalpan	94
<b>Figura 34.</b> Remoción de los contaminantes por las especies del bosque de San Juan de Aragón	95
<b>Figura 35.</b> Producción de Oxígeno (O <sub>2</sub> ) en bosque de Chapultepec	99
<b>Figura 36.</b> Producción de Oxígeno (O <sub>2</sub> ) en bosque de Tlalpan	100
<b>Figura 37.</b> Producción de Oxígeno (O <sub>2</sub> ) en bosque de San Juan de Aragón	100
<b>Figura 38.</b> Almacenaje y transpiración de agua (H <sub>2</sub> O) en bosque de Chapultepec	102
<b>Figura 39.</b> Almacenaje y transpiración de agua (H <sub>2</sub> O) en bosque de San Juan de Aragón	103
<b>Figura 40.</b> Almacenaje y transpiración de agua (H <sub>2</sub> O) en bosque de Tlalpan	104

## ÍNDICE DE CUADROS

	Págs.
<b>Cuadro 1.</b> Investigaciones realizadas acerca del manejo de los bosques urbanos	4
<b>Cuadro 2.</b> Grupos y servicios ecosistémicos a nivel mundial	12
<b>Cuadro 3.</b> Características físicas-geográficas de los bosques urbanos	17
<b>Cuadro 4.</b> Remoción de la contaminación por categoría diamétrica	24
<b>Cuadro 5.</b> Especies registradas en los bosques urbanos de la CDMX	27
<b>Cuadro 6.</b> Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en <i>Acacia retinodes</i>	82
<b>Cuadro 7.</b> Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en <i>Callitropsis lusitanica</i>	83
<b>Cuadro 8.</b> Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en <i>Cupressus sempervirens</i>	84
<b>Cuadro 9.</b> Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en <i>Fraxinus uhdei</i>	85
<b>Cuadro 10.</b> Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en <i>Phoenix canariensis</i>	86



## I. RESUMEN

Se determinó los servicios ecosistémicos (SE) de las especies arbóreas de los bosques de Chapultepec, Tlalpan (área natural) y San Juan de Aragón de la Ciudad de México (1,100 ha), a fin de elegir los mejores. Pretendiendo contribuir a reducir los costos de mantenimiento de las áreas verdes (\$16,700 ha) y a gestionar el arbolado *a doc*. Para ello se identificó taxonómicamente las especies, se registró su dasometría y con ecuaciones alométricas (PAOT, Jenkins e IPCC) se obtuvieron los **servicios ecosistémicos: captura de carbono, remoción de contaminantes atmosféricos (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>); producción de oxígeno; el almacenaje y transpiración del agua**. Como resultado se identificó 38 especies, de las cuales doce están presentes en los tres bosques. *Fraxinus uhdei* fue la más abundante en Chapultepec y Tlalpan. *Casuarina equisetifolia* en San Juan de Aragón. El 68.4 % son de follaje perenne y el resto, caduco. Para **carbono** se determinó un mejor ajuste con el modelo de Jenkins en árboles y palma de los bosques, en *Pinus cembroides*, *Schinus molle* y *Phoenix canariensis*. La mayor **captación de CO y O<sub>3</sub> fue para**, con las especies *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus. uhdei*, *Ficus benjamina*, *C. equisetifolia*, *Phoenix. canariensis*, se debe aumentar la densidad de *Acer* spp, *Junglans* spp, *Persea americana*, *Prunus* spp, *Salix babilónica*, *Thuja occidentalis*, *Juniperus* spp, *Platanus* spp *Quercus* spp y *Ulmus parvifolia* por su alta capacidad de remoción y resistencia. En la **producción de oxígeno, almacenaje y transpiración de agua** la palma (*P. canariensis*) y los árboles (*Pinus cembroides*) son las más recomendables. Se concluyó que el bosque de Chapultepec secuestra 9.692 Mg C/año, Tlalpan 3.54 Mg C/año y SJA, 2.187 Mg C/año. Produce cantidades de O<sub>2</sub> anualmente de 14,465.44 litros (l) en Chapultepec, 17,768 l en Tlalpan y 9,797.76 l en San Juan de Aragón. El almacenaje de H<sub>2</sub>O en Chapultepec es de 3,849.67 l, en Tlalpan 3,664.66 l y San Juan de Aragón 2,020.79 l y la transpiración para Chapultepec de 349.97 l, en Tlalpan 333.58 l y San Juan de Aragón 183.80 l.



## II. INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes urbanas (AVU) son espacios integrados por árboles, arbustos y herbáceas que favorecen los procesos ecológicos para el funcionamiento de las ciudades (Benavides, 1989), en beneficio social y ambiental (Meza y Moncada, 2010), los cuales son denominados servicios ecosistémicos (SE) (Wiesner, 2000; Boulund y Hunhammar, 1999).

Muñoz (2014) señaló que el arbolado es el elemento central de las AVU, tiene la capacidad de captar e infiltrar el agua de lluvia, absorber el dióxido de carbono, disminuir la contaminación del aire y la sonora, promover el aumento de la diversidad de fauna y flora, mejorar las condiciones térmicas causadas por el efecto de isla de calor, entre otros.

La norma ambiental para el Distrito Federal (NADF-006-RNAT-2016) indicó que en la Ciudad de México (CDMX), las acciones orientadas al mejoramiento y conservación de las AVU no se realizan con planificación ni diseño adecuado, por lo que se ve disminuida la potencialidad de los SE. Así mismo Benavides y Fernández (2012) afirmaron que las AVU de la CDMX y el resto del país carecen de programas de manejo orientados hacia las actividades de mantenimiento.

Reyes y Gutiérrez (2010) mencionaron que si las plantaciones de árboles se realizaran en forma adecuada, los habitantes de la ciudad obtendrían mayores beneficios ambientales. Por lo consiguiente un manejo inapropiado del arbolado en las AVU puede reducir los beneficios proporcionados, de acuerdo a su biología y longevidad, y una disminución en el costo de su mantenimiento (costo de referencia de \$16,627.16 M/N por hectárea de suelo de un ecosistema templado frío).



Es así que la CDMX cuenta con tres principales bosques urbanos: Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón, en los cuales los programas de manejo no indican los criterios técnicos para efectuar las plantaciones del arbolado.

Las especies arbóreas seleccionadas deben proporcionar el mejor nivel de servicios ecosistémicos; por lo que este trabajo tiene por sentido realizar una evaluación de ellos en las especies arbóreas plantadas en los bosques, con el fin de proponerlas de acuerdo a las tres regiones del clima de la Ciudad de México, en donde se localizan los bosques de Chapultepec (templada), Tlalpan (húmeda) y San Juan de Aragón (semiárida), estableciendo un criterio de plantación para el mejoramiento de los servicios ecosistémicos.





### III. ANTECEDENTES

En el Cuadro 1 se presentan las principales investigaciones que hacen referencia sobre la importancia de especies arbóreas en materia de servicios ecosistémicos y la normatividad en las áreas de estudio.

**Cuadro 1.** Investigaciones realizadas acerca del manejo de los bosques urbanos

Autor (es)/ año	Aportaciones
Nowak, D.J. (2002).	Determinó los efectos de la vegetación urbana para la mejora de calidad del aire, proponiendo así estrategias para un manejo forestal urbano.
GDF y SMA (2003)	Realizaron el primer inventario de áreas verdes en la CDMX, donde se obtuvieron 5.3 m <sup>2</sup> de área verde por habitante a diferencia de los 9m <sup>2</sup> que demanda la OMS.
Escobedo, F. y Chacalo, A. (2008)	Evaluaron el arbolado de la CDMX y su relación con la descontaminación del aire, donde obtuvieron una descontaminación de O <sub>3</sub> de 4.8 g.m <sup>2</sup> , promoviendo plantar árboles con características adecuadas a los sitios
Meza, A.M. y Moncada, M.J.O. (2010)	Resaltaron la importancia del manejo adecuado para la vegetación de las AVU en la CDMX, concluyeron la selección, manejo y el cuidado del arbolado urbano no se debe considerar solo los aspectos estéticos
PAOT (2010)	Señaló que se debe contar con una normatividad y herramientas para el mantenimiento y planeación de las AVU así como el monitoreo y los recursos económicos para el cuidado del arbolado.
Reyes, A.I. y Gutiérrez, C.J.J. (2010)	Concluyeron que para optimizar la arborización en ambientes urbanos, se debería considerar la funcionalidad de los árboles y seleccionar especies adecuadas al área, con el fin de mejorar los servicios ambientales en la ciudad de Toluca.
Benavides, M.H.M. y Fernández, G.D.Y. (2012).	Determinaron que los bosques urbanos contribuyen a la mejora de calidad de vida de los ciudadanos, resaltaron la importancia de conocer las características y condiciones de las AVU, reportando que las AVU de la CDMX carecen de programas de manejo.



---

Autor (es)/ año	Aportaciones
López, L.S.F. y Benavides, M.H.M. (2014)	Evaluaron la respuesta de seis especies arbóreas nativas de México, ( <i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl., <i>Pinus cembroides</i> Zucc., <i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl. var. <i>australis</i> , <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski, <i>Thevetia thevetioides</i> (Kunth) Schumann y <i>Heliocarpus reticulatus</i> Rose), concluyendo que todas las especies, con excepción de <i>P. cembroides</i> , mostraron una buena respuesta a las condiciones ambientales de la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec.
PMVG-BCH3a (2018)	Plantearon una reforestación para la tercera sección durante un periodo de 30 años con <i>Pinus</i> spp, <i>Quercus</i> spp, y <i>Buddleja cordata</i> (lomeríos), <i>Fraxinus uhdei</i> , <i>Callitropsis lusitanica</i> (meseta), <i>Acer negundo</i> y <i>Taxodium mucronatum</i> (cañadas) con el fin de aumentar los servicios ecosistémicos, erradicando la prominencia de árboles exóticos

---



## IV. PROBLEMÁTICA

Los servicios ecosistémicos (SE) que los habitantes de la Ciudad de México (CDMX) obtienen a través de sus bosques urbanos son: disminución de la radiación solar, humedecer el aire, reducción de la isla de calor, deporte recreativo, bienestar psicológico y cultural, hábitat para fauna urbana y reducir el efecto de domo.

Escobedo y Chacalo (2008) aseveran una falta de diseño y planeación en los programas de reverdecimiento en la CDMX, y la consecuencia de plantar árboles sin considerar sus características ecofisiológicas para su óptimo crecimiento (suelo con nutrientes, precipitación, contaminación y biología de la especie plantada). También, la norma ambiental de la CDMX (NADF-006-RNAT-2016) refiere la falta de planificación, manejo y conservación en los programas para reforestación urbana y forestal. Una falta de conocimiento sobre especies arbóreas trae como consecuencia, incremento en costos para mantenimiento de áreas verdes y desaprovechamiento en sus servicios ecosistémicos.

Los viveros (Nezahualcóyotl, Coyoacán y San Luis Tlaxialtemaco) que abastecen las plantas para los bosques Tlalpan, Chapultepec y San Juan de Aragón (CDMX) deben estar acorde con aquellas especies elegidas *in situ*, cuyas características ecofisiológicas ya fueron determinadas, reduciendo las condiciones adversas y evaluando los servicios ecosistémicos. Por lo tanto, se pretende evaluar dichos servicios (captura de carbono, almacenaje y transpiración de agua, producción de oxígeno y remoción de contaminantes) de especies arbóreas plantadas en los bosques.



## V. JUSTIFICACIÓN

Uno de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS-11) en la agenda 2030, es resaltar la importancia de espacios verdes para mejorar el nivel de vida en las ciudades, a través de una adecuada planificación y gestión de bosques urbanos, esto debido a que los árboles tienen capacidad de ayudar a mitigar el cambio climático, captando y almacenando dióxido de carbono (Nowak, 2013), ayudan a la reducción del efecto “isla de calor” proporcionando sombra, y enfriando a través de la evapotranspiración (Nowak *et al.*, 2010) y contribuyen a la gestión de aguas pluviales, reduciendo la escorrentía mediante su evaporación interceptada por las copas y a través de la transpiración (FAO, 2018).

Los bosques urbanos de la ciudad de México (Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón) no consideran una planificación adecuada para sus plantaciones arbóreas, lo que propicia una disminución de servicios ecosistémicos (SE), ante esta situación es necesario realizar una evaluación de los SE que provee su arbolado a fin de seleccionar de entre las especies plantadas, aquellas que tienen mayor capacidad para aumentar dichos servicios y por lo tanto garantizar el desarrollo sostenible y bienestar de sus habitantes.



## VI. OBJETIVOS

### 6.1. Objetivo general

Evaluar los servicios ecosistémicos que proporcionan las especies arbóreas en los bosques urbanos Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón a fin de seleccionar las más aptas para el aumento de dichos servicios

### 6.2. Objetivos particulares

- 🌳 Identificar las especies arbóreas presentes en los bosques urbanos de la Ciudad de México.
- 🌳 Registrar de cada una de las especies arbóreas su diámetro normal, alturas totales y cobertura de copas con la finalidad de obtener la composición arbórea, la estructura horizontal y vertical de cada bosque.
- 🌳 Con los registros obtenidos determinar la captura de carbono mediante la aplicación de ecuaciones alométricas.
- 🌳 Realizar una estimación de los servicios ecosistémicos por especie: Remoción de contaminantes del aire, transpiración y retención de agua y producción de oxígeno, a fin de determinar las especies que aportan los mayores servicios.



## VII. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Normatividad de las áreas verdes urbanas

El crecimiento demográfico y territorial del siglo XX en la Ciudad de México (CDMX), provocó una pérdida en las áreas verdes de la zona metropolitana y aumentó la demanda de servicios ambientales, lo cual desencadenó un desequilibrio ecológico entre naturaleza y vida citadina (Meza y Moncada, 2010). Es así que fue necesario establecer bases sólidas dentro de los manuales para planear, diseñar y manejar las áreas verdes urbanas de la CDMX (COCODA, 1986), sin embargo, más tarde la Secretaría del Medio Ambiente (2002) exteriorizó que estas carecieron de estrategias en su planificación, lo cual demostró una baja capacidad de gestión y un inadecuado manejo ambiental, provocando disminución en la calidad de vida para los habitantes de esta urbe.

Evidencia de lo anterior, se reflejó en la pérdida de 13 hectáreas para el bosque de Chapultepec y más de 100 en San Juan de Aragón, aunado a la presencia de plagas en el arbolado, compactación de suelos, contaminación de sus cuerpos acuáticos, plantación de especies inadecuadas y desbordamiento del comercio informal (secretaría del medio ambiente, 2002)

Consecutivamente el gobierno del Distrito Federal (2002) realizó la reforma a la Ley Ambiental del Distrito Federal con el fin de regular y proteger las áreas verdes, proponiendo un esquema de participación colaborativa entre las instancias gubernamentales y la población a través del programa de desarrollo urbano, no obstante las acciones realizadas tuvieron deficiencia por falta de asesoría técnica



para la selección de especies, forma de plantación y necesidades del sitio a forestar (Meza y Moncada, 2010).

Es así que con el trabajo de varios años, las áreas verdes urbanas en la CDMX, actualmente cuentan con tres principales normas ambientales, que son son: “NADF-001-RNAT-2015”, donde se establecen los requisitos y especificaciones técnicas que deben aplicar en la realización de poda, derribo, trasplante y restitución de árboles; la “NADF-006-RNAT-2016”, que establece los criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deberán cumplir quienes realicen acciones de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes de la Ciudad; y finalmente “NADF-013-RNAT-2007”, donde se establecen las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación (SEDEMA, 2018).

## **7.2. Áreas verdes urbanas**

Martínez (2008) define a las áreas verdes urbanas (AVU) como los espacios dentro de una ciudad, presentan vegetación originaria o plantada por el hombre, estos espacios son clasificados como, bosques, parques, jardines, glorietas, camellones y espacios abiertos.

Así mismo el concepto de la PAOT (2003) indica que las AVU desempeñan funciones para el bienestar y calidad de los ecosistemas urbanos. La Secretaría del medio ambiente (2018) menciona que estos espacios contribuyen a mejorar la imagen urbana, modifican los microclimas, aumentan la cobertura vegetal, aportan a la disminución de contaminantes en la atmósfera y minimizan los efectos del cambio climático. Con estos espacios se brinda una mejor calidad de vida para el ambiente urbano.



### 7.3. Bosques urbanos

La FAO (1996) y la Ley Forestal de Fauna Silvestre (29763) definieron al Bosque como un ecosistema donde predominan las especies arbóreas en cualquier estado de desarrollo, con una cobertura arbórea del 26% en condiciones favorables. Sin embargo, existe una controversia para la definición de bosque urbano, por ejemplo Miller (1997) lo definió como “la suma de todo el arbolado, asociado con los asentamientos humanos, desde pequeñas comunidades en asentamientos rurales hasta las regiones metropolitanas”, a diferencia de Mock (2005) quien dijo que es “la suma de toda la vegetación que crece en las áreas urbanas y comunitarias”, finalmente la FAO (2016) definió que “los bosques urbanos son redes o sistemas que comprenden grupos de árboles y árboles individuales, ubicados en áreas urbanas y periurbanas, por tanto clasifico a los bosques urbanos en cinco tipos (bosques, árboles de calle, parques y jardines y árboles en las esquinas)”.

El concepto de bosque urbano difiere en la aplicación de cada país, en todo caso un bosque urbano hace referencia a un ecosistema perteneciente a las ciudades, donde la vegetación arbórea se asocia con los establecimientos urbanos (Meza y Moncada, 2010).

### 7.4. Bienes y servicios ecosistémicos

De acuerdo con los autores Daily (1997); Costanza *et al.*, (1997); Kremen *et al.* (2004); Boyd y Banzhaf (2007); de Groot *et al.*, (2010); Limón y Vega (2012), consideran a los servicios ecosistémicos (SE) como aquellos procesos en los cuales la naturaleza provee beneficios directos o indirectos a los humanos para su bienestar. “*Millennium Ecosystem Assessment*” (2005) (MEA por sus siglas en





inglés), clasifíco veintitrés SE, provistos por los ecosistemas a nivel mundial, categorizados en cuatro grupos esenciales para la subsistencia del hombre, (Cuadro 2).

El término de servicios ambientales (SA) se puede referir actualmente a los SE, sin embargo los SA, se utilizan sin tomar en cuenta las interacciones que permiten se generen los servicios, a diferencia de los SE, donde se enfatizan las interacciones en los ecosistemas entre el componente biótico y abiótico, a fin de generar los beneficios aprovechables para la vida humana (CONABIO y SEDEMA, 2016).

**Cuadro 2.** Grupos y servicios ecosistémicos a nivel mundial

<p style="text-align: center;"><b><u>Provisión</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alimento</li> <li>2. Agua</li> <li>3. Materias primas</li> <li>4. Material genético</li> <li>5. Recursos medicinales y bioquímicos</li> <li>6. Especies y/o recursos ornamentales.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b><u>Regulación</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regulación de la calidad del aire</li> <li>2. Regulación del clima</li> <li>3. Mitigación de riesgos naturales</li> <li>4. Regulación del agua</li> <li>5. Absorción de residuos</li> <li>6. Protección contra la erosión.</li> <li>7. Formación y restauración del suelo</li> <li>8. Polinización</li> <li>9. Regulación biológica</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b><u>Soporte</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hábitat de reproducción</li> <li>2. Protección de reserva genética</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b><u>Cultural</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estética, apreciación del paisaje natural.</li> <li>2. Recreación</li> <li>3. inspiración para cultura, arte y diseño.</li> <li>4. El patrimonio cultural y de identidad</li> <li>5. Inspiración espiritual y religiosa</li> <li>6. Educación y ciencia</li> </ol>

Retamal (2015) en De Groot (2010)

Los servicios ofrecidos por el arbolado de los bosques urbanos, son de importancia para el amortiguamiento del impacto ambiental causado por el



crecimiento urbano, por ello se contextualizara algunos de los principales servicios ecosistémicos que brindan los bosques urbanos:

#### 7.4.1. Regulación de la calidad del aire

Priego (2002) describió tres principales formas en las que el arbolado urbano se relaciona directamente con la calidad del aire:

🌿 Reducción de la temperatura y efectos micro climáticos: La presencia de vegetación en las ciudades, altera el balance energético del clima a escala local, provocando variaciones en la radiación solar que llega a la superficie (Ochoa, 1999), las reducciones de temperatura y el aumento de la humedad en el aire se deben principalmente a la evapotranspiración de las copas (FAO, 2018).

🌿 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles biogénicos (COVB): Estas moléculas son intercambiadas con la biósfera y atmósfera a través de la vegetación y tienen importancia en los procesos de la química troposférica, los compuestos más comunes son: isoprenos, terpenos, alcanos, alquenos, alcoholes, ésteres, carbonilos y ácidos, (Peñuelas y Llusia, 2001, en Pimienta *et al.*, 2012); Peñuelas y Llusia (2003) afirmaron que estos a su vez podrían proteger a las plantas contra las temperaturas elevadas, produciendo así una retroalimentación positiva y negativa en la temperatura del planeta.

🌿 Disminución de los contaminantes atmosféricos: Priego (2002) indicó que la disminución los contaminantes gaseosos del aire se da por medio de la captación de estos, a través de los estomas.



#### **7.4.2. Remoción de contaminantes atmosféricos**

Las ciudades producen el mayor porcentaje de Gases de Efecto Invernadero (GEI), lo que favorece el cambio climático global (Pimienta *et al.*, 2014). En 2016, el 91% de la población mundial vivía en lugares donde no se cumplían los límites máximos de concentración de contaminantes del aire definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), lo cual produjo un aumento de enfermedades cardíacas, respiratorias y de cáncer de pulmón (Kampa y Castanas (2008), Calderón y Villarreal (2017), en Arroyave *et-al.*, 2019).

Los bosques urbanos mejoran la calidad del aire (Nowak, Crane y Stevens, 2006), eliminando la contaminación a través del intercambio gaseoso que se da en los estómas o en la retención temporal con la captura de partículas en sus hojas (Nowak, 2002). Los gases que ingresan al interior de sus hojas se disuelven y cambian de estado propiciando a ser usados como fertilizantes ( $N^+$  y  $S^+$ ), en el caso de Ozono que es altamente reactivo, puede causar daño a las hojas de los árboles. En el caso de que las partículas se adhieran al exterior de las hojas dependerá del tamaño y la textura de esta última (Nowak, 2002, Nowak *et al.*, 2006).

#### **7.4.3. Almacenamiento y secuestro de Carbono**

Los ecosistemas urbanos demandan grandes cantidades de energía, y como resultado de ello, son liberados a la atmósfera los Gases de Efecto Invernadero (GEI), considerando al  $CO_2$  como el más importante por su alta concentración (IPCC, 2007). Este  $CO_2$  en sistemas terrestres, queda retenido en la biomasa viva o cantidad de materia vegetal, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo (Dávalos *et al.*, 2008). Gestarbol (2017), Dávalos y colaboradores (2008),



indicaron así que el intercambio de carbono con la atmósfera se da a través de los procesos de fotosíntesis, respiración, descomposición y combustión, en los cuales la vegetación leñosa es un depósito de los GEI y contribuye al almacenaje de carbono (Schneider, 1989). La proporción de absorción de carbono de los árboles es una función del índice de crecimiento y de la edad. En general, los árboles y bosques absorben grandes cantidades de carbono cuando son jóvenes y crecen rápidamente (Rodríguez, 2013).

#### **7.4.4. Conservación del agua**

El ciclo del agua es parte de los Servicio ecosistémicos, ya que permite la circulación en la biosfera por medio de la precipitación, evapotranspiración, infiltración y escurrimiento, y cuya finalidad es lade mantener un equilibrio en el funcionamiento de los ecosistemas (CONABIO y SEDEMA, 2016).

La disponibilidad del agua es baja en grandes ciudades (O'Hara y Georgakakos, 2008), y como consecuencia de ello, se propicia el estrés hídrico en la vegetación urbana, lo que acorta la longevidad de los árboles y es una causa importante de la muerte de árboles jóvenes, cuando se llevan a cabo proyectos de forestación y reforestación en (Whitlow *et al.*, 1992, en Pimienta *et al.*, 2012).

ISA (2007) destacó que los árboles urbanos tienen la capacidad de interceptar el agua, almacenando parte de ella y reduciendo el escurrimiento, causado por las tormentas y la posibilidad de inundación, además de ello Bertnasky (1983), en Boulund y Hunhammar (1999) reporto que zonas urbanas con vegetación infiltran entre 85 y 95% a diferencia de las que carecen de ella que solo alcanzan un 10%.

## VIII. MÉTODO

### 8.1. Áreas de estudio

El área de estudio comprende los tres bosques principales de la CDMX (Figura 1), Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón, los cuales se eligieron porque integran una superficie territorial mayor a 1100 ha, presentan condiciones físicas-geográficas diferentes (Cuadro 3).

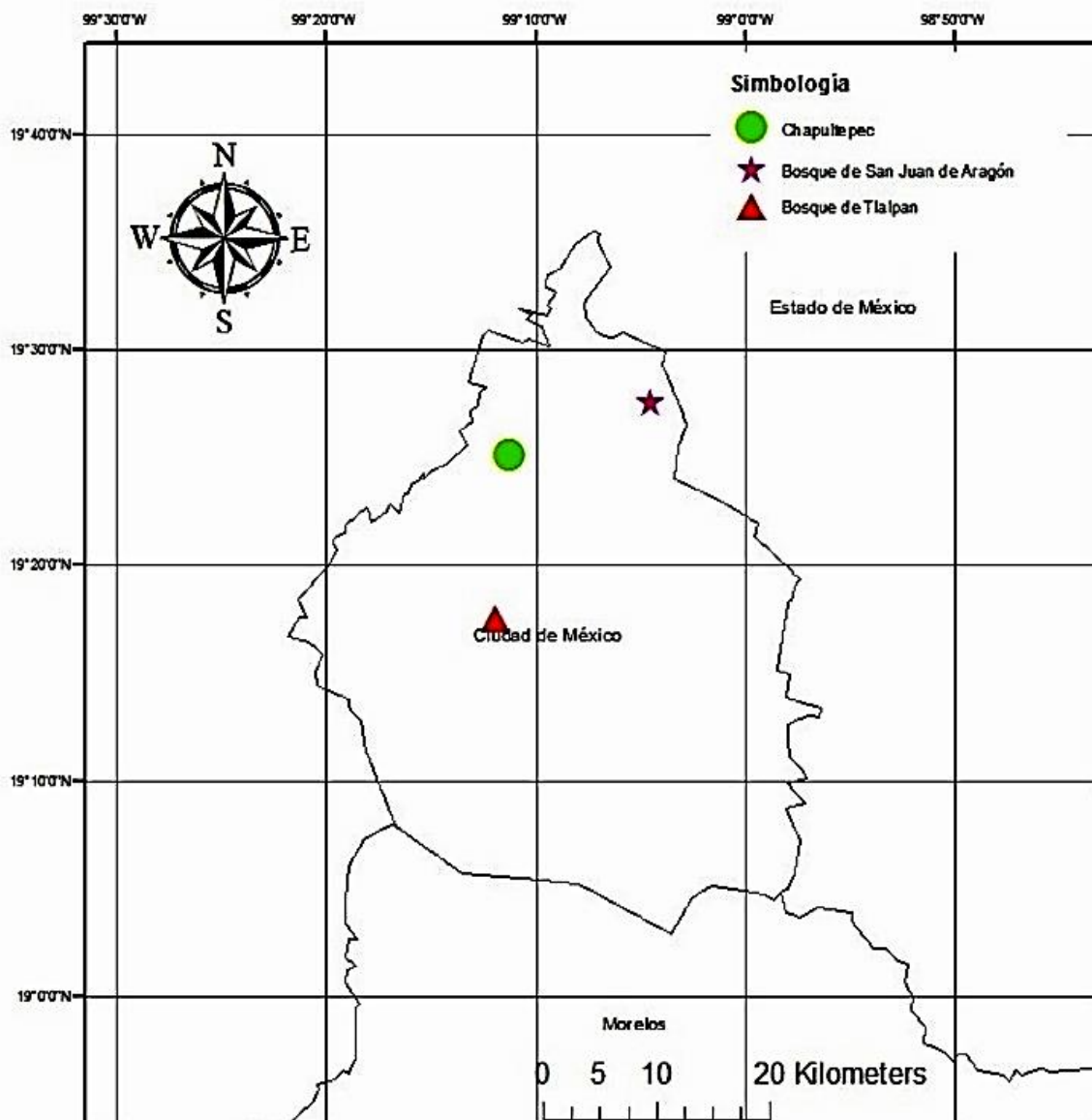


Figura 1. Ubicación de los bosques urbanos de la CDMX



**Cuadro 3.** Características físicas-geográficas de los bosques urbanos

<b>Sitio</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Superficie</b>	<b>Clima</b>	<b>Edafología</b>
Bosque de Chapultepec	Deleg. Miguel Hidalgo. -99.188233 19.41895 ALT. 2550-2400 msnm (Molina, 1979).	686.0181 ha Sus secciones (ha). (274.0864 1ra) (168.0326 2da) (243.8991 3ra)	CW1 (W)B(i') Templado con lluvias en verano Temp. Media 15.4 °c Precip. Prom. Anual: 769.2 mm	Suelos: Inceptisol Sub-orden: Andéptico. Rocas piroclásticas
Bosque de Tlalpan	Deleg. Tlalpan -99.19881 19.292073 ALT. 2310- 2448 msnm. Jáuregui (2000).	252.86 ha	C(W1)(W)b(i') Templado húmedo intermedio con lluvias en verano Temp. Media anual: 15-15.4°C Precip. Total anual: 700-1200 Jáuregui (2000)	Suelos de tipo Litosol y <i>Feozem</i> <i>háplico</i> Suelos de fertilidad alta.
Bosque de San Juan de Aragón	Deleg. Gustavo A. Madero. -99.074932 19.459918 ALT. 2240 m (Velasco, 2013).	162.028 ha	BS1 kw (w)(i') semiseco templado con lluvias en verano Temp. Media anual: 12-18°C Precip. Media anual. 569.1mm	Suelos solonchank Mólico (Zm); alcalino, con migajones arcillosos. Ph 7.7- 10.83.

Así mismo las características de la vegetación son diferentes para cada uno de los sitios, como se indican a continuación:



### **Vegetación del bosque Chapultepec.**

INEGI (2005) menciona la vegetación de Chapultepec dividida en sus tres secciones correspondientes: En la primera sección hay 105 especies arbóreas, las de más amplia distribución son: *Fraxinus uhdei*, y *Ligustrum lucidum*, seguidas por *Cupressus lindleyi*, *Taxodium mucronatum*, *Persea americana*, *Morus nigra* y *Prunus serotina*. La segunda sección está representada por 17 especies, principalmente exóticas como casuarinas y eucaliptos, las de mayor distribución son: *Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus*, *Fraxinus uhdei*, y *Ligustrum lucidum*.

La tercera sección se representa por 15 especies, principalmente *E. camaldulensis*, *E. globulus* y *Casuarina equisetifolia*; en las barrancas y lomeríos se localiza a *Buddleja cordata*, *schinus molle*, y *Arbutus unedo*.

### **Vegetación del bosque de Tlalpan.**

El programa de manejo del Área natural protegida (ANP) del bosque de Tlalpan (2011), reportó que el bosque presenta tres tipos de vegetación, que de acuerdo con su fisonomía, composición florística y origen, se representan como matorral xerófito, bosque de pino-encino y bosque cultivado.

**a) Matorral Xerófito:** es característico del derrame del *Xitle*, y presenta grupos como algunos helechos, orquídeas, piperáceas, crasuláceas y portulacáceas, dado a que recibe precipitaciones 700-1200 mm a diferencia de otros matorrales que van de 100-400mm, cuenta con una sequía edáfica, y en el estrato arbóreo se observa a *Buddleja cordata*, *Schinus molle*, *Eucalyptus* spp. *Quercus* spp. *Pinus* Spp y *Cupressus* spp.



**b) Bosque de pino-encino:** Se distribuye entre 2400 a 2450 m, es una comunidad conformada por árboles de 3 a 12 m de altura, se asocia en mayor frecuencia con tepozán (*Buddleja cordata*) y en algunos sitios con el madroño (*Arbutus unedo*). En el sotobosque se encuentra un estrato herbáceo con abundancia de salvias (*Salvia mexicana* y *S. polystachya*), en sitios más rocosos algunos agaves (*Agave* spp), en otros de mayor humedad, orquídeas terrestres, como el género *Bletia*; y en las ramas de algunos árboles epífitas como los gallitos (*Tillandsia* spp).

**c) sitios reforestados.** El estrato arbóreo presenta alturas de hasta 16 m. El bosque se conforma principalmente por *Eucalyptus* spp. *Cupressus* spp., *Acacia* spp, *Ligustrum lucidum*, *Acer negundo*, *Fraxinus uhdei*, *Morus celtidifolia*, *Quercus rugosa* y *Q. laurina*.

#### **Vegetación del bosque de San Juan de Aragón.**

El bosque de San Juan de Aragón se encuentra dominado por *Casuarina equisetifolia* (casuarina) y *Eucalyptus camaldulensis* (Eucalipto), en menor medida aparece *Schinus molle* (pirúl), *Fraxinus uhdei* (Fresno), *Cupressus* spp (cedros), *Grevillea robusta* (Grevillea), *Acacia* spp (Acacias) entre otros (Benavides, 2010).





## 8.2. Método de campo

El trabajo en campo se realizó conforme a lo descrito por el manual “*I-Tree eco (2017): manual de usuario V6.0 del 4.26.2016*”, que consistió en realizar un muestreo dirigido a especies arbóreas, para ello se realizó un levantamiento de parcelas con diámetros de 25 m, y se llevó a cabo la identificación *in situ* de la especies a través de guías de CONABIO (2012): *Árboles comunes de la CDMX* y Martínez (2008): *Árboles y áreas verdes urbanas en la CDMX y su zona metropolitana*, además se tomó el registro fotográfico y en algunos casos la recolecta de hojas, flores y/o frutos, para corroborar su identidad en el laboratorio. Posteriormente para cada árbol de la parcela se tomaron las medidas dasométricas: Altura total y fustal, circunferencia normal (CN= 1.30 m. del suelo) y cobertura de copas. Para las mediciones de CN y coberturas de copas se utilizó un flexómetro de 50 m, y para alturas la aplicación móvil “*Medir altura*”, la cual es un software que utiliza ecuaciones trigonométricas para calcular la distancia y altura al mismo (Deskis, 2016). Por último se registró durante cada hora de permanencia *in situ*, la concentración de contaminantes (O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>) a través de la aplicación móvil “Aire de la CDMX”



### 8.3. Método de Gabinete y laboratorio.

#### 8.3.1. Identificación taxonómica de las especies

Está se realizó a través de Rzedowski y Rzedowski (2005): *Flora fanerogámica del valle de México*, fichas técnicas de CONABIO y CONAFOR (s/f), además del uso de *colecciones* abiertas del Herbario Nacional de México (MEXU) (<http://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>) y base de datos del jardín botánico de Misuri “Tropicos®” (<https://www.tropicos.org/>).

#### 8.3.2. Servicios ecosistémicos

Con los registros dasométricos obtenidos en campo se crearon tres bases de datos en Excel correspondientes a cada uno de los bosques, donde se agruparon árboles por especies alfabéticamente y por tamaño de circunferencia de menor a mayor, posteriormente en las columnas se aplicaron las ecuaciones correspondientes para cada uno de los servicios:

#### Captura de Carbono

Para obtener la cantidad de captura de carbono se utilizaron ecuaciones alométricas de: PAOT (2010), Jenkins (2003) e IPCC (2006), para obtener las especies que capturan mayor cantidad de carbono. Así mismo se realizaron regresiones lineales de algunas especies en común para los 3 sitios, con la finalidad de obtener el modelo que estime mejor la relación que existe entre el diámetro del árbol y su biomasa para la captura de carbono. En el cálculo del diámetro normal (DN) se empleó la siguiente fórmula:

$$DN = CN/\pi$$



Donde: DN= diámetro normal; CN= circunferencia normal (medida en campo)  
y  $\pi$  que es una constante.

### Modelo de PAOT (2010)

En la estimación de carbono a través del modelo de PAOT se emplearon ecuaciones de biomasa y volumen dependiendo de la especie considerada, las cuales tiene como variable independiente el diámetro normal (cm) y variable dependiente el carbono (Kg). Para las ecuaciones de biomasa y volumen, se consideró un factor multiplicativo de 0.5 para convertir de biomasa a carbono; en las ecuaciones de volumen se incluyen un factor de expansión para incluir el follaje (1.1 coníferas y 1.2 latifoliadas) y finalmente la densidad de madera de acuerdo a la especie.

Ejemplo de la ecuación de volumen:

$$Callitropsis\ lusitanica = (exp(-9.5382 + 1.74008 * \ln(DN) + 1.04811 * \ln(A))) * 1.1 * 0.7 * 0.5 * 1000$$

Donde: exp= Función exponencial; ln= logaritmo natural base e (2.718282); DN =diámetro normal (cm); A= altura del árbol (m); 1.1=factor de expansión (follaje de coníferas); 0.7= densidad de la madera; 0.5=Conversión de biomasa a carbono; 1000= conversión de g-Kg.

### Modelo de Jenkins (2003)

Las ecuaciones propuestas por Jenkins y colaboradores, se basan en la densidad de maderas por especie y los coeficientes de cada árbol por especie. El modelo logarítmico general aplicado es el siguiente:

$$bm = Exp(\beta_0 + \beta_1 \ln DN)$$



Donde:  $bm$ = biomasa total (kg de peso seco);  $exp$ =función exponencial;  
 $ln$ =logaritmo natural base  $e$  (2.718282);  $DN$ =Diámetro normal (cm).

Los coeficientes de  $\beta_0$  y  $\beta_1$  dependen del tipo de madera de cada árbol (hardwood y softwood). En la obtención de carbono a partir de la biomasa, se multiplica por la densidad de la madera según la especie ( $g/cm^3$ ), estas obtenidas a través de Jenkins (2003), Rodríguez *et al.* (2014) e IPCC (2006); y finalmente un factor de 0.5 para transformar de biomasa a carbono.

#### Modelo de IPCC (2006).

El Panel intergubernamental de cambio climático propuso una ecuación general para el cálculo de carbono:

$$CC = \exp(-2.289 + 2.649 \cdot \ln(DN) - (0.21 \cdot (\ln(DN))^2)) \cdot 0.5$$

Donde:  $CC$ =Carbono capturado (Kg);  $exp$ =función exponencial;  $ln$ =logaritmo natural base  $e$  (2.718282);  $DN$ =Diámetro normal (cm).

#### **Remoción de contaminantes atmosféricos**

Para el cálculo de la remoción de contaminantes atmosféricos ( $O_3$ ,  $CO$ ,  $SO_2$  y  $NO_2$ ) se utilizaron dos métodos:

#### Método de Figueruelo y Dávila (2004).

Con los registros de contaminantes ( $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  y  $CO$ ) obtenidos en campo por parte de la *app* "Aire de la CDMX" y su verificación en la base de datos "Red automática de monitoreo atmosférico"

(<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aKBh%27>), se obtuvo la concentración por contaminantes en IMECAS, los cuales fueron transformados a



partes por millón (ppm o mg/L) a través de las constantes establecidas para cada contaminante que determinó el autor. Posterior a ello se procedió a la aplicación de la siguiente fórmula:

$$F=VD*[C]$$

Donde los valores de VD, corresponden a constantes determinadas por contaminante; F=Flujo del contaminante o remoción del contaminante (mg.cm.s<sup>-1</sup>); VD= velocidad de deposición seca (cm.s<sup>-1</sup>); [C]=Concentración del contaminante (ppm o mg/L).

Método de Nowak (2002).

Para calcular la remoción de contaminantes (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO) por especie se utilizaron los registros del tamaño del diámetro normal, los cuales fueron transformados a pulgadas para fines del procedimiento, posterior a ello se realizó la agrupación de cada árbol por categoría diamétrica; estas categorías fueron tomadas respecto al autor (Cuadro 4) finalmente obtenidas fueron transformadas a Kg.

**Cuadro 4.** Remoción de la contaminación por categoría diamétrica

<u>DN (in)</u>	<u>Elim. Contaminación (lb/año)</u>
0-3	0.07
3-6	0.3833
6-9	0.626
9-12	0.8
12-15	1.266
15-18	1.73
18-21	2.2
21-24	2.134



<u>DN (in)</u>	<u>Elim. Contaminación (lb/año)</u>
24-27	2.068
27-30	2
30-33	2.825
33-36	3.65
36-39	4.475
39+	5.3

### Producción de Oxígeno (O<sub>2</sub>)

La producción de oxígeno se evaluó conforme a lo establecido por Nowak (2007), donde la cantidad neta de oxígeno producido se estima a partir de la cantidad de carbono que el árbol secuestra anualmente. Para su estimación, se calculó primero el volumen fustal del árbol, donde el tronco se consideró como un cilindro, esto a partir de la circunferencia normal y la altura fustal:

$$V_{fustal} = \pi \cdot r^2 \cdot H \cdot 1000$$

Donde: V fustal= vol. fustal del tronco (l);  $\pi$ =valor de una constante (3.1416);  $r^2$ = radio de la circunferencia del árbol elevado al cuadrado (m<sup>2</sup>); H=altura del fuste (m); 1000= conversión de m<sup>3</sup> a litro

A partir del volumen fustal calculado, se aplicó la fórmula de la producción neta de oxígeno anual, considerando que el tronco es donde se encuentra el carbono secuestrado:

$$O_2 = V_{fustal} \cdot 32 / 12$$

Donde: O<sub>2</sub>= cantidad de oxígeno producido (l/año); V fustal= volumen fustal del tronco (l); 32= peso molecular del oxígeno diatómico; 12= factor que indica la anualidad (12 meses).



## Almacenaje y transpiración de agua (H<sub>2</sub>O)

El almacenaje y la transpiración de agua fueron calculados a partir de la relación tomada de Smalión (2000), esto a partir del volumen fustal estimado anteriormente:

$$H_2O \text{ alm} = 60 * v \text{ fustal} / 100$$

Donde: H<sub>2</sub>O alm= Cantidad de agua almacenada en el tronco (l); 60= porcentaje de agua que se almacena en el tronco (%); v fustal= volumen fustal del tronco (l); 100= porcentaje total del agua (%)

Para la transpiración se consideró que a partir del 60% de agua que es almacenada en el tronco, el 5% de esta es devuelta a la atmósfera, por lo que se aplicó el siguiente cálculo:

$$H_2O \text{ transp} = H_2O \text{ alm} * 5 / 60$$

Donde: H<sub>2</sub>O transp= cantidad de agua transpirada (l); H<sub>2</sub>O alm= cantidad de agua almacenada (l); 5= porcentaje de agua transpirada (%); 60= porcentaje de agua almacenada (%).



## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1. Especies arbóreas en los Bosques de la CDMX

Se identificó un total de 38 especies arbóreas en cerca de 1 ha de superficie por cada bosque, de ellas, 25 están en Chapultepec, 22 en Tlalpan y 23 en San Juan de Aragón, siendo 12 las especies en común (cuadro 5).

La norma ambiental para la ciudad de México (NADF-006-RNAT-2016) hace referencia de 178 especies arbóreas cuyo fin es el de mejorar las áreas verdes de la Ciudad de México. Al comparar las especies de la norma con respecto a las plantadas en Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón, se determinó que el 21.34% corresponden a las citadas y se encuentran plantadas. Así de las 38 especies plantadas, el 68.4% corresponden a especies perennes y el resto (31.6%) a caducifolias, situación relevante porque durante el periodo de dormancia la producción de oxígeno, transpiración y remoción de carbono y contaminantes menores PM<sub>10</sub>, se reduce en su conjunto (SE) en un casi 30 % del total de arbóreo.

**Cuadro 5.** Especies registradas en los bosques urbanos de la CDMX

Especie	Tlalpan	Chapultepec	Aragón
<i>Acacia baileyana</i>			✓
<i>Acacia melanoxylon</i>			✓
<i>Acacia retinodes</i>	✓	✓	✓
<i>Alnus acuminata</i>	✓	✓	
<i>Buddleja cordata</i>	✓		
<i>Callistemon citrinus</i>	✓		
<i>Callitropsis lusitanica</i>	✓	✓	✓
<i>Callitropsis macrocarpa</i>		✓	✓
<i>Casuarina equisetifolia</i>	✓	✓	✓
<i>Ceiba pentadra</i>		✓	
<i>Cupressus sempervirens</i>	✓	✓	✓
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	✓	✓	✓





Especie	Tlalpan	Chapultepec	Aragón
<i>Ficus benjamina</i>	✓	✓	✓
<i>Fraxinus excelsior</i>		✓	
<i>Fraxinus uhdei</i>	✓	✓	✓
<i>Garrya laurifolia</i>			✓
<i>Grevillea robusta</i>			✓
<i>Jacaranda mimmosifolia</i>	✓	✓	✓
<i>Ligustrum japonicum</i>		✓	✓
<i>Ligustrum lucidum</i>	✓	✓	✓
<i>Phytolacca dioica</i>		✓	
<i>Pinus ayacahuite</i>	✓	✓	
<i>Pinus cembroides</i>	✓		
<i>Pinus leiophylla</i>			✓
<i>Pinus montezumae</i>		✓	
<i>Pinus patula</i>	✓		
<i>Prunus lusitanica</i>	✓		
<i>Prunus persica</i>	✓		
<i>Phoenix canariensis</i>	✓	✓	✓
<i>Quercus rugosa</i>	✓	✓	
<i>Quercus laurina</i>	✓		
<i>Robinia pseudoacacia</i>		✓	
<i>Schinus molle</i>		✓	✓
<i>Schinus terebenthifolius</i>		✓	✓
<i>Taxodium mucronatum</i>		✓	✓
<i>Ulmus parvifolia</i>	✓	✓	✓
<i>Washingtonia robusta</i>			✓
<i>Yucca gigantea</i>	✓	✓	✓

Clave: azul representa especies en común de los bosques.

## 9.2. Lista de Especies arbóreas presentes en los Bosques de la CDMX

A continuación se ilustra cada una de las especies registradas en los bosques, con su respectivo aporte de Servicios ecosistémicos evaluados en este trabajo, además, se incluyó fenología, longevidad y tasa de crecimiento. En el **Apéndice I** se muestra la simbología empleada en las especies de listado y la escala de servicios ecosistémicos.

## Acacia baileyana (Mimosa dorada)



### Perfil



3-10 m



Perennifolio



Bipinnada, alterna



junio-septiembre



octubre-enero



10-20 años



Rápido



Mala



Mala



Mala



SJA

## Acacia melanoxylon (Acacia negra)



*Acacia melanoxylon*. Tomada del jardín botánico de Misuri. <http://www.tropicos.org/Image/100230807>

### Perfil



10-15 m

Perennifolio

Bipinnada cuando joven, elíptica, alterna

marzo-mayo

Verano

30 años

Rápido

Mala

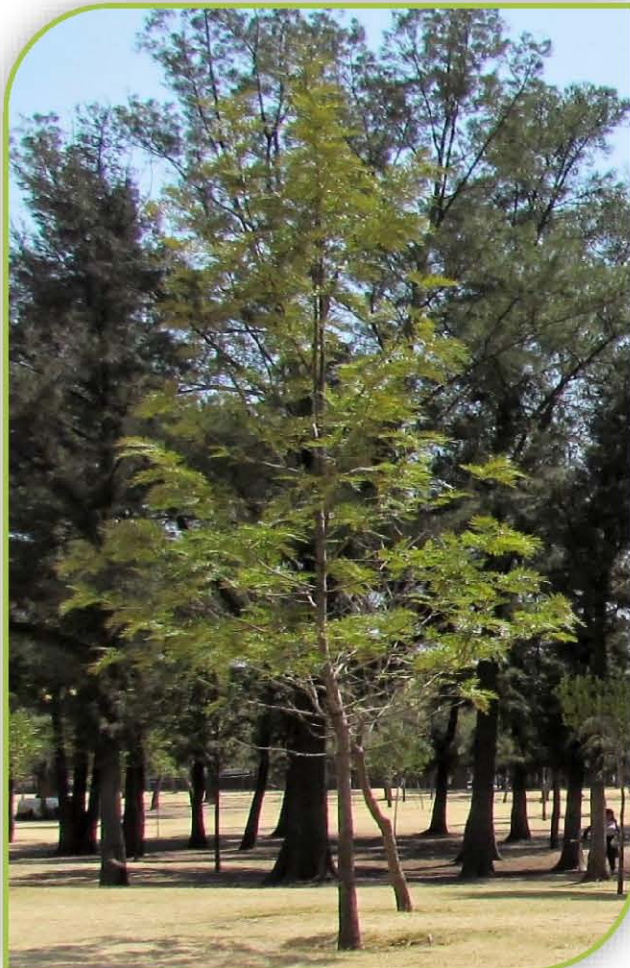
Mala

Mala

Resistencia media

SJA.

## Acacia retinodes (Acacia plateada)



### Perfil



7-20 m.

Perennifolio

Bipinnada cuando joven, elíptica, alternas

junio-septiembre

junio-octubre

30 años

Rápido

Media

Excelente

Excelente

Resistencia media-alta

Ch, TI y SJA

## *Alnus acuminata* (Aliso, aile o abedul)



### Perfil



Hasta 25m.

Subcaducifolio

Elípticas, oblongas u ovadas, alternas

febrero-abril

junio-diciembre

Hasta 60 años

Rápido



Tolerancia media



Ch y TL.

## *Buddleja cordata* (Tepozán)



### Perfil



Hasta 10 m.



Caducifolio



Ovada, opuestas



Agosto-marzo



octubre-mayo



Hasta 25 años



Rápido



Resistencia media-muy alta



TL.

## Callistemon citrinus (Árbol cepillo)



### Perfil



3-4 m.

Perennifolio

Oblongo lanceolares, alternas

Primavera-Verano



## *Callitropsis lusitanica* (Cedro blanco)



*Callitropsis lusitanica* (Autora)



*Callitropsis lusitanica*. Tomada del jardín botánico de Misuri.  
<http://www.tropicos.org/Image/100171815>

### Perfil



Hasta 40 m.

Perennifolio

Escuamiformes

septiembre-octubre

octubre-enero

60 años

Rápido

Media

Media

Media

Resistencia alta

Ch, TI y SJA



## *Callitropsis macrocarpa* (Cedro limón)



### Perfil



25 m.

Perennifolio

Escuamiformes

Finales de invierno

Otoño (20 meses)

200+ años

Moderado

Media

Media

Buena

Resistencia media-tolerancia alta

Ch, TI y SJA

## Casuarina equisetifolia (Casuarina o falso pino)



*Casuarina equisetifolia* (Autora).



Frutos de *Casuarina equisetifolia*. Tomada del jardín botánico de Misuri.  
<http://www.tropicos.org/Image/100542442>

### Perfil



9-35 m.

Perennifolio

Aciculares, alternas

abril-junio

septiembre-diciembre

30-40 años

Rápido

Buena

Media

Buena

Resistencia media-alta

Ch, TI y SJA.

## Ceiba pentadra (Ceiba o pochote)



A y D: Autora

B Y C: Tomadas del jardín botánico de Misuri:

<http://www.tropicos.org/Name/3900422?tab=images>



### Perfil



40-60 m.

Caducifolio

Palmaticompuestas, alternas

Diciembre- marzo (No anuales)

abril-junio



Rápido



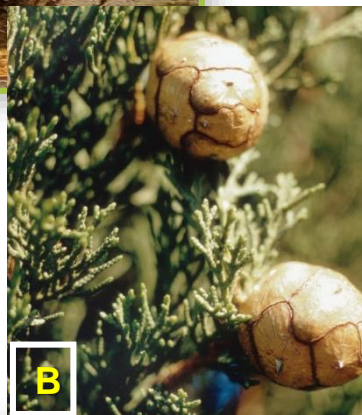
Ch.

## *Cupressus sempervirens* (Ciprés del mediterráneo)



A

A: Autora  
B y C: Tomadas del  
jardín botánico de  
Misuri:  
<http://www.tropicos.org/Name/9400073?tab=images>



B



C

### Perfil



Hasta 30 m.

Perennifolio

Escuamiformes

Finales de invierno

abril-junio

500-1000 años

Moderado

Media

Mala

Media

Resistencia media-alta

Ch, TI y SJA

## *Eucalyptus camaldulensis* (Eucalipto rojo)



### Perfil



24-40 m.

Perennifolio

Lanceoladas, alternas

abril-junio

50 años

Rápido

Excelente

Excelente

Excelente

Resistencia-muy alta

Ch, TI y SJA

## *Ficus benjamina* (Laurel de la india o amate)



Frutos de *Ficus benjamina*. Tomada del jardín botánico de Misuri:

<http://www.tropicos.org/Image/50116>

### Perfil



Hasta 20 m.

Perennifolio

Ovadas, elípticas u oblongas



Verano



Rápido



Buena



Media



Buena

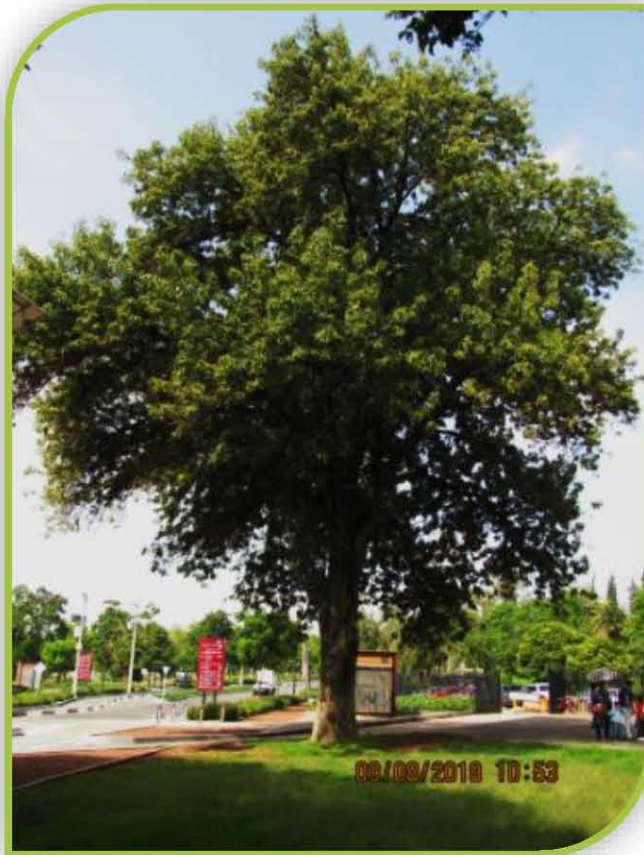


Resistencia muy alta



Ch, TI y SJA

## *Fraxinus uhdei* (Fresno)



### Perfil



Hasta 30 m

Caducifolio

Pinnadas, opuestas

marzo-mayo

julio-septiembre

80-100 años

Rápido

Media

Media

Media

Resistencia alta

Ch, TI y SJA

## *Grevillea robusta* (Grevilia)



### Perfil



12-30 m



Caducifolio



Pinnada o bipinnada,  
alterna



mayo-agosto



septiembre-octubre



50 años



Rápido



Mala-media



Mala



Mala



Resistencia alta



SJA



## *Jacaranda mimosifolia* (Jacaranda)



### Perfil



12-15 m

Caducifolio

Bipinnadas, opuestas

Primavera-verano

Verano-otoño

40-50 años

Rápido

Buena

Media

Media

Resistencia media-alta


Ch. TI y SJA

## *Ligustrum japonicum* (Trueno japonés)




### Perfil




 8-10 m

 Perennifolia

 ovado-elípticas,  
opuestas

 Primavera-Verano

 Septiembre-Octubre



 Media

 Media

 Media

 Resistencia muy alta

 Ch, SJA.

## *Ligustrum lucidum* (Trueno)



### Perfil



8 m.

Perennifolia

Ovada u oblongo-elíptica, opuestas

mayo-julio

septiembre-diciembre

40 años

Rápido

Media

Media

Media

Resistencia-muy alta

Ch, TI y SJA

## *Phytolacca dioica* (Ombú o bella sombra)



### Perfil



7-10 m.



Subcaducifolio



ovales-elípticas y alternas



Primavera-verano



Otoño



200+ años



Resistencia muy alta



Ch.

## *Pinus ayacahuite* (Pino blanco mexicano)



### Perfil



35-40 m.

Perennifolio

Aciculares

marzo-mayo

septiembre-octubre

100 años

Moderado

Excelente

Excelente

Excelente

Tolerancia media

TL

## *Pinus cembroides* (Pino piñonero)



### Perfil



Hasta 15 m.

Perennifolio

Aciculares

marzo-abril

noviembre-diciembre  
(5-6 años)

200-400 años



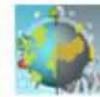
Excelente



Excelente



Excelente



Resistencia media-alta



TI

## *Pinus leiophylla* (Pino u ocote chino)



Acículas y cono de *Pinus leiophylla*. Tomada del jardín botánico de Misuri: <http://www.tropicos.org/image/100157894>

### Perfil



↕ 20-30 m.

Perennifolio

Aciculares

marzo-abril



SJA.

## *Pinus montezumae* (ocote o chamaite)



Acículas de *Pinus montezumae*. Tomada del jardín botánico de Misuri:

<http://www.tropicos.org/image/100157899>

### Perfil



25-30 m.

Perennifolio

Aciculares

febrero-abril

abril-junio (3-5 años)



Tolerancia media



Tl y Ch



## *Pinus patula* (Pino llorón)



### Perfil



30-35 m.

Perennifolio

Aciculares

enero-abril

Finales del sig. Año  
(24 meses)

Hasta 300 años

Rápido

Excelente

Excelente

Excelente

Susceptible

Ch y SJA.

## *Prunus persica* (Durazno)



### Perfil



Hasta 10 m.

Caducifolio

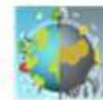
Oblongas-lanceoladas, alternas

enero-febrero

Mayo y Junio

Menores a 30 años

Rápido



Resistencia alta



Tl.

## *Phoenix canariensis* (Palma canaria)



Frutos de *Phoenix canariensis*. Tomada del jardín botánico de Misuri: <http://www.tropicos.org/Image/17385>

### Perfil



30 m.

Perennifolio

Pinnadas



300 años



Rápido en condiciones de riego asistido.

Excelente

Excelente

Excelente

Resistencia muy alta



Ch, Tl y SJA

## *Quercus laurina* (Encino laurelillo)



### Perfil



Hasta 40m.



Subcaducifolio



Elíptica-oblanceolada a lanceolada, alternas



Finales de febrero-abril



junio-diciembre (bianaual)



Lento



Resistencia media



TI

## Quercus rugosa (Encino blanco)



### Perfil



10-20 m.

Caducifolio

Ovada o elíptico obovada, alternas

marzo-Junio

octubre-febrero

100-150 años

Lento

Media

Mala

Media

Resistencia alta

Ch y Tl.

## *Robinia pseudoacacia* (Acacia falsa o acacia blanca)



A y C: Autora  
B y D: Tomadas del jardín botánico de Misuri:  
<http://www.tropicos.org/Name/13032749?tab=images>

### Perfil



Hasta 25 m.

Caducifolio

Pinnadas, alternas

marzo-abril

mayo-junio  
(Permanecen todo el año)

200-300 años

Rápido



Resistencia media



Ch.

## Schinus molle (Pirúl)



### Perfil



Hasta 15 m.

Perennifolio

Pinnadas, alternas

Primavera-verano

Otoño, permanece hasta invierno

100+ años

Rápido

Excelente

Buena

Buena

Tolerancia alta

Ch TI y SJA

## *Schinus terebinthifolia* (Pimentero brasileño)



### Perfil



Hasta 10 m.



Perennifolio



Pinnadas, alternas



marzo-septiembre



Julio y enero



Hasta 100 años



Rápido



Media



Media



Media



Tolerancia media



Ch y SJA.



## *Taxodium mucronatum* (Ahuehuete)



### Perfil



Hasta 40 m.

Subcaducifolio

Escuamiformes

julio-agosto

Agosto y septiembre  
(los mantienen todo el año)

1000+ años

Moderado



Tolerancia muy alta



Ch y SJA

## *Ulmus parvifolia* (Olmo chino)



### Perfil



15 m.

Caducifolio

Ovadas, alternas

agosto-septiembre

septiembre-octubre

40 años

Rápido

Media

Media

Media

Resistencia muy alta

Ch, Tl y SJA

## Washingtonia robusta (Palma de california)



Fuste o estípite de *Washingtonia robusta*. Tomada del jardín botánico de Misuri:

<http://www.tropicos.org/Image/100122432>

### Perfil



9-15 m.

Perennifolio

Palmaticompuestas

mayo-junio

Otoño

100 años



Tolerancia media



SJA.

## *Yucca gigantea* o *guatemalensis* (Yucca o Izote)



### Perfil



Hasta 10m.

Perennifolio

Linear-lanceolada,  
linear-oblancoada en  
roseta



100 años



Media



Mala



Media



Tolerancia media

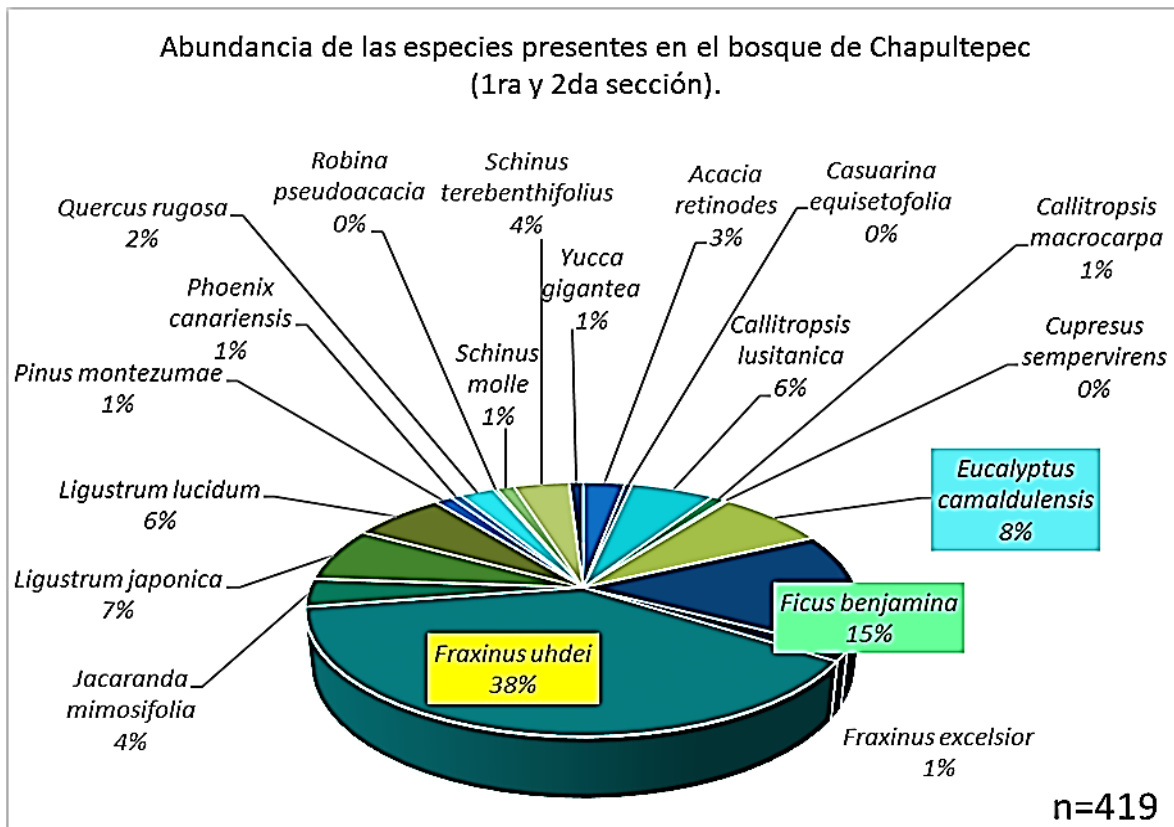


Ch, TI y SJA.

### 9.3. Estructura de las especies arbóreas en los bosques de la CDMX

#### Composición y tamaño de las especies para el bosque de Chapultepec

Se muestrearon 419 árboles, conformando 19 especies (Figura 2) en donde *Fraxinus udhei* fue la más abundante (38%), de manera decreciente, le continúa *Ficus benamina* (15%) y por último *Eucalyptus camaldulensis* (8%).



**Figura 2.** Abundancia de las especies presentes en el bosque de Chapultepec

En la composición vegetal observada del bosque (Figura 3) se registró a *Jacaranda mimosifolia* y *Ligustrum lucidum* las cuales se encuentran plantadas masivamente en algunas áreas de la primera sección, cercano al castillo, y cuyas alturas no son superiores a los 10 m; se encuentran combinadas con especies “nativas” como los *Taxodium mucronatum*. Está presente *Ulmus parvifolia*, *Pinus*

spp y *Callitropsis lusitanica* las cuales se encuentran distribuidos en espacios como el zoológico y sus zonas aledañas.



**Figura 3.** Composición de las especies en el bosque de Chapultepec; dominio y alta densidad de *Fraxinus uhdei* y *Ligustrum lucidum* (26 a 100 años)

La consecuencia de tener estas plantaciones masivas provoca espaciamiento inadecuado, lo que a su vez ocasiona competencia por la luz y supresión del crecimiento.

El promedio del diámetro normal (DN) de las especies fue de 27 cm y de la palma *Phoenix canariensis* fue el mayor en (> 70 cm).

Respecto a las alturas (h) el promedio fue de 10 m (Figura 4) y *Acacia retinodes* registró

las mayores alturas (+25 m).

Respecto al porcentaje de

cobertura de copas el mayor correspondió para *Eucalyptus camaldulensis* (14%), (Figura 5). El manejo de las áreas con las especies tiene que proyectarse al tiempo de longevidad de las especies y a la fenología.

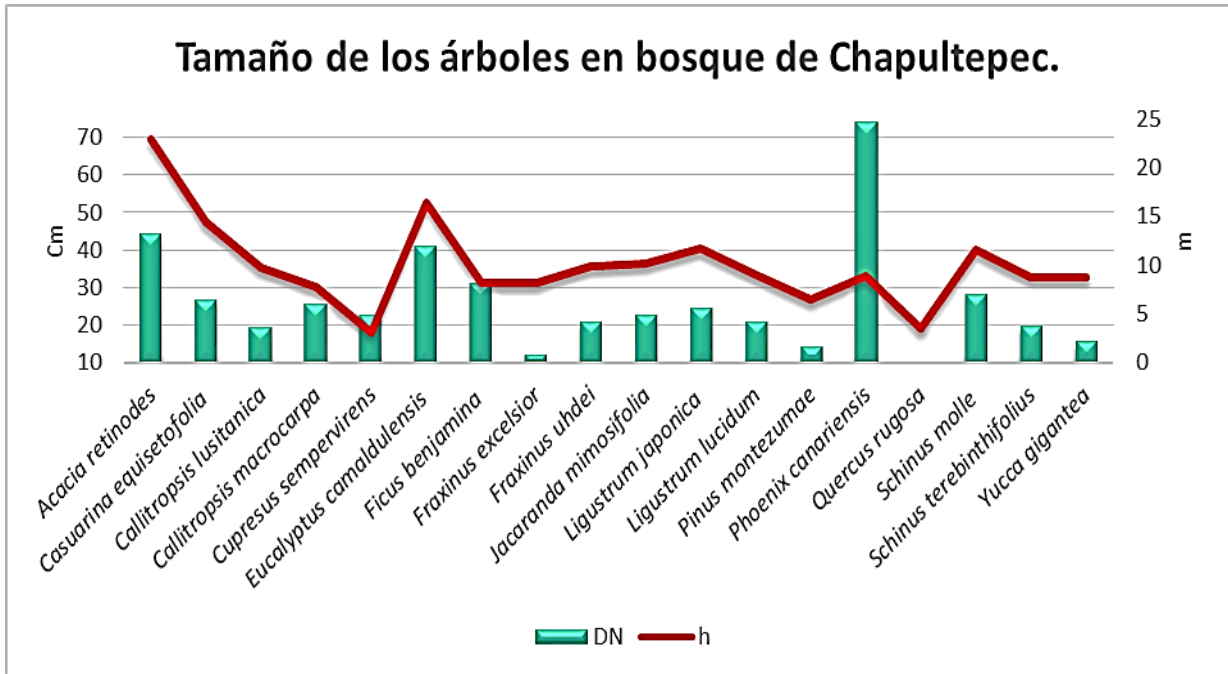


Figura 4. Tamaño de los árboles en bosque de Chapultepec

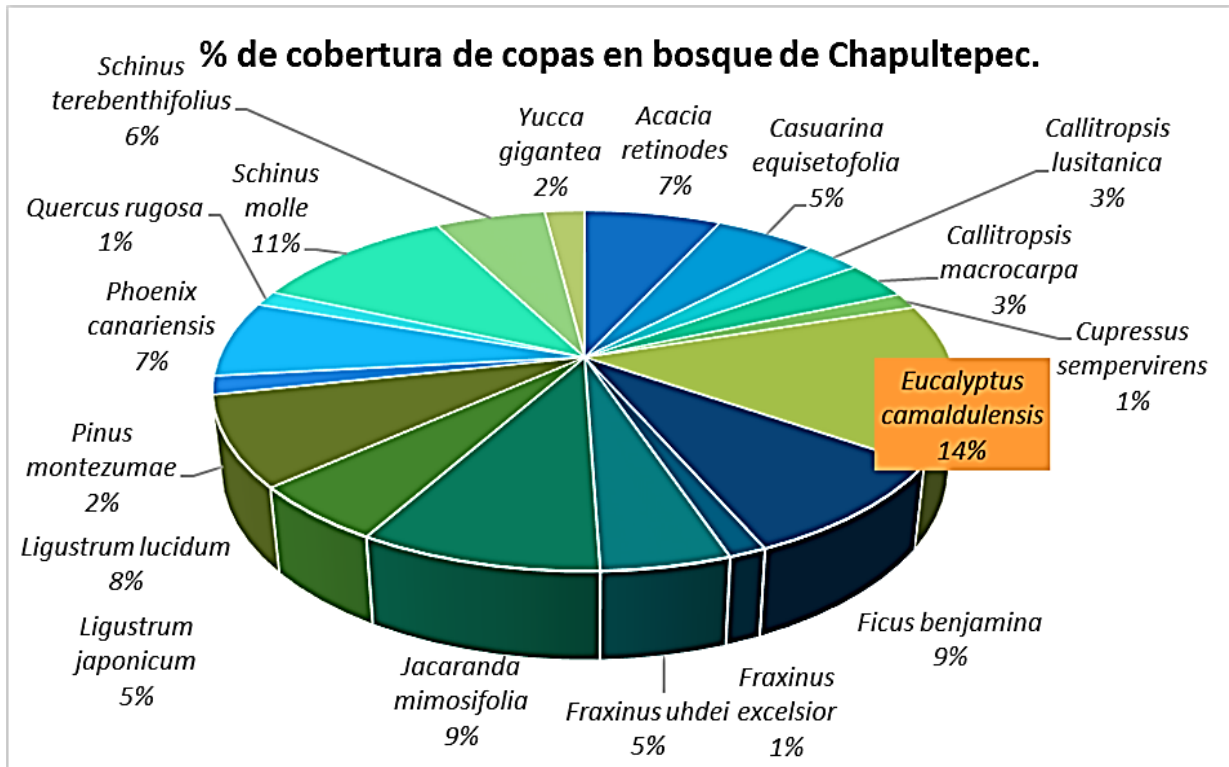
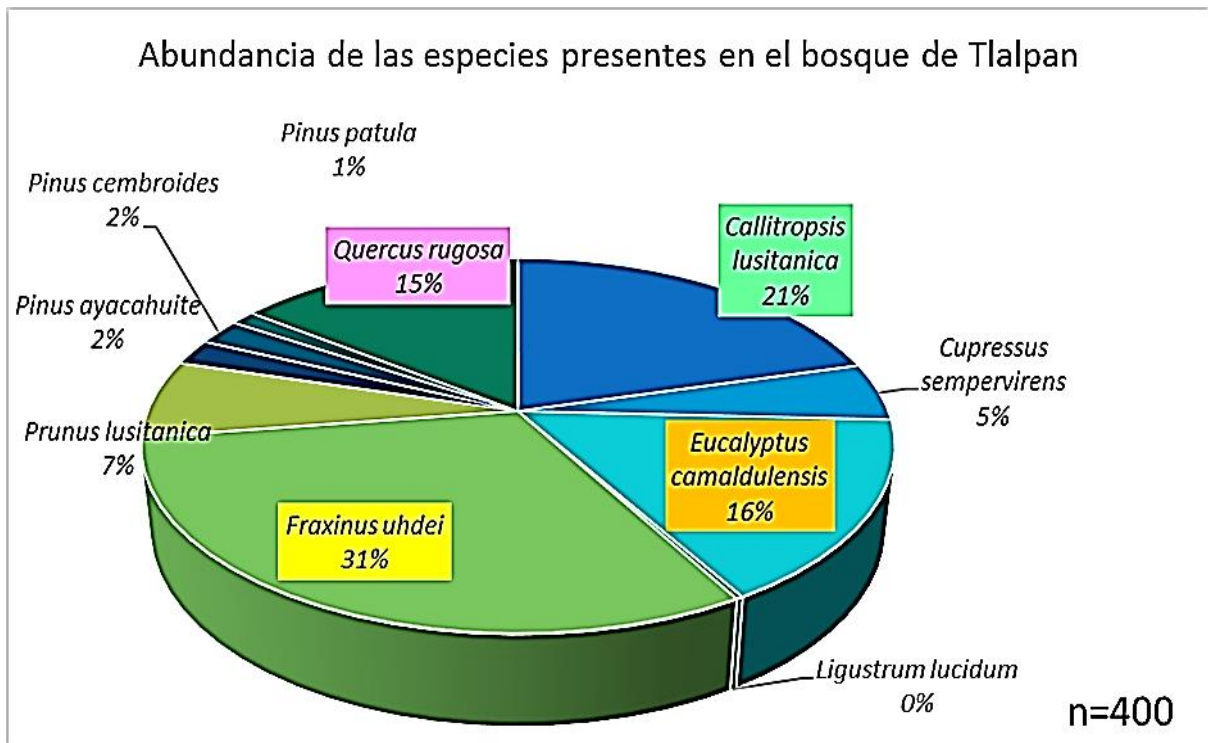


Figura 5. Porcentaje de cobertura de copas para bosque de Chapultepec

### Composición y tamaño de las especies para el bosque de Tlalpan

Se registraron 400 árboles agrupados en 10 especies (Figura 6), donde las más abundante fue *Fraxinus uhdei* (31%) de manera decreciente, le sigue *Callitropsis lusitanica* (21%), *Eucalyptus camaldulensis* (16%) y *Quercus rugosa* (15%).



**Figura 6.** Abundancia de las especies presentes en el bosque de Tlalpan

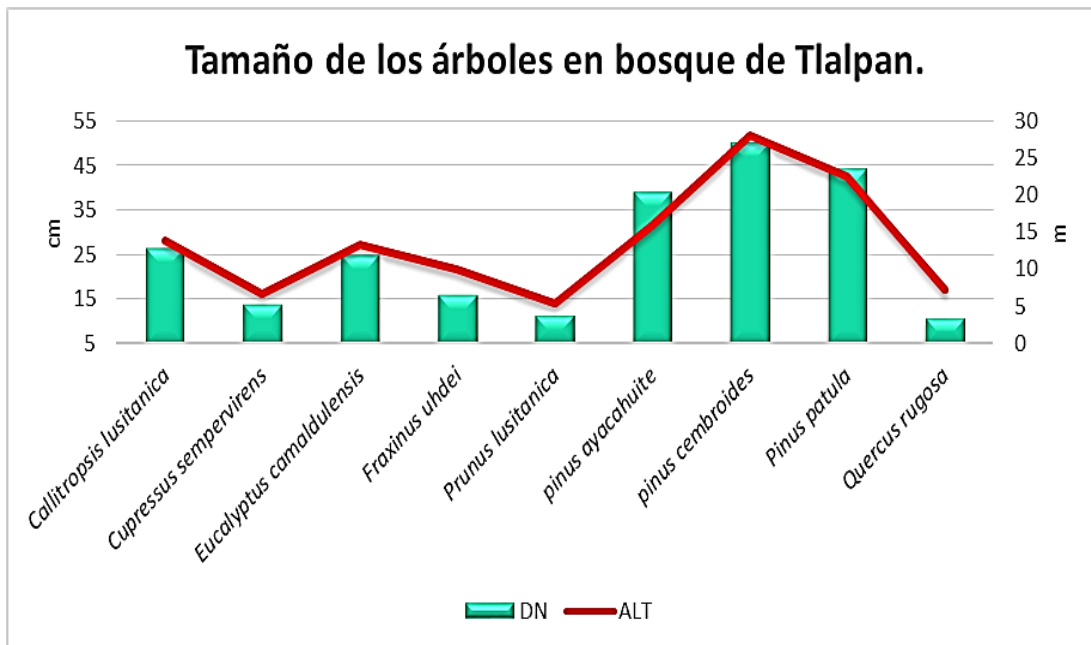
En algunos sitios del bosque se registró la composición vegetal (Figura 7), la dominancia de *Eucalyptus camaldulensis* (abundancia relativa, tamaños y copas), lo cual no es un beneficio para la vegetación restante, ya que especies que crecen por debajo de la copa no crecen, debido a que las hojas excretan sustancias alelopática y son nocivos para otras especies. Por la competencia de luz y/o nutrientes (Poore y Fries, 1985), sin embargo se ve favorecido el crecimiento de pastos.





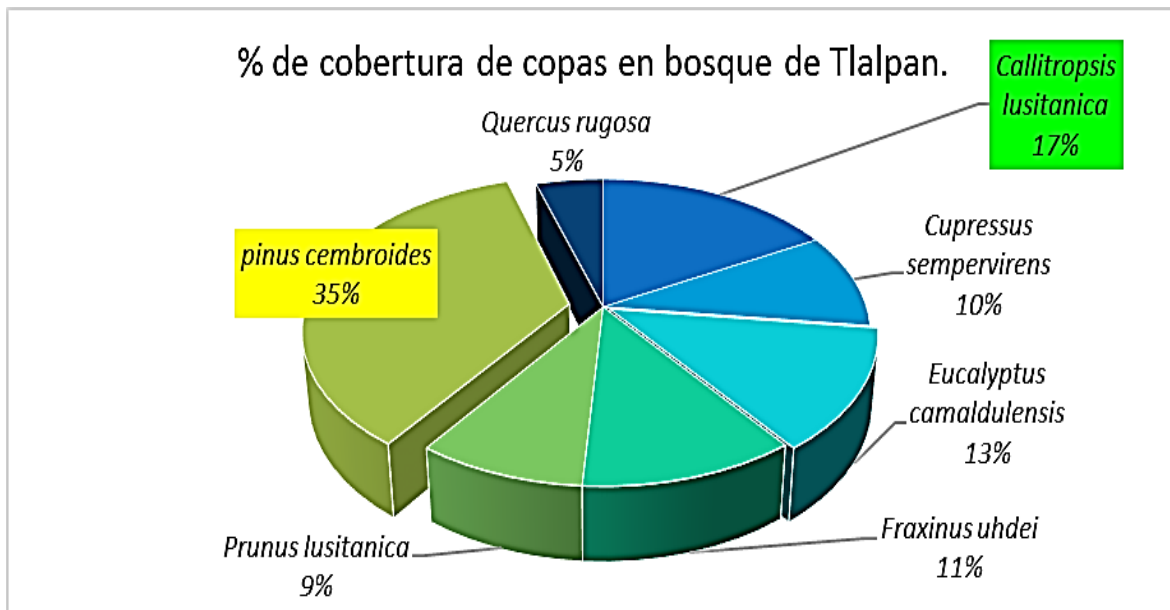
**Figura 7.** Dominancia de los eucaliptos en el bosque de Tlalpan

Se determinó que los tamaños de las especies son en promedio para el diámetro normal (DN) de 26 cm; se encontró a los pinos (*Pinus ayacahuite*, *cembroides* y *patula*) con el mayor tamaño (+35 cm), lo mismo que para el caso de las alturas (h) (+20 m) (Figura 8).



**Figura 8.** Tamaño de los árboles en bosque de Tlalpan

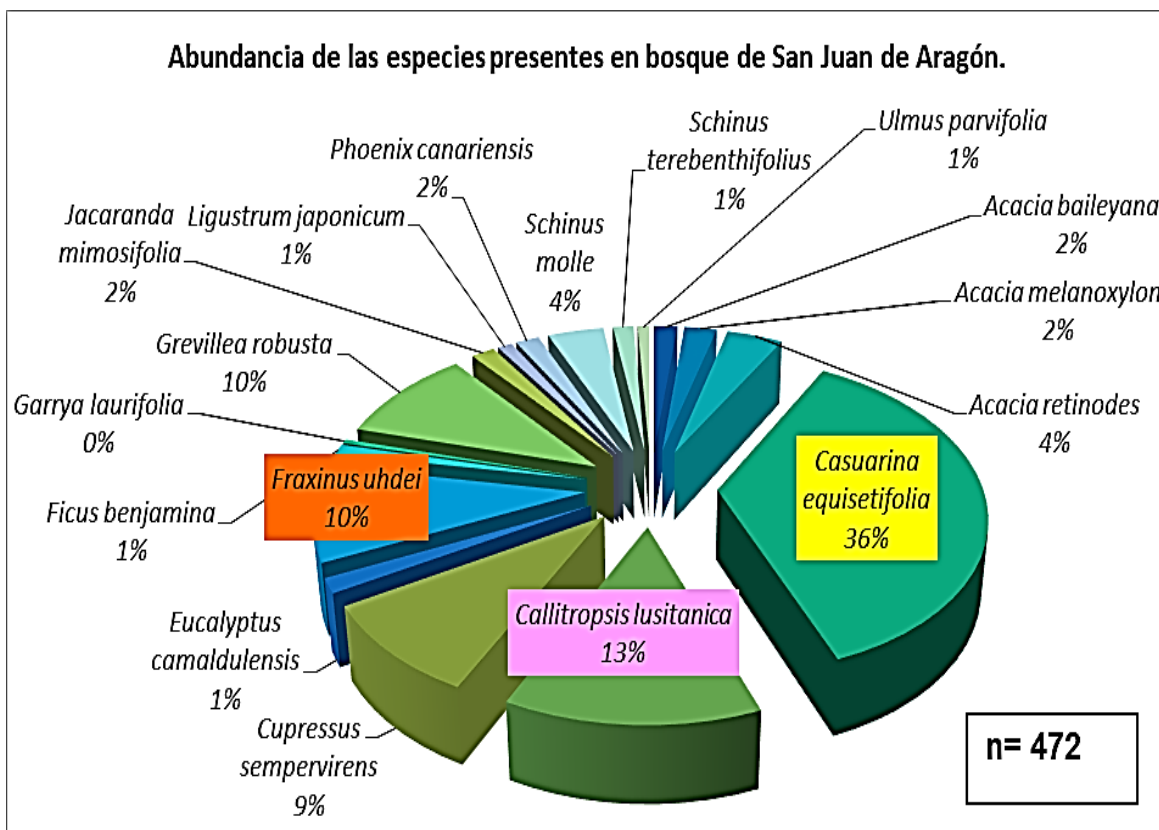
Las especies que obtuvieron mayor porcentaje en coberturas de copa son *Pinus cembroides* (35%), seguido de *Callitropsis lusitanica* (17%) (Figura 9), sin embargo es necesario aclarar que no se registraron datos de cobertura en algunas especies de pino (*P. patula* y *P. ayacahuite*).



**Figura 9** .Porcentaje de cobertura de copas para bosque de Tlalpan

### Composición y tamaño de las especies para el bosque de San Juan de Aragón

En San Juan de Aragón se determinó la mayor cantidad de árboles (472), agrupados en 17 especies, donde se determinó que *Casuarina equisetifolia* (Figura 10) es la más abundante (36%) seguido de *Callitropsis lusitanica* (13%) y *Fraxinus uhdei* (10%). Se observó que la composición vegetal está dominada por *Casuarina equisetifolia* (Figura 11), la cual es considerada por García y colaboradores (1999) como una especie exótica e invasora.



**Figura 10.** Abundancia de las especies presentes en el bosque de San Juan de Aragón



**Figura 11.** Plantación intensiva de *Casuarina equisetifolia*

Está presente en menor número de ejemplares la palma (*Phoenix canariensis*) (Figura 12), cuya importancia radica en su amplia cobertura de copa. En los tamaños de las especies el promedio para el diámetro normal (DN) de 20 cm, lo que indica que predominan árboles jóvenes, y destaca que el DN es mayor a 85 cm para *P. canariensis*.



**Figura 12.** Plantación de *Phoenix canariensis*

En relación a los DN y las alturas (Figura 13) registradas en el bosque de SJA se determinó que los mayores (45 cm) corresponden a los arboles de *Eucalyptus camaldulensis*, seguido de *Casuarina equisetifolia* y *Schinus molle*. Para el resto de las especies los diámetros oscilaron entre (5-25 cm). Respecto a las alturas (Figura 13) las mayores correspondieron al eucalipto (*E. camaldulensis*), la casuarina (*C.*

*equisetifolia*) y la palma (*P. canariensis*), con 14 m, 13m y 10m, respectivamente, el resto de las especies oscilaron entre los 4 m y menos de 10m.

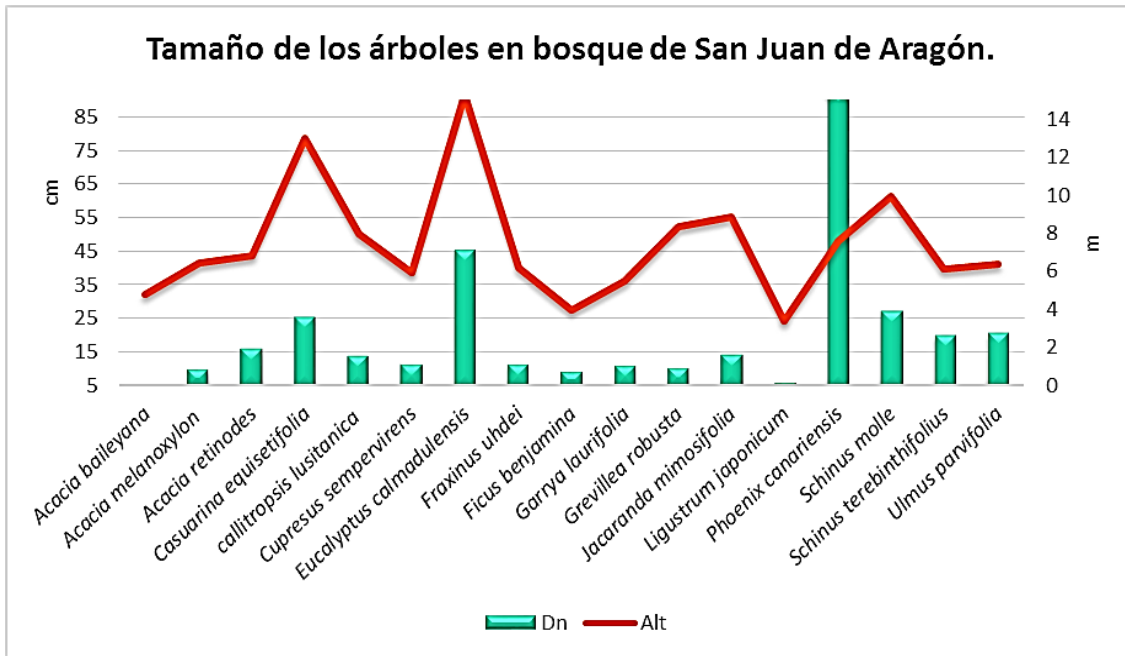
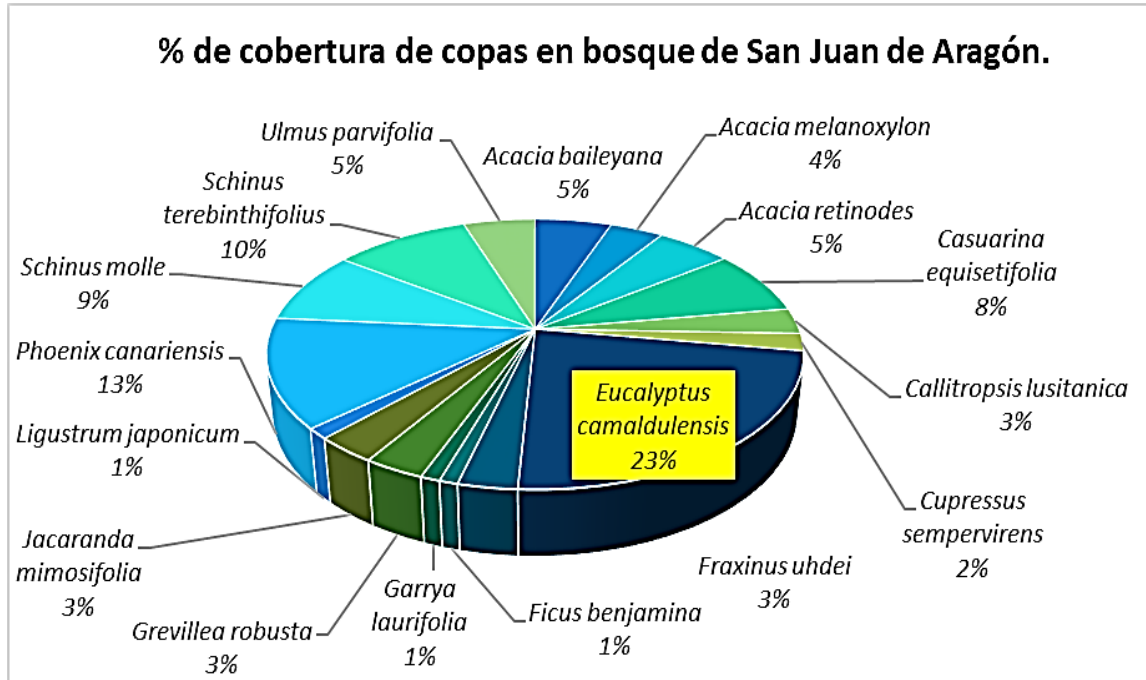


Figura 13 Tamaño de los árboles en bosque San Juan de Aragón

Así el *Ligustrum* (*L. lucidum* y *L. japonicum*) es una especie que soporta la sombra y también la luz directa por lo que soporta estar debajo de especies dominantes, sin embargo, la exposición al sol, temperatura, textura del suelo, y época del año, en conjunto se equilibran su crecimiento, resistiendo la humedad constante.

La especie que presento mayor cobertura de copa fue *Eucalyptus camaldulensis*, (Figura 14) lo cual se le atribuye a su gran tamaño (Pinazo *et al.*, 2014). Benavides y Fernández (2012) expresaron la necesidad de evaluar el vigor y vitalidad de la copa, por su alta frondosidad, pese a ser susceptible al insecto chupador conchuela (*Glycaspis brimbiacombei* Moore).



**Figura 14.** Porcentaje de cobertura de copas para bosque de San Juan de Aragón

Comparando los resultados, se determinó que el promedio de la densidad para los tres bosques fue de 400 árboles por hectárea, a diferencia de lo descrito por Benavides y Fernández (2012) que para **la segunda sección del bosque de Chapultepec**, registro un promedio de **295 árboles/ha**. Esta situación resulta contraproducente pues al plantarse una cantidad mayor de árboles a la capacidad de soporte del suelo, el espaciamiento radicular influye en el desarrollo de las copas, espacios reducidos limitan el crecimiento como se observó en Chapultepec y Tlalpan.

El número de especies registradas se considera bajo para algunos autores, a diferencia de Leal y colaboradores (2018) quienes registraron 41 especies en Linares, Nuevo León; por su parte, Alanis y colaboradores (2014) reportaron 39 especies para la facultad de ciencias forestales en Nuevo León; Benavides y



Fernández (2012) determinando *41 especies para la 2da sección* del bosque de Chapultepec, sin embargo, estas diferencias pueden responder al tipo de muestreo aplicado, o a la superficie muestreada, se debe considerar que los bosques urbanos periódicamente tienen mantenimiento; de ahí la importancia de elegir especies compatibles y longevas.

A pesar de la diversidad de especies, la mayor cantidad de árboles se concentran en *Fraxinus uhdei*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Callitropsis lusitanica* y *Casuarina equisetifolia*, coincidiendo con las reportadas por Alanis *et al.*, (2014), Hernández *et al.*, (2013), Velasco *et al.*, (2012) y Chacalo y Arriaga (2011).

Se reconoce al género *Fraxinus* como más abundante en las áreas verdes urbanas, coincidiendo con lo descrito por Leal y colaboradores (2018) en Leal, Nuevo León; Hernández, Rojas y Benavides (2013) para el bosque de Chapultepec, CDMX. Chacalo y Arriaga (2011) para UAM Azcapotzalco, Edo. De México; Santa cruz (2008) en Plaza de la Constitución y Plaza Xicoténcatl, Tlaxcala y Zamudio (2001) en Linares, Nuevo León.

## 9.4. Evaluación de los servicios ecosistémicos en los bosques urbanos

### 9.4.1. Estimación de la captura de carbono

#### CAPTURA DE CARBONO EN BOSQUE DE CHAPULTEPEC

La estimación de la captura de carbono (C) aplicando las ecuaciones de PAOT (2010) solo fue para las especies de (*Schinus molle*, *Callitropsis lusitanica* y *macrocarpa*, *Cupressus sempervirens*, *Quercus rugosa*, *Pinus montezumae*, *Acacia retinodes* y *Eucalyptus camaldulensis*) (Figura 15), ya que no cuenta con ecuaciones para todas las especies registradas en los bosques urbanos. En consecuencia se aplicaron modelos generalizados propuestos por la ICPP y Jenkins, cuyos coeficientes se determinaron para grupos biológicos como perennifolias y caducifolias.

Las especies que mayor captura de carbono registraron fueron *Acacia retinodes* (37%), seguida por *Eucalyptus camaldulensis* (34%).

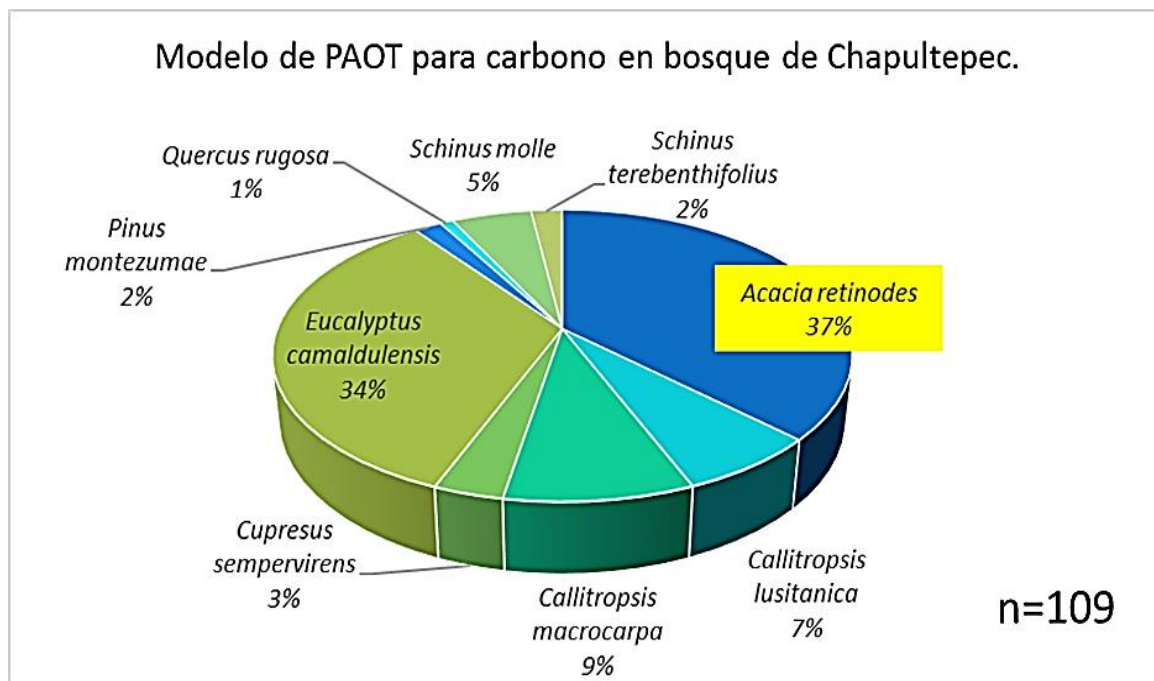


Figura 15. Modelo de PAOT para captura de carbono en bosque de Chapultepec



Con el modelo de Jenkins (2003) aplicado a las especies que se registraron, se determinó la captura de carbono (Figura 16) para *Phoenix canariensis* fue de 42%, seguida de *Schinus molle* (8%).

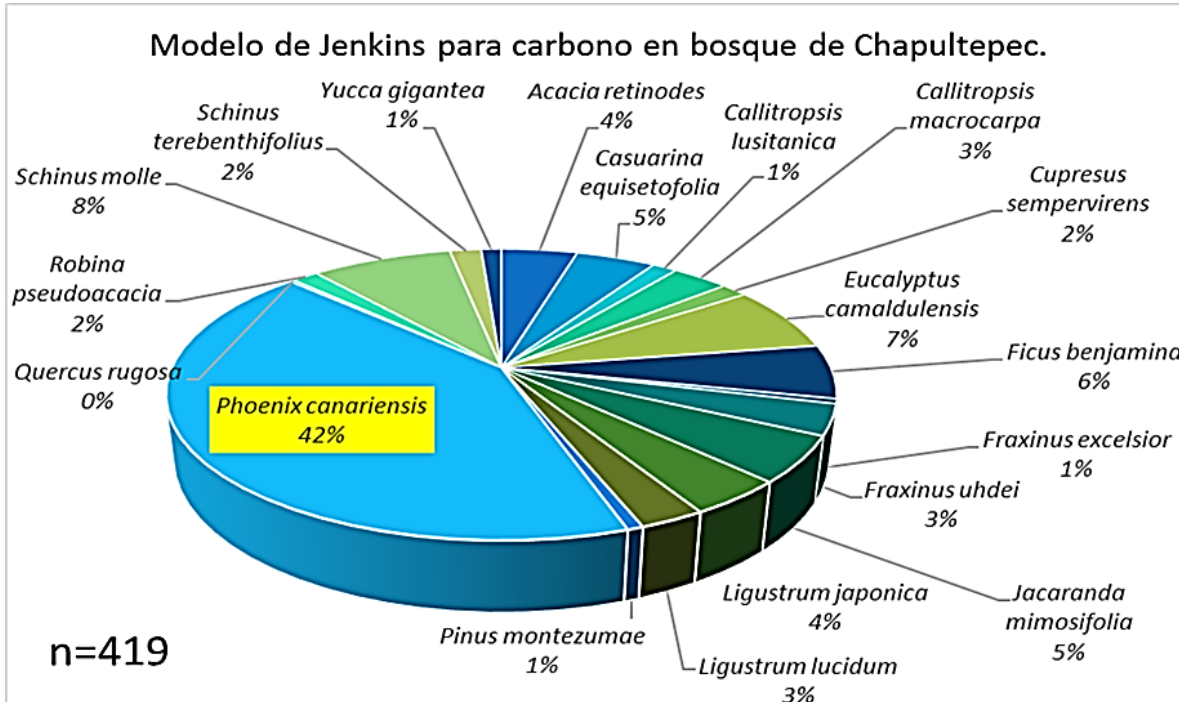


Figura 16. Modelo de Jenkins para captura de carbono en bosque de Chapultepec

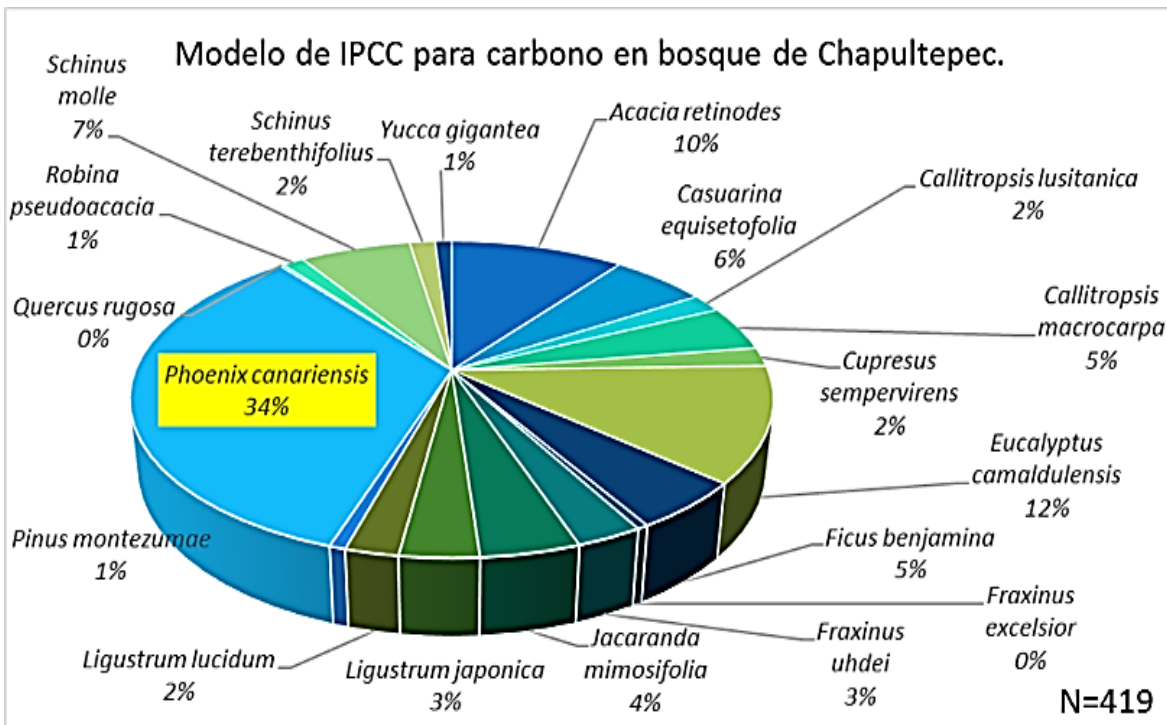
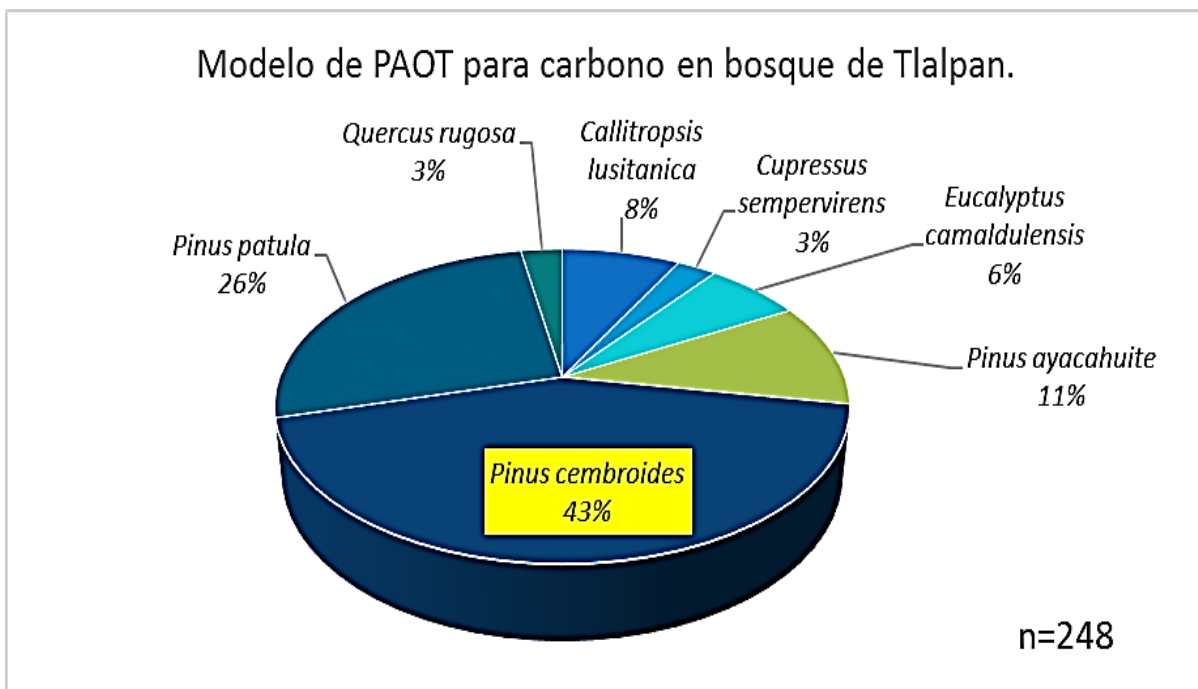


Figura 17. Modelo de IPCC para captura de carbono en bosque de Chapultepec

Finalmente a través de la aplicación del modelo general propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), se obtuvo el carbono capturado por la palma *Phoenix canariensis* (34%) quien registro mayor captación de carbono (Figura 17) y luego *Eucalyptus camaldulensis* (7%).

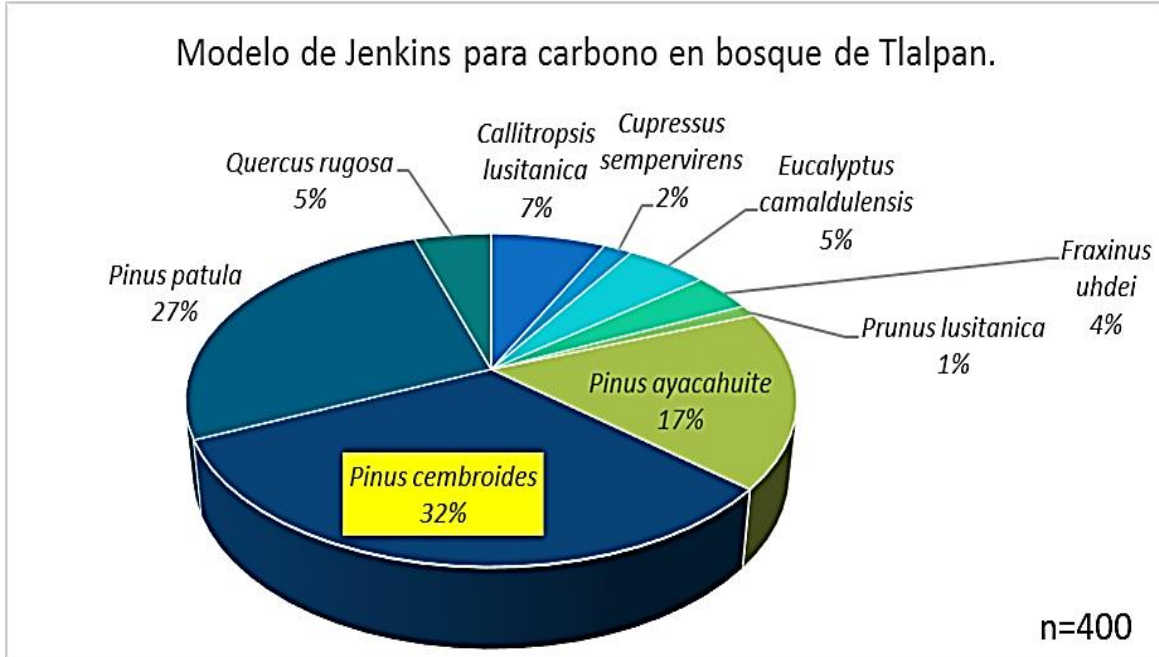
### CAPTURA DE CARBONO EN BOSQUE DE TLALPAN

Se determinó el carbono para 7 especies aplicando las ecuaciones propuestas por la PAOT, de las cuales se encontró a *Pinus cembroides* (43%) con la mayor captación (Figura 18), seguido del *Pinus patula* (26%) y por *P. ayacahuite* (11%).



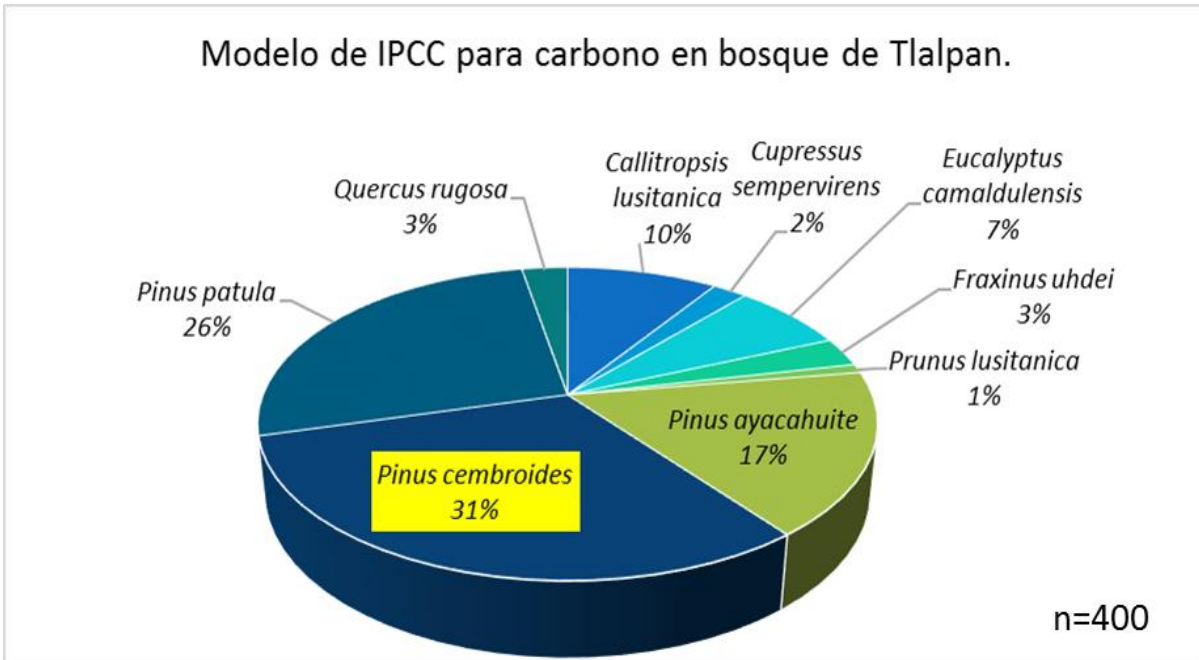
**Figura 18.** Modelo de PAOT para captura de carbono en bosque de Tlalpan

Así mismo se aplicó el modelo de Jenkins en las especies registradas y se obtuvo a *Pinus cembroides* (31%), *Pinus patula* (26%) y por *P. ayacahuite* (17%). con la mayor captura de carbono (Figura 19).



**Figura 19.** Modelo de Jenkins para la captura de carbono en bosque de Tlalpan

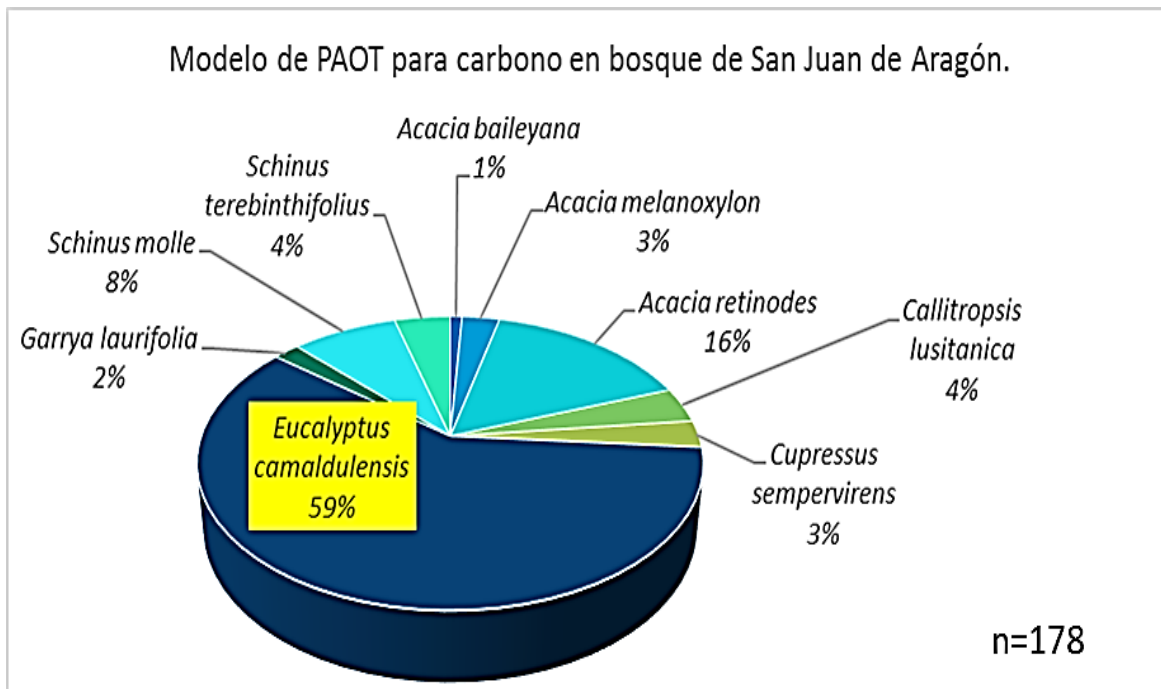
Similarmente a través del modelo del IPCC se obtuvo que la mayor captura de carbono se le atribuye a *Pinus cembroides* (31%), *Pinus patula* (27%) y *Pinus ayacahuite* (17%). (Figura 20).



**Figura 20.** Modelo de IPCC para la captura de carbono en bosque de Tlalpan

## CAPTURA DE CARBONO EN BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN

Para la estimación de la captura de carbono en las especies de San Juan de Aragón, se obtuvo que el modelo propuesto por la PAOT solo se aplicó en 9 especies debido a la ausencia de las ecuaciones. El modelo arrojó como resultados a *Eucalyptus camaldulensis* (59%) con la mayor captura de carbono (Figura 21).



**Figura 21.** Modelo de PAOT para captura de carbono en bosque de San Juan de Aragón

Con el modelo de Jenkins se realizó la estimación de captura de carbono para las especies registradas, obteniendo que la palma (*Phoenix canariensis*) fue la de mayor captura con el 74% (Figura 22). Finalmente con el modelo IPCC aplicado a las mismas especies, se obtuvo nuevamente con mayor captura de carbono a *P. canariensis*, con 70% (Figura 23).

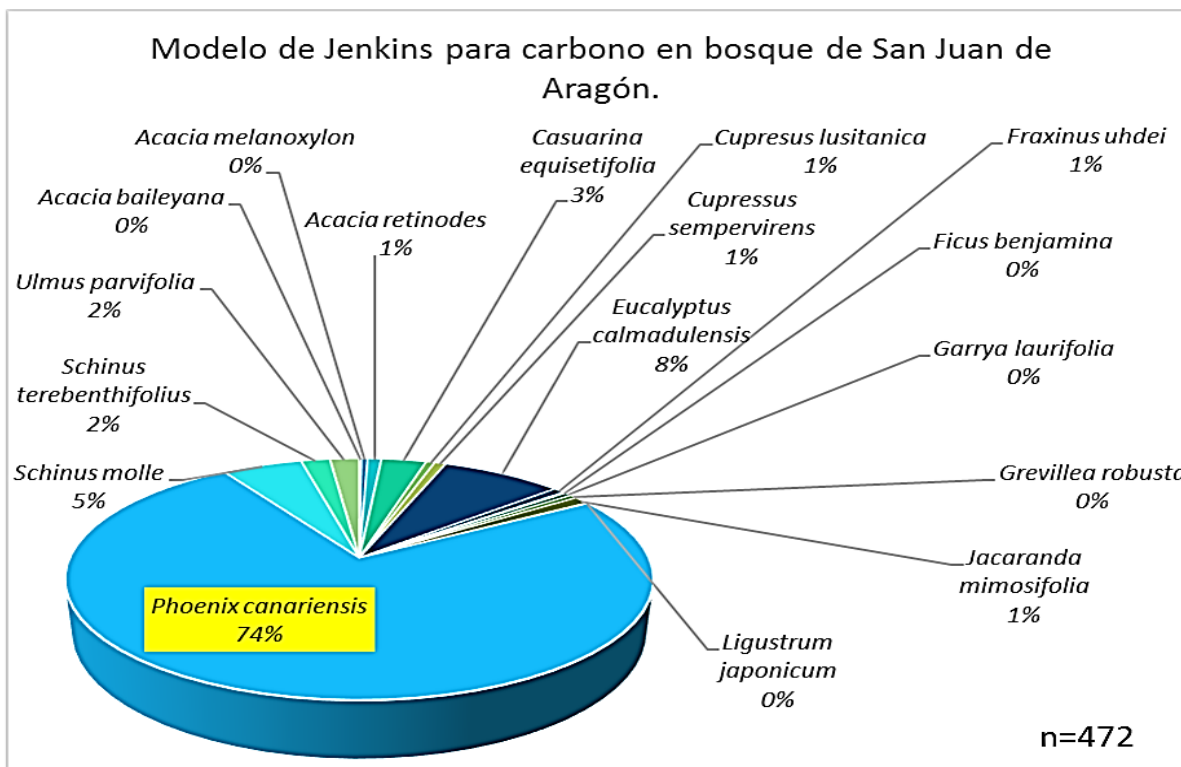


Figura 22. Modelo de Jenkins para captura de carbono en bosque de San Juan de Aragón

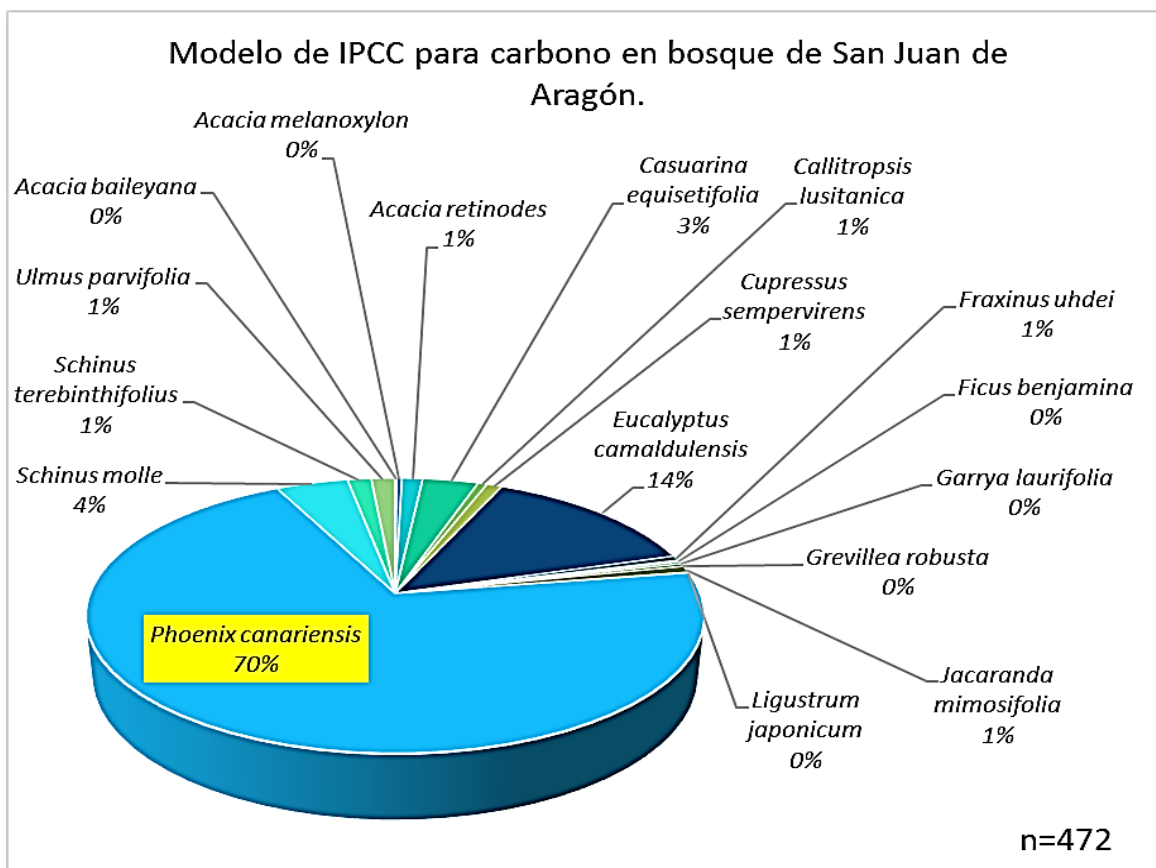


Figura 23. Modelo de IPCC para captura de carbono en bosque de San Juan de Aragón



En la captura de carbono influye en mucho la tasa de crecimiento de los primeros años (10 a 15), aun cuando las especies podrían estar presentes en los tres bosques urbanos y cuenten con riego asistido, en el desarrollo (crecimiento) de los árboles y la palma (*P. canariensis*), los factores condicionantes que influyen son: la radiación, el daño de contaminantes al sistema fotosintético, el tiempo de permanencia y la concentración de contaminantes. También influye la repuesta de las especies a los parámetros humedad, radiación y temperatura.

Para concretizar, el cálculo en porciento de la captación de carbono a través de los modelos propuestos por:

- 🌳 PAOT (2010): para Acacia (*A. retinodes*) y Eucalipto (*E. camaldulensis*) resultaron las especies con mayor registro de carbono en el bosque de Chapultepec y San Juan de Aragón. Las tres especies de pino (*P. cembroides*, *P. patula*, *P. ayacahuite*) del bosque de Tlalpan.
- 🌳 IPCC (2006) Palma (*P. canariensis*) y Eucalipto (*E. camaldulensis*) para el bosque de Chapultepec. Las tres especies de pino (*P. cembroides*, *P. patula*, *P. ayacahuite*) del bosque de Tlalpan. *Phoenix canariensis* en el bosque de San Juan de Aragón.
- 🌳 Jenkins (2003) Palma (*P. canariensis*) y Pirul (*S. molle*) para el bosque de Chapultepec. Las tres especies de pino (*P. cembroides*, *P. patula*, *P. ayacahuite*) del bosque de Tlalpan. Finalmente la Palma (*P. canariensis*) para San Juan de Aragón.



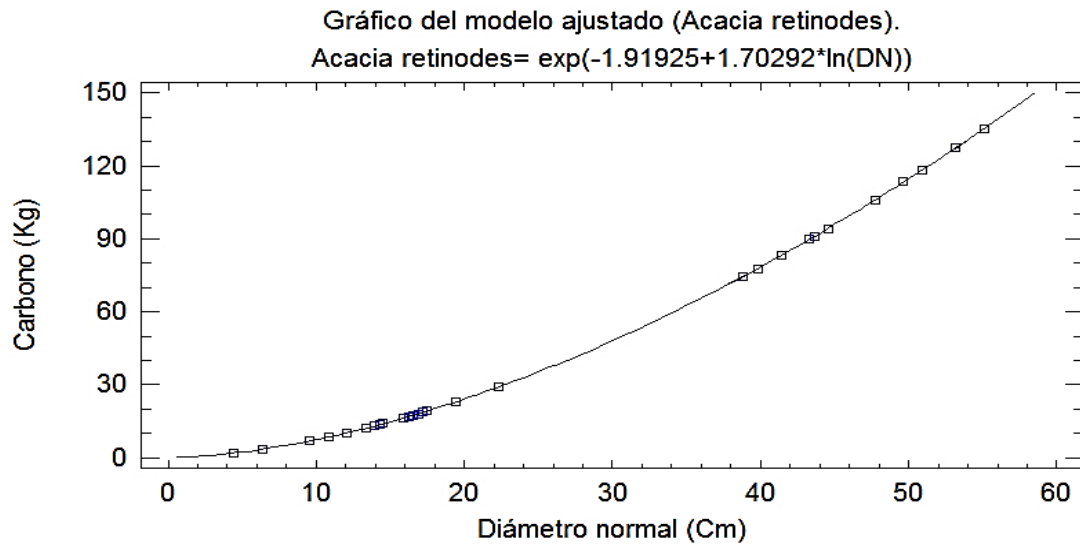
## MODELOS DE REGRESIÓN PARA LA CAPTURA DE CARBONO

Se consiguió los modelos matemáticos de ajuste para determinar la captura de carbono de: *Acacia retinodes*, *Callitropsis lusitanica*, *Cupressus sempervirens*, *Fraxinus uhdei* y *Phoenix canariensis*.

Para *Acacia retinodes* registrada en tres bosques, y sin registros en Tlalpan, arrojó que el modelo de PAOT y Jenkins, presentaron un **coeficiente de correlación (R)** de **0.9924**, un **coeficiente de determinación ( $r^2$ )** de **98.49%** (**Cuadro 6**), por lo que en ambos modelos las variables ajustaron en un **98.44%** y obtuvieron un valor de  $p=0.0000$ , lo que indica una alta probabilidad de que ocurra, el supuesto de ajuste del modelo se muestra el gráfico (**Figura 24**) obtenido con su ecuación correspondiente. **Si  $(4 - D) > Du$ , no existe correlación; es decir  $4 - 1.69 = 3.5541$ , por lo que no hay autocorrelación.** Por lo anterior los tres modelos para la obtención de carbono, se ajustan a las categorías diamétricas registradas en el bosque de Chapultepec para la especie.

**Cuadro 6.** Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en *Acacia retinodes*

Modelo de C	R	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> ajuste a 1 (%)	Error estándar	Error absoluto medio	Estadístico Durbin-Watson (p=)	Autocorrelación de residuos
PAOT	0.992456	98.4969	98.4451	0.221422	0.159786	0.0000	0.445865
Jenkins	0.992455	98.4967	98.44491	0.157775	0.113861	0.0000	0.445915
IPCC	0.969889	94.0684	93.8639	0.419984	0.302097	0.0000	0.682907



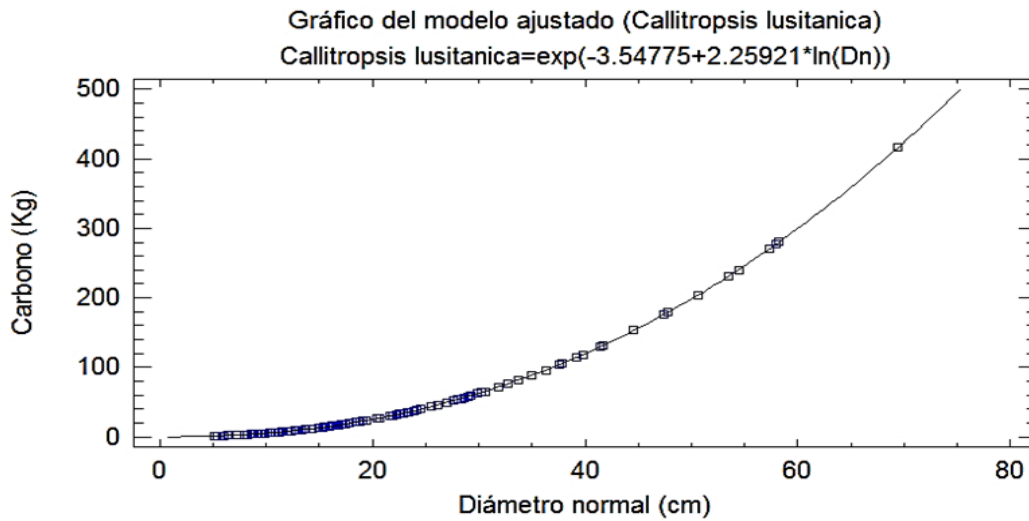
**Figura 24.** Gráfico del modelo ajustado para *Acacia retinoides*

*Callitropsis lusitanica* con el modelo de Jenkins obtuvo el mayor ajuste (100%), presentó un coeficiente de correlación ( $R= 1$ ) y un coeficiente de determinación  $r^2= 100\%$ . Por su parte el modelo de IPCC tuvo un ajuste menor que el de Jenkins (97.03%), pero tuvo mayor probabilidad ( $P$ ), por lo que se consideró como el menos óptimo para la predicción de captura de carbono (**Cuadro 7**). El gráfico del modelo ajustado se observa en la **Figura 25**.

**Cuadro 7.** Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en *Callitropsis lusitanica*

Modelo de C	R	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> ajuste a 1 (%)	Error estándar	Error absoluto medio	Estadístico Durbin-Watson.(P=)	Autocorrelación de residuos
PAOT	0.94209	88.7539	88.6862	0.424315	0.322655	0.0001	0.28375
Jenkins	1	100	100	0.0000235428	0.0000129569	0.0127	0.171
IPCC	0.98515	97.0521	97.0344	0.224416	0.193611	0.0000	0.971881



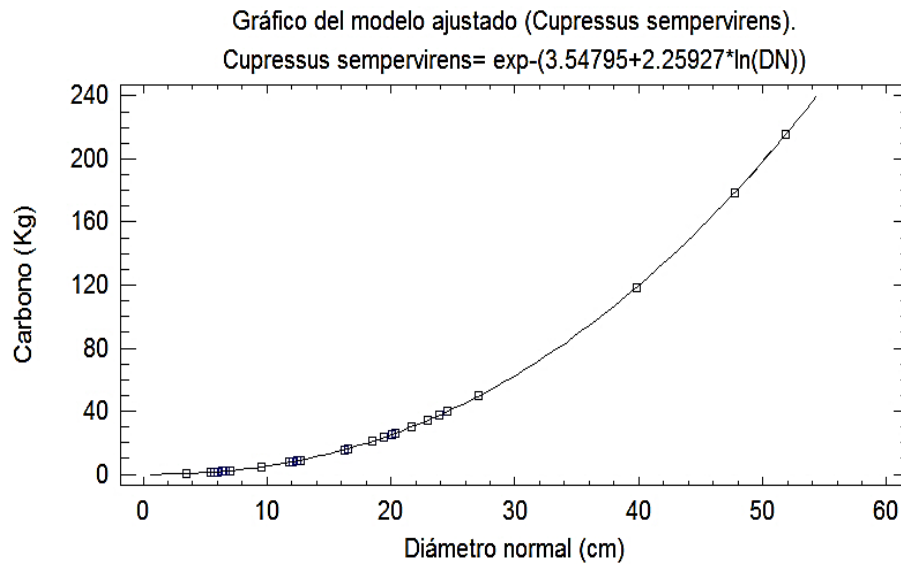


**Figura 25.** Gráfico del modelo ajustado para *Callitropsis lusitanica*

En la **Figura 26** se observa el modelo ajustado para la especie *Cupressus sempervirens*, registrada en los tres bosques, obtuvo que el modelo con mayor ajuste de carbono fue Jenkins (100%) con una  $r=1$ , una  $r^2=100$  y una  $p=0.0000$  (**cuadro 8**). cabe hacer mención, que los modelos aplicados a las especies de los bosques urbanos, sus términos (ordena al origen, pendiente y error) se construyen en condiciones ecofisiológicas de los lugares de origen de donde se obtuvieron los modelos.

**Cuadro 8.** Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en *Cupressus sempervirens*

Modelo de C	R	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> ajuste a 1 (%)	Error estándar	Error absoluto medio	Estadístico Durbin-Watson (P=)	Autocorrelación de residuos
PAOT	0.977791	95.6076	95.5379	0.348197	0.259965	0.0000	0.719053
Jenkins	1	100	100	0.0000462 1	0.0000375 1	0.0000	0.821443
IPCC	0.991078	98.2235	98.1953	0.217054	0.189554	0.0000	0.867865



**Figura 26.** Gráfico del modelo ajustado para *Cupressus sempervirens*

Para *Fraxinus uhdei* especie registrada en los tres bosques, la PAOT no contó con un modelo para ella, por lo que la comparación se realizó con los dos restantes, obteniendo así el modelo de Jenkins con mayor un ajuste (100%), una  $r=1$ , una  $r^2=100$  y una  $p=0.0000$  (**Cuadro 9**). El modelo ajustado para la especie se presenta en la **Figura 27**.

**Cuadro 9.** Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en *Fraxinus uhdei*

Modelo de C	R	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> ajuste a 1 (%)	Error estándar	Error absoluto medio	Estadístico Durbin-Watson.(P=)	Autocorrelación de residuos
PAOT	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Jenkins	1	100	100	0.00028894 3	0.0000987 407	0.0000	0.62255
IPCC	0.9954	99.09	99.0933	0.15225	0.0963372	0.0000	0.970538

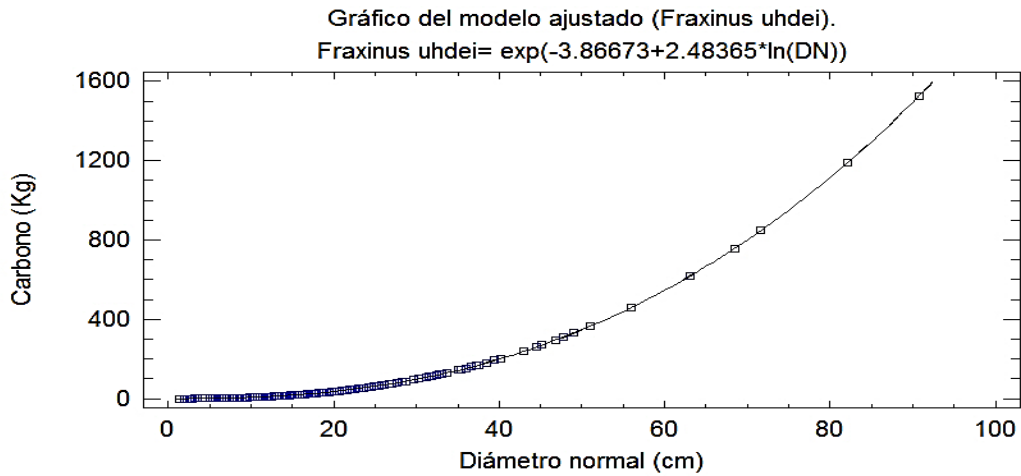


Figura 27. Gráfico del modelo ajustado para *Fraxinus uhdei*

Finalmente para *Phoenix canariensis* ubicada en los tres bosques, pero con ausencia de registro en Tlalpan, no contó con un modelo por parte de PAOT, por lo que la comparación se efectuó con los dos restantes. De estos el que mayor ajuste presentó fue el de Jenkins (100) %,  $r=1$ ,  $r^2=100$  y un valor de  $p=0.9368$ , este último más bajo que el modelo IPCC (**Cuadro 10**), sin embargo IPCC presenta un coeficiente de ajuste de 80%, por lo que el de Jenkins se consideró el más óptimo. La ecuación de ajuste se presenta en la **Figura 28**.

**Cuadro 10.** Tabla resumen de las ecuaciones alométricas aplicadas para el cálculo de carbono en *Phoenix canariensis*

Modelo de C	R	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> ajuste a 1 (%)	Error estándar	Error absoluto medio	Estadístico Durbin-Watson.(P=)	Autocorrelación de residuos
PAOT	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Jenkins	1	100	100	0	5.6366e <sup>-7</sup>	0.9368	0.480249
IPCC	0.90705	82.2752	80.5028	0.35359	0.255772	0.0184	0.366659

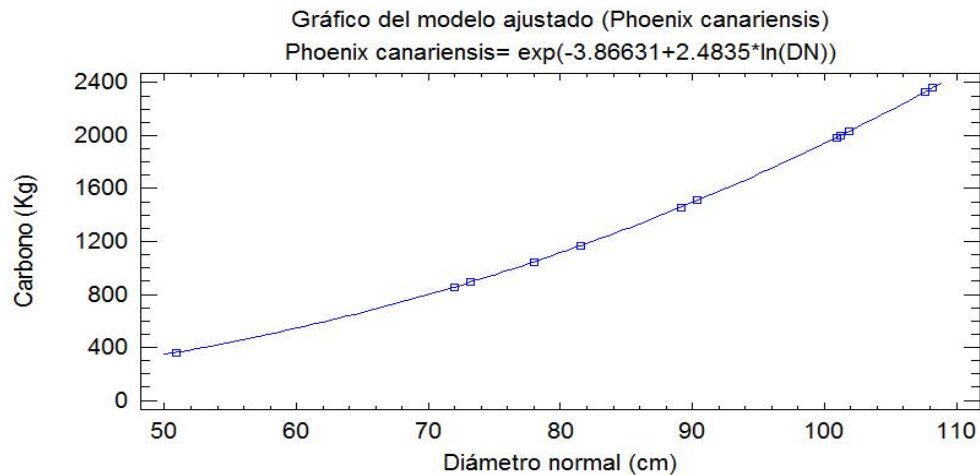


Figura 28. Gráfico del modelo ajustado para *Phoenix canariensis*

Se determinó que las ecuaciones de Jenkins presentan mejor ajuste, por ello podrían ser considerados para las especies existentes en los bosques urbanos, a diferencia de los propuestos por la PAOT y el IPCC; en teoría los modelos fueron obtenidos de las especies mismas de los bosques urbanos de la CDMX.

#### Discusión de los resultados, modelos de regresión.

Se teoriza que las especies tienen una mayor captura de carbono cuando obedecen a un crecimiento rápido en las primeras etapas de vida; más tarde se disminuye, entonces los modelos podrían dejar de ser tan exactos, por tanto las especies que capturan mayor carbono en **bosque de Chapultepec fueron: *Phoenix canariensis* y *Schinus molle*; en Tlalpan *Pinus Cembroides* y *Pinus patula*; y en San Juan de Aragón *Phoenix canariensis***. La palma (*Phoenix. canariensis*) tiene como longevidad mayor a 300 años y el pirul (25-100), por ello la relevancia de haber considerado la mayor parte de las etapas.



Los resultados obtenidos son concordantes con lo mencionado por Nowak y Crane (2002), “las especies con un diámetro normal de 70-80 cm almacenan en promedio hasta 36 veces más carbono que aquellas que van de 10-20 cm”; estas especies al presentar los tamaños mayores les permite almacenar mayores cantidades de carbono en su biomasa (Domínguez, 2016 y Mijangos, 2015).

***Phoenix canariensis*** es una especie introducida con crecimiento promedio de un metro/año con buen aporte hídrico (Sosa *et al.*, 2007). Es destacable por su crecimiento rápido, almacenando grandes cantidades de carbono en periodos cortos (Mijangos, 2015) y la gestión de una especie que su longevidad puede llegar hasta 300 años (González, 2001) es relevante para espacio urbanos. Presenta un buen anclaje, lo que disminuye los riesgos para la población y soporta las exposiciones solares directas, tiene poca tolerancia a la sombra (Martínez, 2008).

***Schinus molle*** es una especie introducida que se considera naturalizada, tiene facilidad de adaptación, presenta un crecimiento rápido y tiene un periodo de vida cercano a los 100 años (Ficha técnica CONABIO, S/F). Se utiliza para la reforestación moderada ya que es formadora de suelo en zonas degradadas y es resistente a la contaminación (Mijangos, 2015), sin embargo es alelopática, por lo que desplaza o inhibe el desarrollo de las plantas vecinas, a su vez es productora de algunos COVB como el felandreno y alcohol terpenoide, carbacol, los cuales son eliminados a través de sus frutos y hojas (Ficha técnica CONABIO, S/F). Para esta especie es necesario realizar una evaluación más minuciosa, como considerar lugares estratégicos dentro de los bosques para poder aprovechar la captura de carbono sin afectar la flora nativa que se encuentre establecida.



***Pinus cembroides*** es una especie nativa para México, presenta usos favorables para la recuperación del suelo. Es ampliamente utilizada para la reforestación de las zonas áridas y semiáridas, se adapta fácilmente a sitios con extrema sequía, tiene crecimiento lento, y es longeva (de 200 a 400 años). Sin embargo es susceptible a la contaminación, presentando follaje poco desarrollado y caída del mismo (Ficha técnica CONABIO, S/F), por lo que no se recomienda la especie para lugares muy contaminados. Su crecimiento y por tanto la captura de carbono, se verán reducidos, esto concuerda con los resultados obtenidos por López y Benavides (2014), quienes evaluaron la respuesta de seis especies arbóreas nativas, incluyendo a *P. cembroides* en el bosque de Chapultepec, donde esta especie no obtuvo una respuesta favorable a las condiciones ambientales.

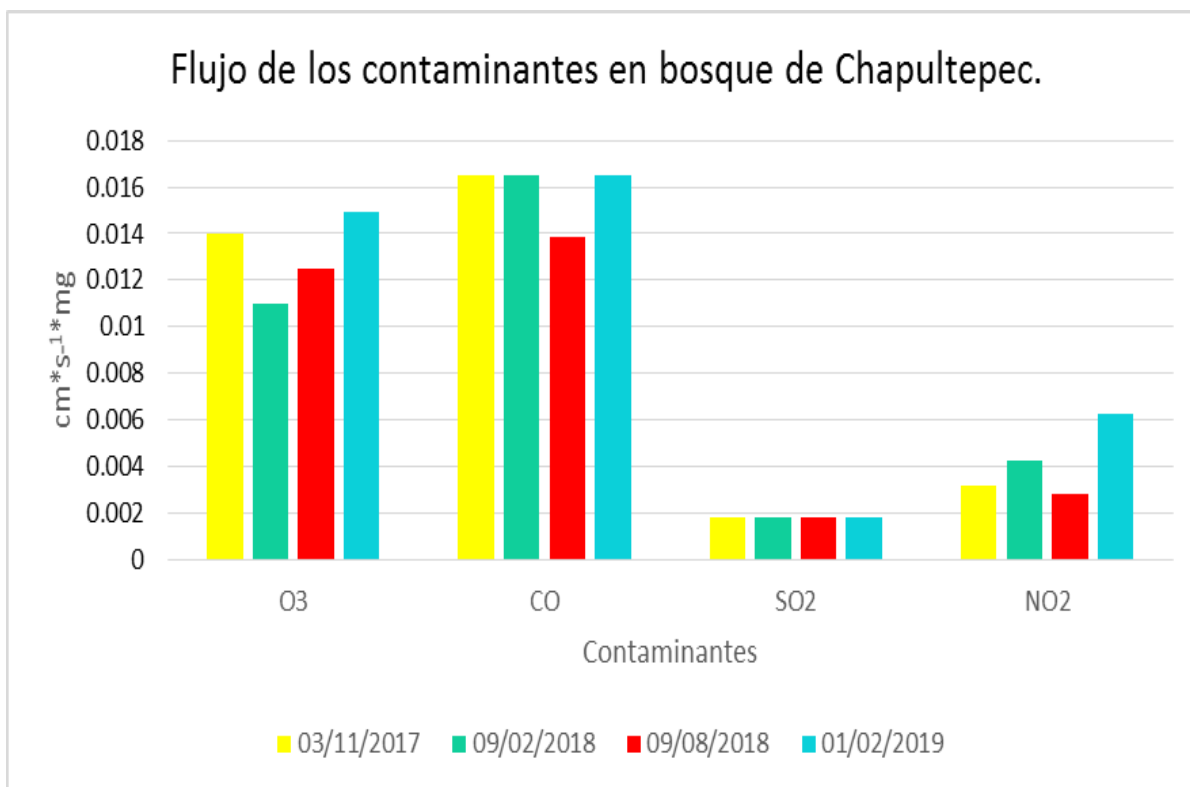
- El secuestro bruto en el bosque de **Chapultepec** por árboles fue de casi **9.692 Mg C/año**, con un valor asociado de **\$ 32,400.00 M/N**. El secuestro neto del bosque urbano es aproximadamente de **3.525 Mg**.
- El secuestro bruto del bosque de **Tlalpan** por los árboles fue de casi **3.54 Mg C/año**, con un valor asociado de **\$11, 800.00 M/N**. El secuestro neto de carbono en el bosque urbano es aproximadamente **2.861 Mg**.
- El secuestro bruto de **SJA** por árboles fue de casi **2.187 Mg C/año**, con un valor asociado de **\$7,320.00 M/N**. El secuestro neto de carbono en el bosque urbano es aproximadamente **2.028 Mg**.

Los árboles reducen la cantidad de carbono en la atmósfera al secuestrar el carbono en el crecimiento de cada año. La cantidad de carbono secuestrado anualmente aumenta con el tamaño y la salud de los árboles.

### 9.4.2. Remoción de contaminantes atmosféricos

#### MÉTODO DE FIGUERUELO Y DÁVILA (2004).

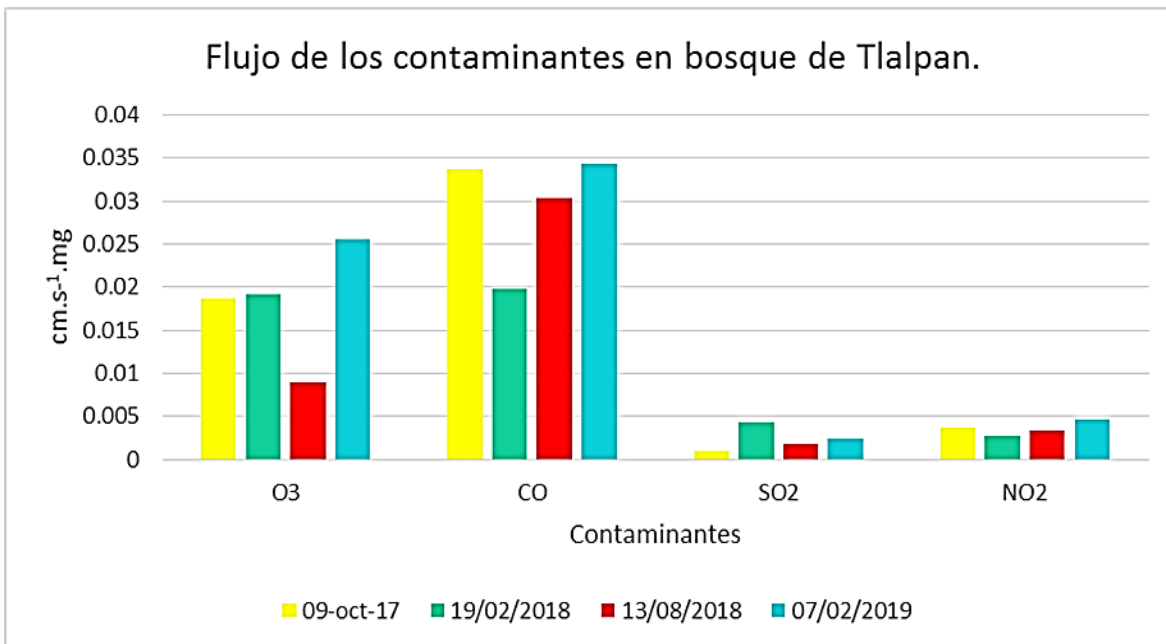
En la remoción de contaminantes para el bosque de Chapultepec, se determinó que la deposición promedio fue mayor para monóxido de carbono (CO) y Ozono ( $O_3$ ), ( $0.01584 \text{ mg.cm.s}^{-1}$  y  $0.013 \text{ mg.cm.s}^{-1}$ ) respectivamente (Figura 29).



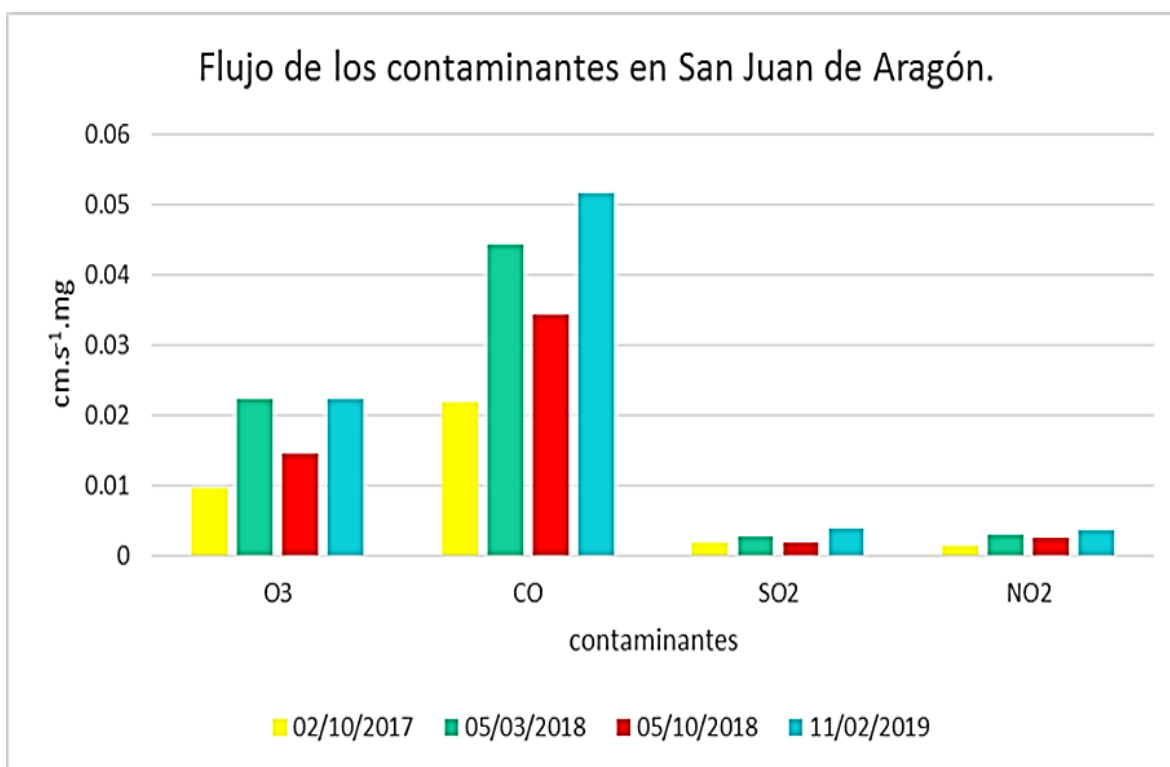
**Figura 29.** Deposición de los contaminantes en bosque de Chapultepec

Para el bosque de Tlalpan se encontró una deposición mayor de CO y  $O_3$ , a diferencia del bosque de Chapultepec, se obtuvieron valores más altos en promedio ( $0.02953 \text{ mg.cm.s}^{-1}$  de CO, y  $0.018 \text{ mg.cm.s}^{-1}$  de  $O_3$ ) (Figura 30).

Finalmente en San Juan de Aragón, se obtuvo que la deposición de CO y  $O_3$  fue mayor a diferencia de Chapultepec y Tlalpan ( $0.03795 \text{ mg.cm.s}^{-1}$  y  $0.017 \text{ mg.cm.s}^{-1}$ ) respectivamente (Figura 31).



**Figura 30.** Deposición de los contaminantes en bosque de Tlalpan



**Figura 31.** Deposición de los contaminantes en bosque de San Juan de Aragón

La aplicación de este modelo ha sido analizada en diferentes ciudades principalmente para estimar la descontaminación de Ozono (O<sub>3</sub>), como Santiago,





Chile, donde se obtuvo una descontaminación de  $2.8 \text{ g.m}^2$ , (Escobedo *et al.*, 2008); Nueva York, EUA con  $3.4 \text{ g.m}^2$ ; El Paso, Texas con  $3.1 \text{ g.m}^2$  (Nowak, 2006) y la CDMX, México con  $4.8 \text{ g.m}^2$  (Escobedo y Chacalo, 2008), sin embargo, como se observa nuestros resultados están muy por debajo de lo reportado, esto se debe a que los valores obtenidos por los autores mencionados, fueron multiplicados por el área de la cobertura arbórea de una ciudad, es decir una superficie mayor.

Herrejón (2018) realizó la estimación para los mismos bosques en la Ciudad de México, obteniendo una descontaminación promedio para  $\text{O}_3$  de  $0.039 \text{ mg.cm.s}^{-1}$  y para  $\text{CO}$  de  $0.7699 \text{ mg.cm.s}^{-1}$  lo que indica valores más altos en comparación con nuestro estudio ( $0.01578 \text{ mg.cm.s}^{-1}$  y  $0.2777 \text{ mg.cm.s}^{-1}$ ). Sin embargo, de acuerdo a lo establecido por Escobedo y Chacalo (2008) y Nowak (2010) las cantidades de remoción están en función de la cantidad de contaminación que se encuentre en el aire en su momento, además de las variables climático-geográficas y la composición del arbolado.

Es así que se plantea a mayor cobertura arbórea mayor descontaminación, sin embargo en el inventario de áreas verdes para la CDMX realizado por el GDF y SMA (2003) indicaron que la ciudad solo cuenta con  $5.3 \text{ m}^2$  de área verde por habitante a diferencia de los  $9 \text{ m}^2$  que indica la OMS, lo que podría señalar una baja cobertura arbórea y por lo tanto una menor descontaminación. Así mismo, Meza y Moncada (2010) concluyeron que las plantaciones en la ciudad se realizaban con criterios estéticos por lo que la funcionalidad de las especies se veía mermada.

Finalmente Escobedo y Chacalo (2018) concluyeron, que para optimizar la descontaminación se deberían plantar árboles con características adecuadas a los

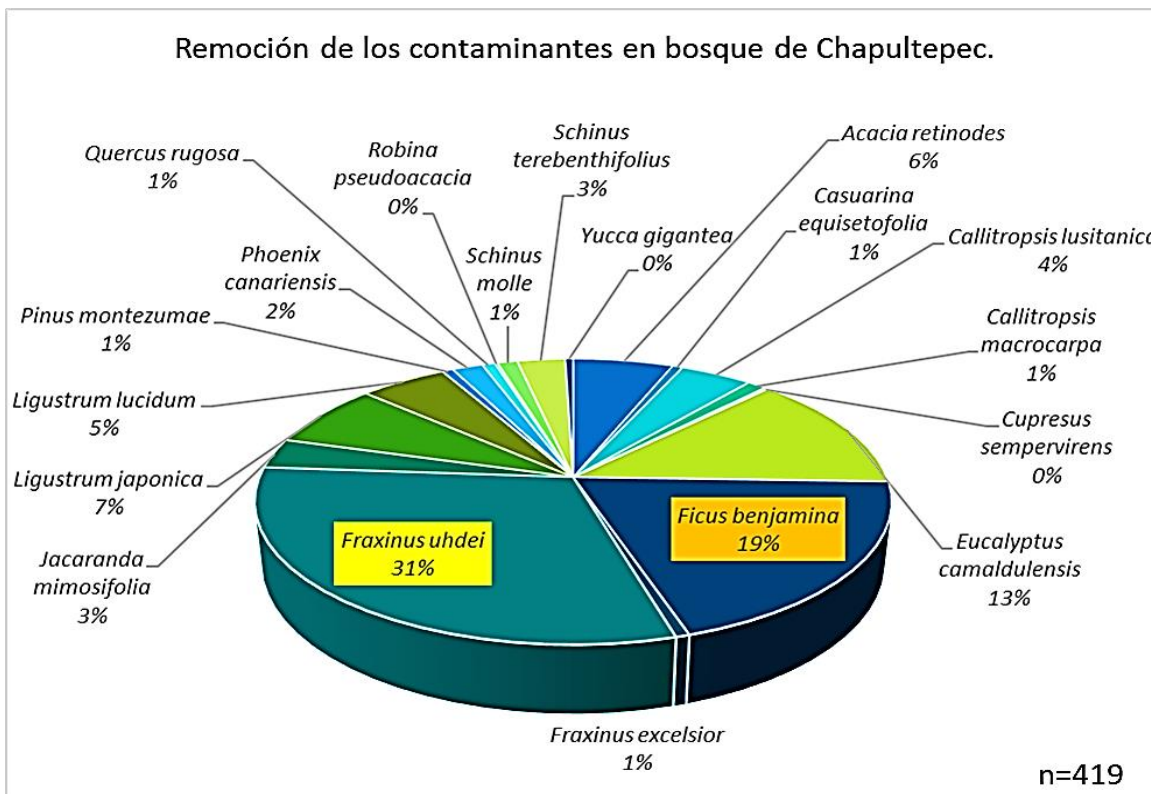


sitios. Es por ello que se propone plantar especies de amplia cobertura, tamaños grandes, además de una preferencia por los árboles siempre verdes (especies perennifolias) (Nowak, 2006). Sin embargo no cualquier especie puede ser tolerante o resistente a la contaminación, por ejemplo observando que hay mayor contaminación por O<sub>3</sub>, y CO se podría plantar algunas especies como *Acer spp* (arces) *Junglans spp* (Nogal), *Persea americana* (aguacate) *Prunus spp* (árboles frutales), *Salix babilonica* (sauce llorón) y *Thuja occidentalis* (Tuya occidental) que son resistentes al O<sub>3</sub> (Calva y Corona, 1990 y Callisaya, 2015), para el CO, se considerarán las mencionadas en la captura de carbono.

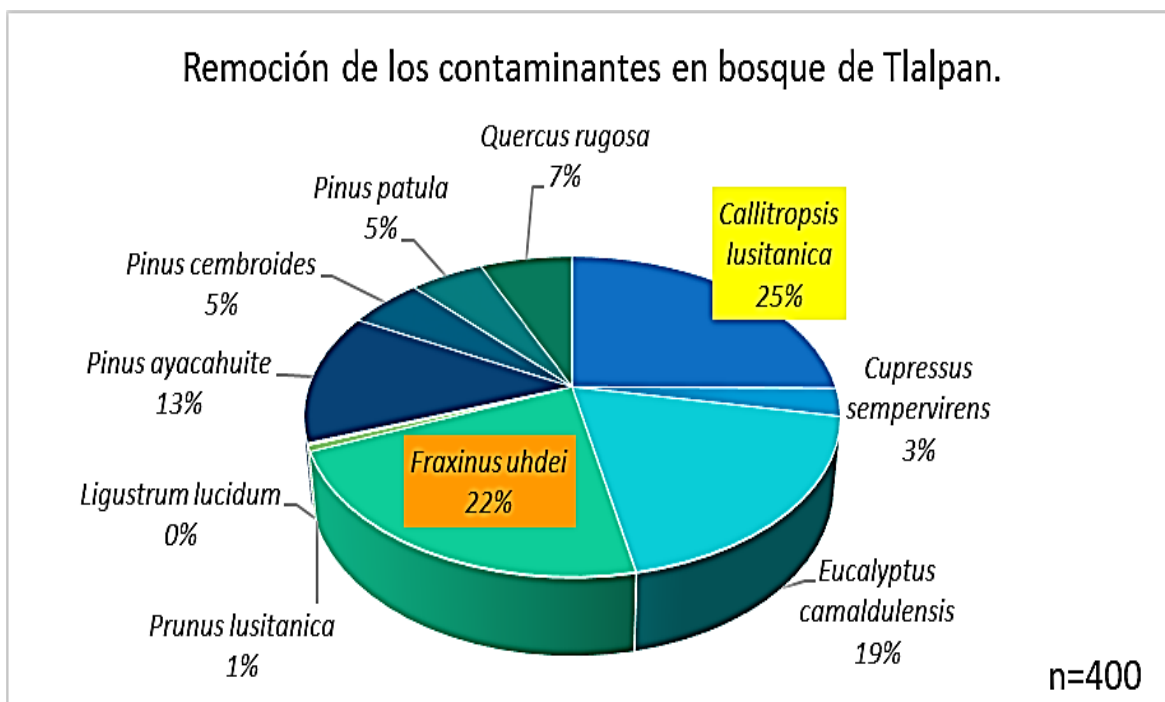
#### MÉTODO DE NOWAK (2001)

Se determinó la remoción de contaminantes (ozono (O<sub>3</sub>), partículas suspendidas (PS), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO)) en las especies registradas para el bosque de Chapultepec, donde se obtuvo las especies que remueven mayor cantidad de estos son: *Fraxinus uhdei* (31%) y *Ficus benjamina* (19%), con 249.65 kg y 159.28 kg respectivamente por año (Figura 32). La suma de remoción de las especies es de 817.30 kg.

De entre las especies del bosque de Tlalpan se determinó con mayor potencial de remoción a *Callitropsis lusitanica* (25%) y a *Fraxinus uhdei* (22%) con sus valores respectivos de 168.61 kg y 146.41 kg anualmente (Figura 33). La suma de remoción para todas las especies es de 660.65 kg, menor a comparación de la obtenida para Chapultepec.



**Figura 32.** Remoción de los contaminantes por las especies del bosque de Chapultepec



**Figura 33.** Remoción de los contaminantes por las especies del bosque de Tlalpan

Para las especies de San Juan de Aragón, se determinó las más eficientes para la remoción y estas son: *Casuarina equisetifolia* (49%) y *Phoenix canariensis* (11%) con sus respectivos valores 338.47 kg y 73.91 kg anualmente (Figura 34). La suma de remoción es de 693.44 kg, mayor a diferencia de la obtenida para Tlalpan, pero menor a comparación de Chapultepec.

Como se observó en las figuras anteriores, la cantidad de remoción se encuentra relacionada con el tamaño del diámetro normal (DN) y el número de árboles, sin embargo como menciona Alcalá *et al.*, (2008) existen otros factores relacionados con la capacidad de capturar los contaminantes, como las características externas de las hojas (pelos y cutícula), la altura y la copa de los árboles, los cuales no son contemplados dentro del método aplicado.

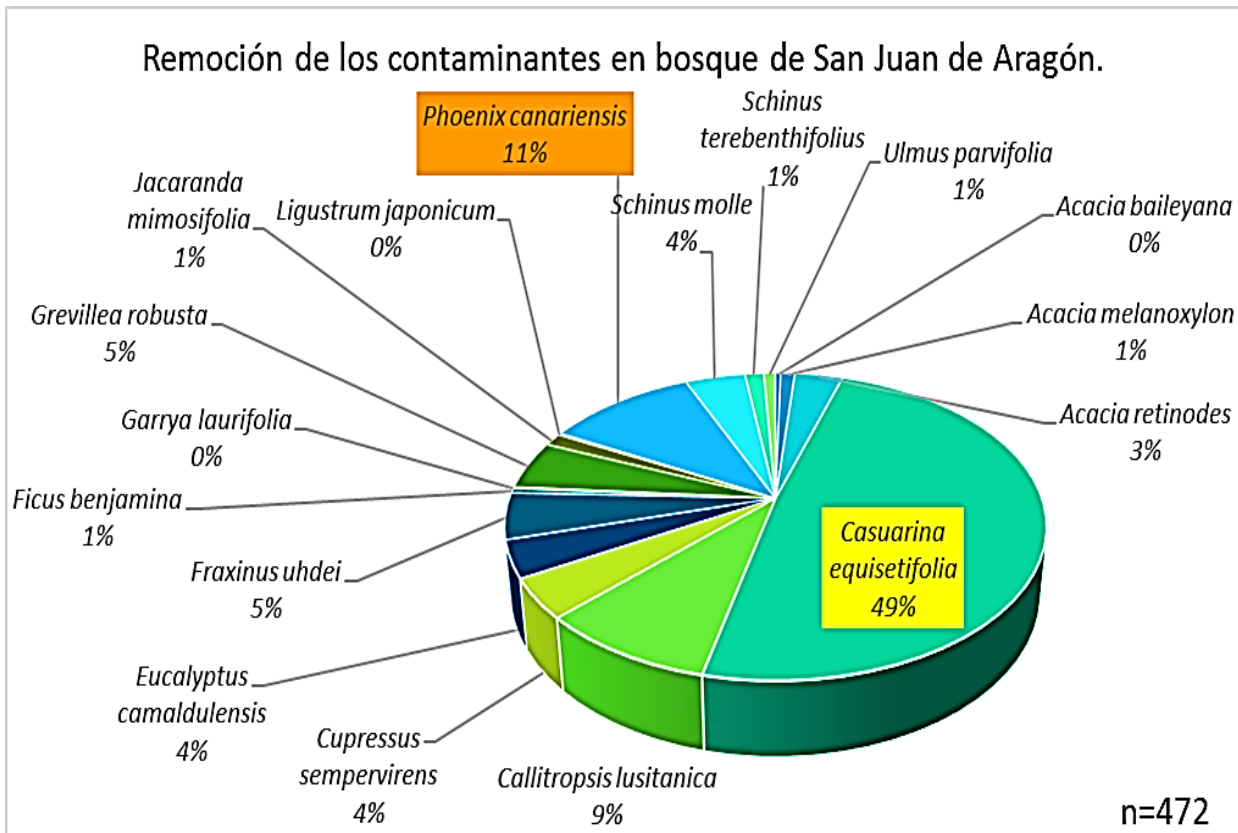


Figura 34. Remoción de los contaminantes por las especies del bosque de San Juan de Aragón



De acuerdo a los resultados obtenidos *Fraxinus uhdei* presentó un potencial alto para la remoción de los contaminantes del aire, lo cual concuerda con lo establecido por Hewitt (2010) quien realizó una clasificación de las mejores especies con potencial de remoción, destacando entre ellas a *Fraxinus* spp, *Betula* spp, *Alnus* spp y *Acer* spp, esto atribuido a las cantidades grandes de biomasa que presentan y a su baja emisión de compuestos orgánicos volátiles. Además en el estudio realizado por Aksoy y Demirezen (2006), reportan la capacidad del género *Fraxinus* como tolerante a la contaminación debido a su implementación en biomonitoreo de metales pesados, por lo que se recomendó como parte del arbolado urbano. Esto a diferencia de lo que indica GDF *et al.*, (2010) quien no recomienda la especie para zonas de tráfico intenso e industriales, ya que apenas si tiene una tolerancia a la contaminación media. Así mismo, Calva y Corona (1990) señalaron en su estudio a *Fraxinus* como sensible al ozono ( $O_3$ ) y al dióxido de azufre ( $SO_2$ ) pero resistente al peróxido acetyl nitrato (PAN) el cual se producen debido a las reacciones fotoquímicas en lugares de alta luminosidad y contaminación, y tienen efectos similares a los del  $O_3$ . (Callisaya, 2015).

A pesar de las ventajas que presenta *Fraxinus* frente a los contaminantes del aire, se realizó un estudio en México por Calderón (2012) quien reportó que el aumento de alergenicidad por parte de la especie, se debe a las partículas contaminantes agregada a los granos polínicos y que las concentraciones de esta aumentan principalmente en los meses de diciembre a marzo y afectan del 25% al 30% de la población, causando así rinitis alérgica, conjuntivitis y asma bronquial. Por lo que será necesario realizar las plantaciones de esta especie en lugares



estratégicos, tales como espacios abiertos y no en las vías peatonales, evitando así el contacto directo con la población y aprovechando así su resistencia a la contaminación, además se debe considerar su preferencia por suelos profundos debido a la cantidad de su biomasa, su tolerancia a la sombra, y a las deficiencias minerales (ficha técnica CONAFOR / SF).

Por otra parte el GDF *et al.*, (2010) reportó a *Ficus benjamina* con una resistencia alta a la contaminación, además de ser altamente acumuladora de hollín y polvo, además, Wolverton y colaboradores (1989) la recomendaron para la eliminación de formaldehídos. En cuanto a sus características fenológicas llega a presentar alturas de más de 30 m y hasta 25 m de copa (Martínez, 2008) y de acuerdo a lo mencionado por Alcalá *et al.*, (2008) son factores que contribuyen a la remoción. Sin embargo la especie presenta algunas desventajas para los entornos urbanos, como las raíces extendidas y aéreas que sobresalen del suelo siendo agresivas y destructivas, así como el rompimiento y taponeo de las tuberías en busca del agua (Herrera, 2009, en Garzón y Molina, 2010) y la relación alérgica con la población ocasionando problemas de asma y rinitis aguda debido a la segregación de látex y otros compuestos irritantes para la piel (Subiza, 2003). Considerando las ventajas y desventajas de la especie se recomienda que las futuras plantaciones sean establecidas en suelos de mayor profundidad y lugares de alta contaminación con preferencia a espacios abiertos y no peatonales.

Para *Callitropsis lusitanica* el GDF *et al.*, (2010), Calva y Corona (1990), la reportan resistente a la contaminación, sin embargo, presenta susceptibilidad al plomo. Similarmente Calderón, Saiz y Günthardt (2009) en su estudio para el



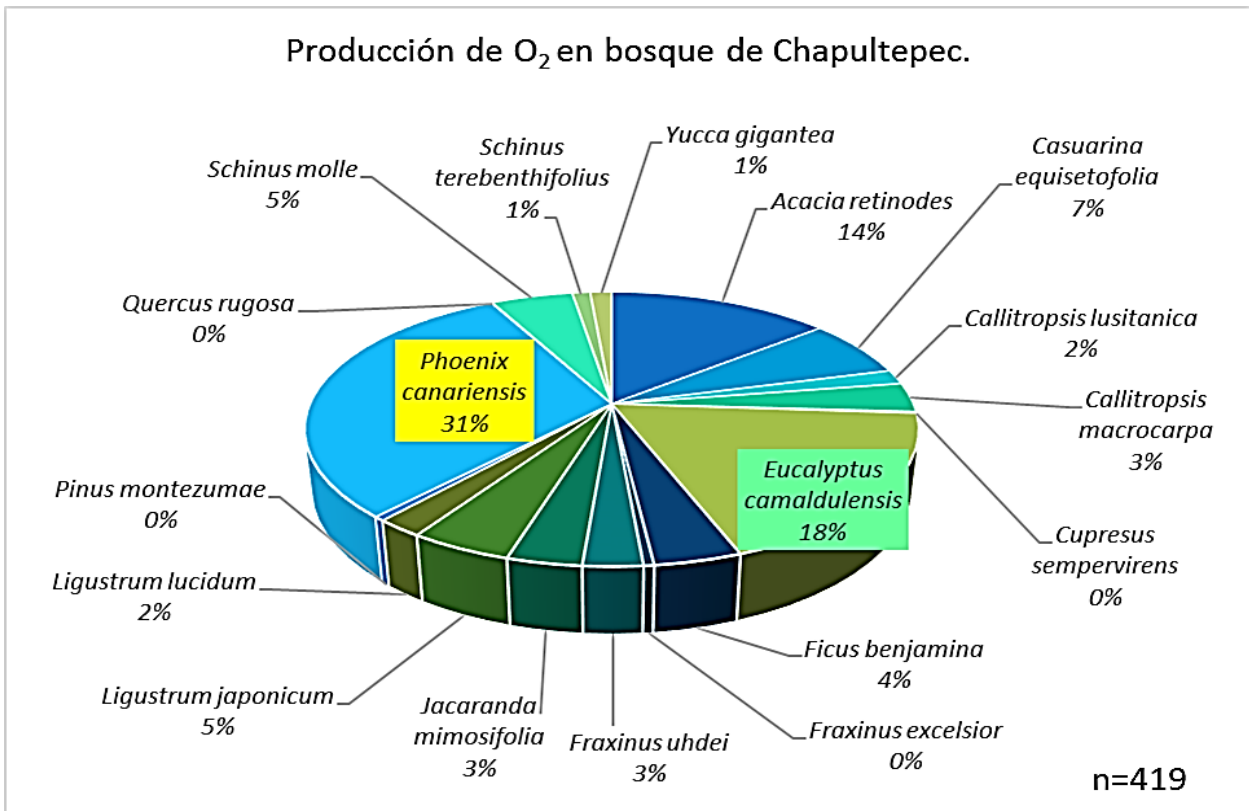
arbolado de Madrid, reportaron que las acículas de *Cupressus* spp (incluida *Callitropsis*) retuvieron mayor cantidad de material particulado en los braquiblastos y macroblastos procedente de las emisiones de vehículos; por lo que presenta ventajas ante la contaminación, aunado a ello, De Magistris, Cordero y Bohier (2003) indicaron que es ampliamente recomendable para la forestación de cuencas y para formación de cortinas protectoras de vientos.

Finalmente *Casuarina equisetifolia* ha sido reportada en México como una especie invasora (GISD, 2010, en CONABIO, 2014), logrando desplazar algunas especies nativas, pese a ello el GDF *et al.*, (2010) indicó que es resistente a alta contaminación. Así mismo Valdés *et al.*, (2004) mencionó que para México es utilizada como cortina rompe vientos, además del uso para el control de erosión en suelo, pues aporta grandes enriquecimientos a este, debido a la asociación que tiene con bacterias nitrificantes, por lo que se trata de una especie fijadora de grandes cantidades de nitrógeno atmosférico lo que resulta en un crecimiento rápido para la especie, sin embargo su periodo de vida no sobrepasa los 40 años (García *et al.*, 1999).

Es necesario mencionar que aunque no se obtuvo remoción alta por algunas especies presentes, no significa que no sean resistentes a la contaminación, si no que se encuentran distribuidas en menores cantidades, algunas de estas especies son: *Juniperus* spp, *Ligustrum* spp, *Liquidambar styraciflua*, *Platanus* spp *Quercus* spp y *Ulmus parvifolia*, (Callisaya, 2015; GDF *et al.*, 2010; Cibrian *et al.*, 2001, Cano *et al.*, 2007 Calva y Corona, 1990).

### 9.4.3. Producción de Oxígeno (O<sub>2</sub>)

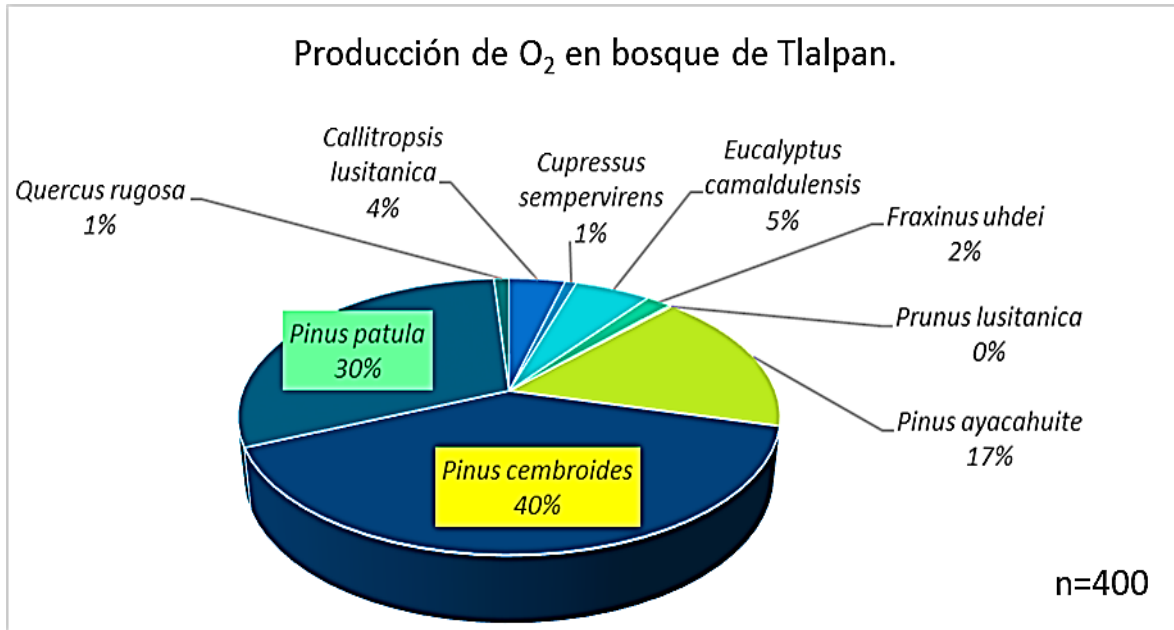
Para el bosque de Chapultepec se estimó la producción neta de O<sub>2</sub> de las especies obteniendo una suma promedio de 14465.44 litros. Anuales, así mismo se identificó a *Phoenix canariensis* (31%) y a *Eucalyptus camaldulensis* (18%) como las más productivas (Figura 35).



**Figura 35.** Producción de Oxígeno (O<sub>2</sub>) en bosque de Chapultepec

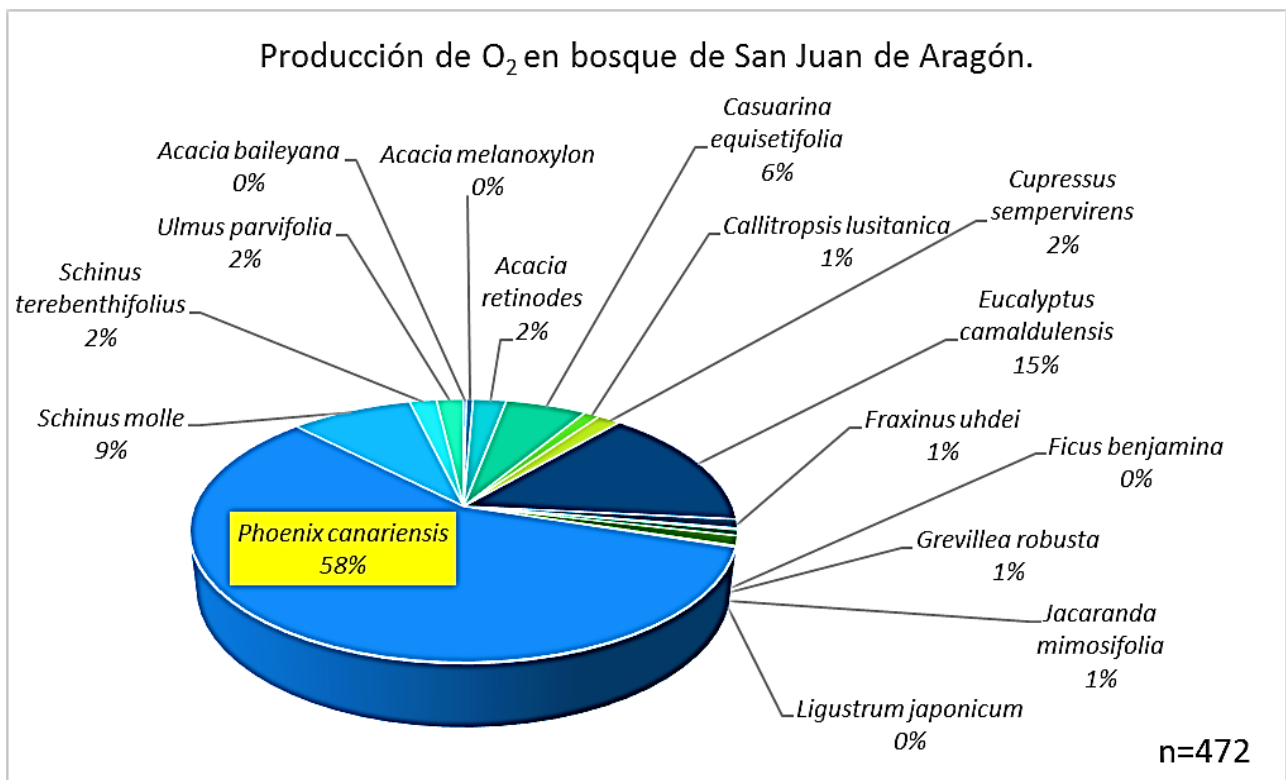
En bosque de Tlalpan la producción neta de O<sub>2</sub> anual es de 17768 l, mayor que en bosque de Chapultepec. Además *Pinus cembroides* (40%) y *Pinus patula* (30%) se determinarán como las especies más productivas (Figura 36).





**Figura 36.** Producción de Oxígeno (O<sub>2</sub>) en bosque de Tlalpan

Para el bosque San Juan de Aragón, se estimó la producción neta de O<sub>2</sub> en 9797.76 l anuales, cantidad menor que en Chapultepec y Tlalpan, donde la especie más productiva es *Phoenix canariensis* (58%)(Figura 37).



**Figura 37.** Producción de Oxígeno (O<sub>2</sub>) en bosque de San Juan de Aragón



Estas especies que obtuvieron mayor producción de oxígeno, son las que presentaron simultáneamente una mayor captura de carbono, lo que concuerda con lo mencionado por De la concha *et al.*, (2018) y Nowak (2007) quienes explicaron que la producción de oxígeno en la fotosíntesis se encuentra relacionado directamente con la captura de CO<sub>2</sub> y a su vez con la acumulación de la biomasa de la especie y su presencia de individuos.

Como se observó anteriormente *Phoenix canariensis*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Pinus cembroides*, obtuvieron los mayores porcentajes de cobertura de copa, lo que se relaciona con lo mencionado por Pérez (2013), quién indicó, que para obtener una mayor actividad fotosintética se requiere de una mayor superficie foliar, lo que da como resultado una mayor intercepción de radiación. Sin embargo es necesario considerar, que a pesar del mayor aporte de oxígeno en estas especies, no se debe despreciar a otras que pueden tener un crecimiento más rápido pues su actividad fotosintética podría ser mayor en menor tiempo (Botkin y Keller, 2000), así como elegir especies más resistentes en cuanto a la contaminación, puesto que en el estudio realizado por Pérez (2013) determinó que en sitios mayormente contaminados existen mayores concentraciones de clorofila y por tanto una mayor actividad fotosintética, lo que resulta en una mayor producción de oxígeno.

Ejemplo de esto, Montiel y Serrano (2016) evaluaron la producción de oxígeno en algunas especies de la ciudad de México obteniendo a *Ficus benjamina*, *Liquidambar formosana* y *Fraxinus pensylvanica* con la mayor producción de O<sub>2</sub>, lo cual para el presente estudio, se relaciona con algunas de las especies que capturaron mayor cantidad de contaminantes (*Ficus benjamina* y *Fraxinus uhdei*).

Por otra parte Nowak (2007) reportó que en los bosques urbanos de Estados Unidos, se requiere de una hectárea de árboles para suministrar el oxígeno anual a un promedio de 19 personas, no obstante la producción de O<sub>2</sub> varía entre ciudades, pues las tasas de crecimiento, el diámetro y el estado de salud de los árboles son diferentes en cada sitio, por lo que sería disfuncional adoptar este dato para los bosques urbanos de la ciudad de México, por las condiciones diferentes que existen.

#### 9.4.4. Almacenaje y transpiración de agua (H<sub>2</sub>O)

Para el bosque de Chapultepec se realizó la estimación del almacenaje y transpiración del agua, obteniendo así que en las especies evaluadas la suma promedio de agua retenida es de 3849.67 litros (l), con una transpiración de 349.97 l, a su vez, las especies que almacenan y transpiran mayor cantidad de agua son: *Phoenix canariensis* (30%) y *Eucalyptus camaldulensis* (18%) (Figura 38).

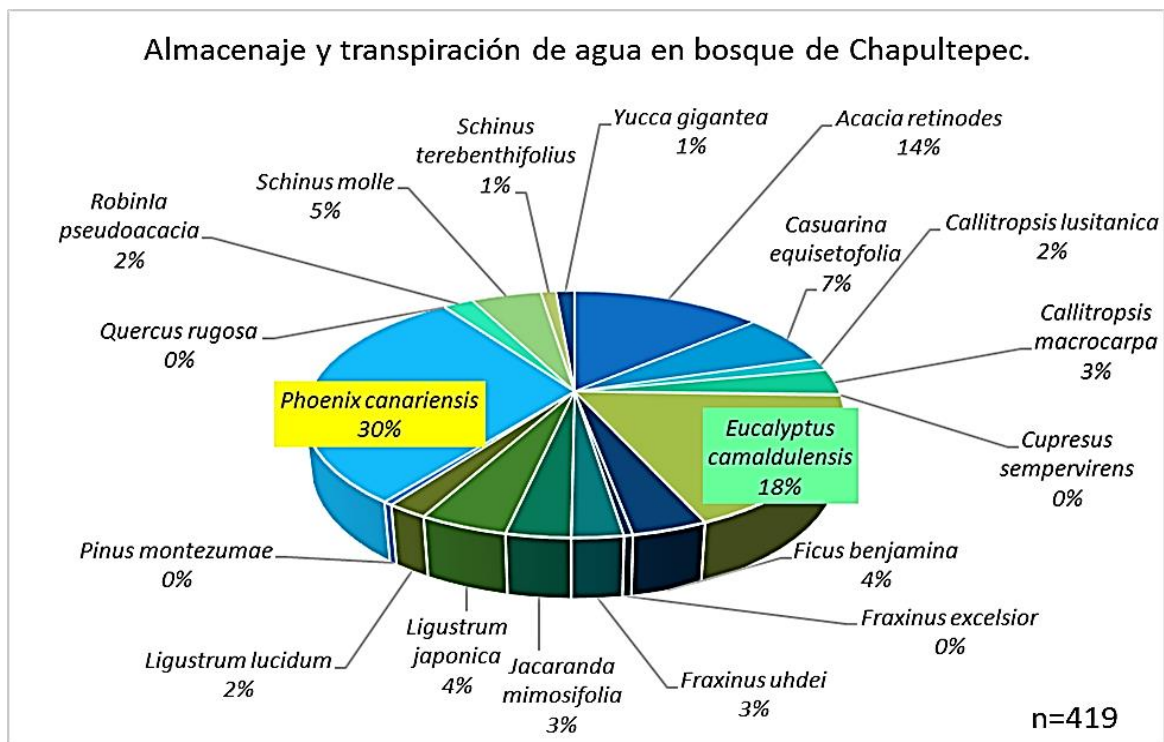
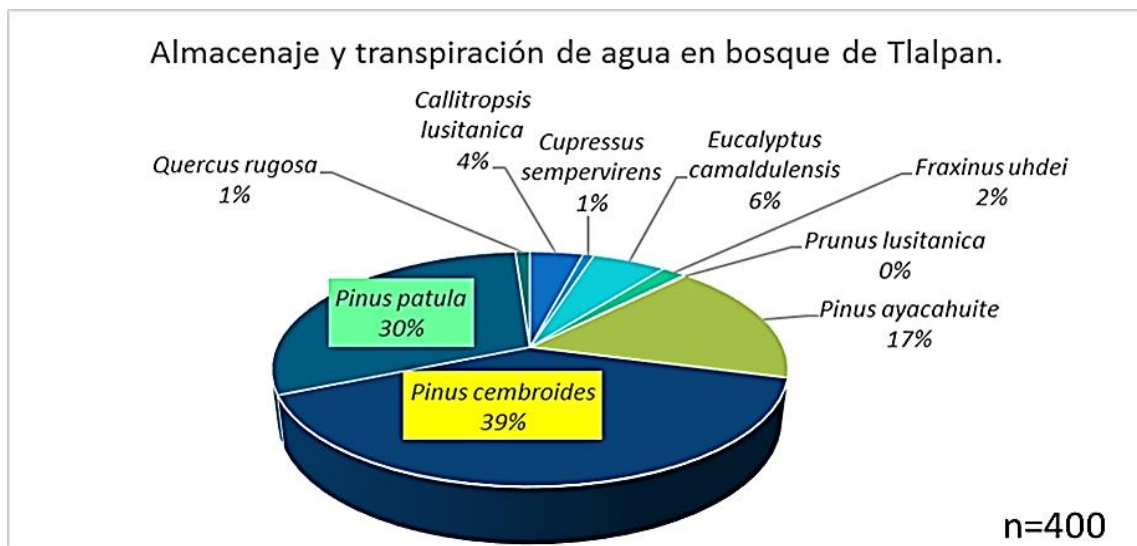


Figura 38. Almacenaje y transpiración de agua (H<sub>2</sub>O) en bosque de Chapultepec

En bosque de Tlalpan se obtuvo una suma promedio de agua almacenada de: 3664.66 l y agua transpirada de: 333.58 l, las cuales son cantidades menores a comparación del bosque de Chapultepec, así mismo se determinó las especies que almacenan y transpiran mayor cantidad son: *Pinus cembroides* (39% y *Pinus patula* (30% (Figura 39).

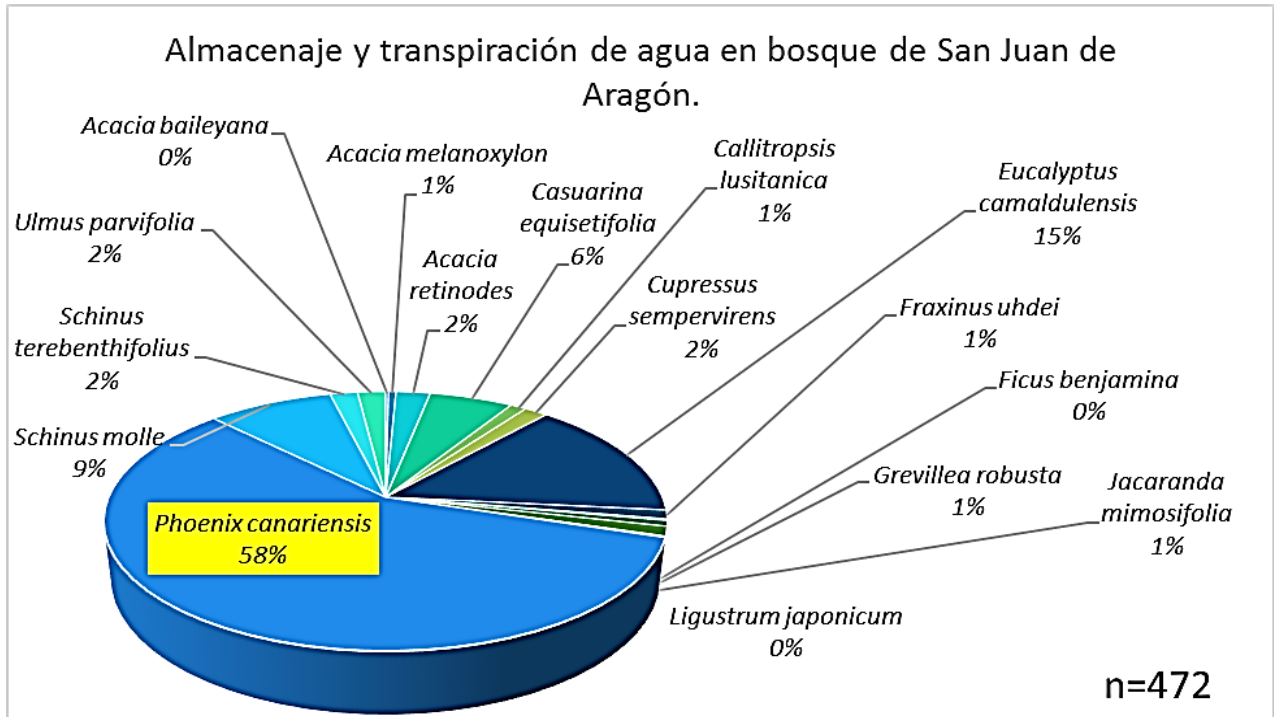


**Figura 39** Almacenaje y transpiración de agua (H<sub>2</sub>O) en bosque de Tlalpan

Para el bosque de San Juan de Aragón se obtuvo un promedio de agua almacenada de: 2020.79 l y transpiración: 183.80 l, cantidades menores a comparación de Chapultepec y Tlalpan, a su vez, se determinó que la especie que almacena y transpira mayor cantidad es *Phoenix canariensis* (58%) (Figura 40).

Una de las especies sobresalientes por su almacenaje y transpiración fue *Eucalyptus camaldulensis*, ya que al ser un árbol de rápido crecimiento requiere una mayor demanda de agua, se ha reportado que la especie llega a captar entre el 11% y 20 % de la precipitación, resaltando así, que la altura es un elemento clave para facilitar la captación de agua, paralelamente su tasa de transpiración varía de

acuerdo a los sitios de plantación, y como efectos secundarios el área foliar, la cual puede verse afectada o disminuida por la competencia de luz o la edad del árbol. (Valladares y Niinemets, 2008).



**Figura 40.** Almacenaje y transpiración de agua (H<sub>2</sub>O) en bosque de San Juan de Aragón

Así mismo (Poore y Fries, 1987) reportaron que un árbol de *Eucalyptus* transpira un promedio de 20 l y hasta 40 l. por día lo que es hasta cinco veces mayor que *Callitropsis lusitanica* en tallas iguales y mismas condiciones (Fetene y Beck, 2004). *Pinus cembroides*, también sobresalió con alto almacenaje y transpiración, resultado que concuerda con Zavaleta y colaboradores (2012) quienes indicaron que la especie presenta un alto potencial de infiltración de hasta 1 418 277. 57 litros, sin embargo, esta cantidad depende directamente de la disponibilidad de agua, la disposición de las hojas en la copa (Arias y Mendoza, 2006) y profundidad de las raíces, ya que estas permiten la filtración del agua al subsuelo, pero la profundidad



del sistema radicular puede verse limitado por un suelo muy compactado (Day y Bassuk, 1994).

*Phoenix canariensis*, presentó valores alto de almacenaje y transpiración, lo cual puede ser atribuido a su frondosidad y densidad de follaje, además, Naranjo, Sosa y Márquez (2009) señalaron que la especie se considera freatófita, es decir agresiva en cuanto a la demanda de agua, llegando así a explotar los acuíferos a grandes profundidades por su extenso sistema radicular. Pese a ello, la especie ha desarrollado adaptaciones que le permiten establecerse en lugares tanto de encharcamiento como de sequía, lo que la vuelve altamente competitiva, aunque con preferencias a exposiciones solares y con buen suministro de agua, lo que beneficiará a su tasa de crecimiento (Martínez, 2008).



## X. CONCLUSIONES

- 🌳 La mayor proporción de especies plantadas en los bosques son del tipo perenne.
- 🌳 La diversidad de especies plantadas es baja en relación a descrito en la norma ambiental (NADF-006-2016).
- 🌳 Las cinco especies más abundantes: *Fraxinus uhdei*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Callitropsis lusitanica* y *Casuarina equisetifolia*.
- 🌳 Las mayores dimensiones en la estructura horizontal correspondieron a la palma (*Phoenix canariensis*) en Chapultepec y San Juan de Aragón. Asimismo con los pinos (*Pinus cembroides*, *P. patula* y *P. ayacahuite*), en el bosque de Tlalpan.
- 🌳 La estructura vertical fue mayor en Chapultepec con Acacia, en Tlalpan con los pinos y en San Juan de Aragón con el eucalipto.
- 🌳 La alta densidad de jacaranda y trueno en el bosque de Chapultepec ocasiona problemas de espacio de crecimiento, competencia y poco desarrollo de las especies. Asimismo sucede en Tlalpan con eucalipto y para San Juan de Aragón con casuarina.
- 🌳 El modelo matemático de Jenkins mostró mejor ajuste para la captura de carbono en *Acacia retinodes*, *Callitropsis lusitanica*, *Cupressus sempervirens*, *Fraxinus uhdei* y *Phoenix canariensis*.
- 🌳 Las especies elegidas con mayor captura de carbono en Chapultepec son: *Phoenix canariensis*, *Schinus molle* (Chapultepec), las tres especies de *Pinus*



(*cembroides*, *patula* y *ayacahuite*) (Tlalpan) y *Phoenix canariensis* (San Juan de Aragón).

- 🌳 El secuestro bruto y neto de carbono total es mayor en Chapultepec, seguido de Tlalpan y San Juan de Aragón.
- 🌳 *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus. uhdei*, *Ficus benjamina*, *Casuarina. equisetifolia*, y *Phoenix canariensis* remueven mayor CO y O<sub>3</sub>.
- 🌳 *Casuarina equisetifolia* es poco longeva por lo tanto no es recomendable en plantaciones.
- 🌳 Por su resistencia y alta remoción aumentar la densidad de: *Acer* spp, *Junglans* spp, *Persea americana*, *Prunus* spp, *Salix babilónica*, *Thuja occidentalis*, *Juniperus* spp, *Platanus* spp, *Quercus* spp, y *Ulmus parvifolia*.
- 🌳 *Fraxinus uhdei*, *Ficus benjamina* y *Phoenix canariensis* se deben establecer en espacios abiertos y no peatonales.
- 🌳 *Pinus cembroides*, *P. patula*, *P. ayacahuite* y *Phoenix canariensis* tiene alta capacidad para la producción de oxígeno, almacenaje y transpiración de agua.
- 🌳 La producción de Oxígeno fue mayor en Tlalpan, seguido de Chapultepec y San Juan de Aragón.
- 🌳 El almacenamiento y transpiración de agua fue mayor en bosque de Chapultepec, seguido de Tlalpan y San Juan de Aragón.





## XI. LITERATURA CITADA

- Alanís, R.E., Jiménez, P.J. Mora, O.A. y Canizalez, V.P.A (2014). Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Iberoamericana de Ciencias*. 1 (7): 93-101
- Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Quintana, C., Miranda, S. y Rubio, A. (2008). Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de la calidad ambiental urbana: Ciudad Chihuahua, México. *Latin american journal of natural resources*. 17:39-54.
- Arias, T.A.A. y Mendoza, H.P.E. (2006). *Todo por los árboles*. SEMARNAT. 1ra ed. México D.F: 24p.
- Arroyave, M.M del P., Posada, P.M.I., Nowak, D.J. y Hoehn, R.E. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia forestal*. 22(1): 5-16.
- Askoy, A. y Demerizen, D. (2006). *Fraxinus excelsior* as biomonitor of heavy metal pollution. *Pollice journal of environmental studies*. 15(1): 27-33.
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D.J., y Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona. *Ambio*. 43 (4): 476-479.
- Benavides, H.M. (1989). *Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo*. Memoria del congreso forestal mexicano. Tomo II. Gobierno del estado de México y Academia nacional de ciencias forestales. Toluca, Estado de México: 966- 992 pp.
- Benavides, H.M, Olvera, C.P., Reséndiz, M.F., Gonzáles, H.A, Moreno, S.F, Romero, S.E. y Velasco, B.E. (2010). Estudio, diagnóstico y elaboración del programa de manejo integral forestal y de suelos del bosque de San Juan de Aragón y capacitación. Instituto nacional de investigaciones forestales agrícolas y pecuarias y centro nacional de investigación disciplinaria en conservación y mejoramiento de ecosistemas forestales. 392 p.



- Benavides, H.M. y Fernández, G.D. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosques*.18 (2): 51-71.
- Bodnaruk, E.W., Kroll, C.N., Yang, Y., Hirabayashi, S., Nowak, D.J. y Endreny, T.A. (2017). Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs. *Landscape and urban planning*. 157: 457-467.
- Bolund, P., y Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*. 29: 293–301.
- Botkin, D.B. y Keller, E.A. (2000). *Environmental science: earth as a living planet*. Wiley y sons, Inc. New York. 649 p.
- Boyd, J. y S. Banzhaf. (2007). what are services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological economics*. 63: 616-626.
- Calderón, E.M.C.L., (2012). *El polen de fresno, uno de los alérgenos más abundantes en el aire de la ciudad de México*. Boletín UNAM- DGCS-418. Ciudad Universitaria. México.
- Calderón, G.C., Saiz de Omeñaca, G.J.A. y Günthardt, G.M.S. (2009). Contribución del arbolado urbano y periurbano del municipio de Madrid en la mejora de la calidad del aire y sumidero de contaminantes atmosféricos como beneficio para la sociedad. 5to congreso forestal español. Sociedad española de ciencias forestales. España.
- Callisaya, M.I. (2015). Sensibilidad de las especies vegetales a los principales contaminantes atmosféricos. *Apthapi*.1 (1): 94-104.
- Calva, V.G. y Corona, B.C. (1990). Los vegetales potencialmente útiles para el registro de los niveles de contaminación en el D.F. *Tópicos de investigación y posgrado*. 1 (3): 3-20.
- Cano, S.L., Colunga, U.E. y De la Garza, R.I. (2007). Utilización de la hojas de *Ligustrum lucidum* como bioacumulador de la contaminación ambiental. Memorias in extenso XI Simposio estudiantil. Universidad autónoma de Coahuila. México.



- Chacalo, H.A. y Arriaga, R.L. (2011) Inventario del arbolado de la UAM Azcapotzalco. *Aleph Suplemento Ambiental* 15 (4): 2.
- Cibrian, T.V., Sánchez, S.J. y Zamudio, V.A. (2001). Diagnostico fitosanitario del olmo chino (*Ulmus parvifolia* JACQ.) en la delegación Iztacalco de la Ciudad de México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 7 (2): 133-138.
- COCODA. Comisión coordinadora para el desarrollo agropecuario (1986). *Manual de planeación, diseño y manejo de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal*. Ed. D.F. Ecoguarda. 681 p.
- CONABIO. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad y SEDEMA. Secretaría del medio ambiente. (2016). *La biodiversidad en la Ciudad de México*. México.
- CONAFOR. (2012). *Manual de procedimientos para el muestreo en campo*. SEMARNAT y CONAFOR.
- Constanza, R., D'Arge, R.S. De Groot, S. Farber, M. Grasso. B. Hannon, K. Limburg, S. Narm, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R., Raskin, G. y Sutton, P. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Cordero, J., Boshier, D.H. (2003). *Cedrela odorata: Árboles de centroamérica: un manual para extensionistas*. Oxford forestry institute UK: 447-452.
- Daily, G.C. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island press, Washington, D.C.
- Day, S.D. y Bassuk, N.L. (1994). A review of the effects of soil compaction and aeration treatments on landscape trees. *J. Arboriculture*. 20: 9-17
- Dávalos, S.R., Rodríguez, M.M.I. y Martínez, P.E. (2008). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación: Almacenamiento de carbono*. INECOL, INE-SEMARNAT. México: 223-233
- Delgado, G.J.C. (1986). *Propagación de árboles canarios: Importancia de la vegetación canaria; especies tratadas*. Las palmas de la gran canaria. 35:155.



- De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. y Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning management and decision making. *Ecological complexity*, 7: 260-272.
- De Magistris, A.A. (2003). *Anatomía de las cortezas de las cupressaceae nativas y cultivadas de Argentina*. (Tesis de doctorado en ciencias biológicas). Facultad de ciencias exactas y naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Del Moral, R. y Cates R. (1971). Allelopathic potencial of the dominant vegetation of western. *Ecology*. 52 (6): 1030-1038.
- Escobedo, F. Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la Ciudad de México. *Interciencia*, 33(1): 29-33.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Montes n. 178. Roma.
- Fetene, M. y Beck, E.H. (2004). Water relations of indigenous versus exotic tree species, growing at the same site in a tropical montane forest in southern Ethiopia. *Trees*. 18: 428-435.
- Figueruelo, J.E., y Dávila, M.M. (2004). *Química y física del ambiente y de los procesos medio ambientales*. Reverté.
- Garzón, V.B., Molina, P.L.F. (2010). Cinco árboles urbanos que causan daños severos en las ciudades. *Nodo*. 9(15): 115-126.
- Hernández, G.A., Rojas, G.F. y Benavides, M.H.M. (2013). *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Ecosistemas terrestres: Estimación del contenido y captura de carbono en la segunda sección del bosque de Chapultepec, Distrito Federal*. Programa mexicano del carbono, colegio de postgraduados, Universidad autónoma de Chapingo, Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey. 1: 198-205.
- Herrejón, G.M de los A. (2018). *Registro de remoción de contaminantes atmosféricos a partir de las especies arbóreas en los bosques urbanos de*



- Chapultepec, San Juan de Aragón y Tlalpan.* (Tesis de Licenciatura). FES Zaragoza, UNAM. Ciudad de México.
- Hingston, F.J. (1963). Activity of polyphenolic constituents of leaves of Eucalyptus and other species in complexing and dissolving iron oxide. *Aust. J. Soil Res.* 1: 63-73.
- Hisham, T. y Tawhida, Y. (2013). Modeling the effect of urban trees on atmospheric oxygen concentration in khartoum state. *Journal of natural resources and environmental studies.* 1 (2): 7-12.
- INEGI. (2005). *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002.* Aguascalientes, México. 72 p.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases del efecto invernadero: Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra.* Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.
- IPCC Grupo intergubernamental de expertos en cambio climático. (2006). *Cambio climático 2007. Informe de síntesis.* 4to informe de evaluación de evaluación del IPCC. Ginebra, Suiza.
- ISA. International Society of arboriculture. (2007). *Beneficios de los árboles.* Sociedad Internacional de Arboricultura. Illinois USA. Zayas USDA.
- Jáuregui, E. (2000). *El clima en la ciudad de México: Temas selectos de Geografía de México.* Instituto de Geografía. México.
- Jenkins, C.J., Chojnacky, C.D., Heath, S.L., Birdsey, A.R. (2003). National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest science.* 49 (1): 12-35.
- Kremen, C., Williams, N.M., Bugg, R.L., Fay, J.P., Thorp, R.W. (2004). Los requisitos de área de un servicio de ecosistema: Polinización de cultivos por comunidades de abejas nativas en California. *Ecol. Letón.* 7: 1109-1119
- Leal, E.C.E., Leal, E.N., Alanis, R.E., Pequeño, L.M.A., Mora, O.A. y Buendía, R.E. (2018) Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales.* 9(48): 252-270.
- Ley Ambiental de Protección a la tierra del D.F. (2015). Artículo 36: Normas ambientales para el D.F.



- Limón, C.A. y Vega, G.F. (2012). *Procesos de contaminación y degradación ambiental: Los servicios ecosistémicos de los bosques urbanos*. Propuestas para la gestión de los parques en México.
- López, L.S.F. y Benavides, M.H.M. (2014). Ensayo de seis especies arbóreas para la reforestación de la segunda sección del bosque de Chapultepec. *Revista mexicana de Ciencias forestales*. 5(21): 24-41.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Island press, Washington, D.C.
- Meza, A.M y Moncada, M.J.O. (2010). Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. *Scripta Nova*. XIV (331).
- Martínez G.L. (2008). *Árboles y áreas verdes urbanas de la Ciudad de México y su zona metropolitana*. Xochitla, Tepetzotlán, Edo. De Méx.
- Miller, R.W. (1997). *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces*. 2 ed. Upper saddle river, Prentice Hall
- Mijangos, H.A.I. (2015). *Estimación del contenido y captura de carbono en la biomasa arbórea del bosque de San Juan de Aragón, Distrito Federal*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de ciencias UNAM. México.
- Mock, T. (2005). Construyendo un bosque urbano sostenible. *Champion Tree Project International*. ISA. AU: 30-32.
- Molina, E. (1979). *Algunos aspectos del deterioro ambiental en el Bosque de Chapultepec*. Tesis Profesional, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 58 p.
- Montiel, R.G. y Serrano, R.R. de J. (2016). Técnica espectrofotométrica para eficientar la producción de O<sub>2</sub> de áreas verdes urbanas. Memorias del XVIII concurso lasallista de investigación, desarrollo e inovación. CLIDI.
- Morton, J.F. (1980). The australian pine or beefwood (*Casuarina equisetifolia* L.), an invasive “weed” tree in Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 93: 87-95.
- Muñoz, R.M.Q. (2014). Accesibilidad a las áreas verdes urbanas como espacios públicos. El caso de ciudad Juárez Chihuahua. Tesis de Maestra. El colegio de la frontera Norte.



- Naranjo, A., Sosa, P. y Márquez M. (2009). *Palmerales de Phoenix canariensis endémicos canarios. 1ra ed.* Ministerio de medio ambiente, medio rural y medio marino. Madrid, España. 52 p.
- Norma ambiental del Distrito Federal NADF-006-RNAT-2016. “Requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes en el distrito federal”. Gaceta oficial de la Ciudad de México. NO. 300
- Norma ambiental para el Distrito Federal. PROY-NADF-013-RNAT-2017. “Que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en la ciudad de México”. Gaceta oficial de la Ciudad de México.
- Nowak, D.J. (2002). The effects of urban trees on air quality. USDA Forest service, Syracuse, NY. EUA.
- Nowak, D.J., Crane, D.E. y Stevens, J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry y Urban Greening*. 4(3-4): 115-123.
- Nowak, D.J, Hoehn, R. y Crane, E. (2007). Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture urban forestry*. 33 (3): 220-226
- Nowak, D.J. y Heisler G.M. (2010). Air quality effects of urban trees and parks. *National recreation and park Association*. Monograph. 44 p.
- Nowak, D.J. (2012). Contrasting natural regeneration and tree planting in fourteen North American cities. *Urban forestry and urban Greening*. 11: 374-382.
- Nowak, D.J., Greenfield, E.J., Hoehn, R.E. y Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community áreas of the united States. *Environmental pollution*. 178: 229:236.
- Ochoa de la Torre J.M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático* (tesis doctoral). Universidad politécnica de Catalunya. Barcelona.
- Ochoa de la Torre, J. (2009). *Ciudad, vegetación e impacto climático*. Villafranca del Penedés, Barcelona: Erasmus Ediciones.



- O'Hara, J.K y Georgakakos, (2008). Quantifying the urban water supply impacts on climate change. *Water resour. Manage.* 22(3): 1477-1492.
- Ojeda, R.L. (2012). "Reseña del libro de César ángel Peña salmón": Metodología para la planificación de las áreas verdes urbanas: el caso de Mexicali, Baja california. *Estudios fronterizos.* 13(26)
- PAOT. (2010). *Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México.* México: PAOT y Grupo CAABSA.
- PAOT. (2010). Cuantificación del carbono almacenado en la vegetación del suelo de conservación del D.F. México.
- Pérez, S.D.I. (2013). *Evaluación de la respuesta fisiológica de Ficus (Ficus benjamina L.) al CO<sub>2</sub> atmosférico.* (Tesis de Licenciatura). Centro universitario de ciencias biológicas y agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco.
- Pimienta, B.E., Robles, M.C., Carbajal, S., Muñoz, U.A., Martínez, C.C. y De León, S.S. (2012). Servicios ambientales de la vegetación en ecosistemas urbanos en el contexto del cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales.* 5 (22): 26-39.
- Pinazo, M.A., Martiarena, A.R., Von Wallis, A., Crechi, E., Pahr, N.M. Y Knebel, O. (2007). Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de *Pinus tadea L.* establecidos sobre Ultisoles de misiones. *Revista de investigaciones agropecuarias.* 36: 5-20
- Peñuelas, J. y Llusiá, J. (2003). Emisiones biogénicas de COVs y cambio global. ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático? *Ecosistemas.* 12:1-7.
- Poore, M.E.D. y Fries, C. (1987). *Efectos ecológicos de los eucaliptos.* FAO. 59. Roma, Italia: 4-26.
- Priego, G de C. C. (2002). *Beneficios del arbolado urbano.* (Ensayo de Doctorado). Consejo superior de investigaciones científicas. España.
- Retamal, C.A. (2015). *Cuantificación de servicios ecosistémicos urbanos en cerros isla.* Tesis de Magister. Instituto de estudios urbanos y territoriales Pontificia universidad católica de Chile.





- Reyes, A. I., y Gutiérrez C.J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad Toluca. *Quivera*, 12(1): 96-102.
- Rzedowski, G.C y Rzedowski, J. (2005). *Flora fanerogámica del valle de México*. Pátzcuaro, Michoacán: INECOL y CONABIO.
- Rodriguez, S.V.M. (2013). Estimación dasométrica de carbono almacenado en un bosque de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham del paraje el cedral del parquet nacional “El chico”, Hidalgo.
- Santacruz G., N. (2008). Situación del arbolado del Parque Nacional Xicohtécatl, Tlaxcala, México. *Revista Forestal Latinoamericana* 23 (1): 69-89
- Secretaría del medio ambiente (SMA). (2002). *Programa de protección ambiental del D.F. (2002-2006): Instrumentos y estrategias para la protección ambiental*. Gobierno del D.F: 80-88.
- Schneider, S.H. (1989). The greenhouse effect: Science and police. *Science*. 243(10): 271-281.
- Sosa, H.P., Naranjo, C.A., Escandell, B.A. y Gonzáles, P.M.A. (2007). *Atlas de los palmerales de gran Canaria*. Obra social de la caja de Canarias. 187 P
- Subiza, J. (2003). Rinitis alérgica persistente por *Ficus benjamina*. *Salud rural*. 20 (9):55-61.
- Valdés, M., Cayetano, R., Abel-Leyva, M.A. y Camacho, A.D. (2004). Presencia de nódulos fijadores de nitrógeno en raíces de *Casuarina Spp* en México. *Ciencia forestal en México*. 25 (88): 93-102.
- Valladares, F., y Niinemets, U. (2008). Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual review of ecology, Evolution and systematics*. 39:237-257.
- Velasco, B.E., Cortés, B.E.N., Gonzáles, H.A., Moreno, S.F. y Benavides, M.H.M. (2013). Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón. *Revista mexicana de Ciencias forestales*. 4(19): 102-111.
- Wiesner, C. D. (2000). Metodología para la definición de una estrategia de arborización. Foro de arborización urbana. Bogotá, Colombia.



- Willis, K.J. y Petrokofsky, G. (2017). The natural capital of city trees. *Science* 356 (6336):374-376.
- Wolveton, B.C., Douglas, W.L., Bounds, K. (1989). A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement. National Aeronautics and Space Administration (NASA- TM- 108061).
- Zavaleta, H.E., Cruz, J.H. y Márquez, R.J. (2012). Potencial de infiltración de agua de lluvia a partir de la retención de una plantación forestal. *Foresta veracruzana* 14 (1): 23-28
- Zamudio C., E. (2001). *Análisis del comportamiento del arbolado urbano público durante el periodo de 1995 a 1999 en la ciudad de Linares, Nuevo León. (Tesis de Maestría)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, NL. México. 177 p

## CITAS ELECTRÓNICAS

- CONABIO. (2012). Guía de campo: Árboles comunes de la CDMX. México. Recuperado de:  
[https://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/cienciaCiudadana/urbanos/pdf/GuiaArboles\\_v3.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/cienciaCiudadana/urbanos/pdf/GuiaArboles_v3.pdf)
- CONABIO. (2014). Método de evaluación rápida de invasividad para especies exóticas en México. Sitio web:  
[http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas\\_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO\\_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/C/Casuarina%20equisetifolia.pdf](http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/C/Casuarina%20equisetifolia.pdf) . Consultado en Mayo, 2018
- De la concha, H., Roche, C.M.L. y García, B.A. (2018). Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida. Ayuntamiento de Mérida. Sitio web:  
[http://www.merida.gob.mx/municipio/sitiosphp/sustentable/contenidos/doc/inventario\\_arbolado\\_merida.pdf](http://www.merida.gob.mx/municipio/sitiosphp/sustentable/contenidos/doc/inventario_arbolado_merida.pdf). Consultado en Julio, 2019.
- Deskis. (2016). Softwares forestales. Sitio web: <http://www.deskis.ee/en/>. Consultado en Mayo, 2018.



- FAO. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. (1996). Definición interés y alcance de concepto. Sitio web: <http://www.fao.org/3/Y2328S/y2328s03.htm>. Consultado en Julio, 2019.
- Ficha técnica CONABIO-CONAFOR (S.F.). *Casuarina equisetifolia*. (L). Sitio web: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/897Casuarina%20equisetifolia.pdf>. Consultada en Marzo, 2019.
- Ficha técnica CONABIO-CONAFOR (S.F.). *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Ligels. Sitio web: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/922Fraxinus%20uhdei.pdf>. Consultada en Marzo, 2019.
- Ficha técnica CONABIO-CONAFOR (S.F.). *Pinus cembroides*. Sitio web: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/54-pinac11m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/54-pinac11m.pdf). Consulta en Marzo, 2019.
- Ficha técnica CONABIO-CONAFOR (S.F.). *Schinus molle*. Sitio web: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/1000Schinus%20molle.pdf>. Consultada en Marzo, 2019.
- Gestarbol. (2017). El árbol, la captación y almacenamiento de carbono. Sitio web: <http://gestarbol.com/el-arbol-y-la-captacion-y-almacenamiento-de-carbono/>. Consultado en Mayo, 2018.
- Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente. (2003) Inventario de Áreas verdes. México. Sitio web: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=112>. Consultado en Junio, 2018.
- Herbario Nacional de México (MEXU). Portal de datos abiertos UNAM. Colecciones universitarias. Sitio web: <http://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>. Consultada en Noviembre 2018.
- I-Tree Eco. (2017). Manual del usuario V6.0 1.24.2017. Sitio web: [file:///C:/Users/laboratorio/Downloads/EcoV6\\_UsersManual.es%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/laboratorio/Downloads/EcoV6_UsersManual.es%20(1).pdf). Consultada en Agosto, 2018.
- Jardín botánico de Misuri. Tropicos, imágenes. Sitio web: <https://www.tropicos.org/ImageSearch.aspx>. Consultada en Julio, 2019.



- ODS-11. Objetivo 11 del desarrollo sostenible: Ciudades y comunidades sostenibles. Sitio web: <http://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/post-2015/sdg-overview/goal-11.html>. Consultado en Julio, 2018.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. (2018). Calidad del aire y salud. Sitio web [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Consultado en mayo, 2019.
- PAOT (2003). *Informe anual. Manejo y conservación de áreas verdes*. CDMX. Sitio web: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KyGbAuNOgo0J:www.paot.org.mx/centro/paot/informe2003/temas/manejo.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>. Consultado en Mayo, 2019.
- Plan maestro de Rehabilitación de la Tercera sección del bosque de Chapultepec. Visión general. (PMVG-BCH3a). Gaceta oficial de la CDMX. NO. 270 Bis. Sitio web: [http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal\\_old/uploads/gacetas/9006fc911da5814926d2b3e17627ff72.pdf](http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/9006fc911da5814926d2b3e17627ff72.pdf). Consultado en Mayo, 2019.
- Programa de manejo del Área natural protegida “Bosque de Tlalpan” (2011). Sitio web: <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/4504.htm>. Consultado en Julio, 2019
- Programa de manejo del área de valor ambiental con categoría de bosque urbano “Bosque de San Juan de Aragón”. (2018). Gaceta oficial de la CDMX. NO. 333. Sitio web: [http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal\\_old/uploads/gacetas/d666dd8ef846b97be1579960fecabf69.pdf](http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/d666dd8ef846b97be1579960fecabf69.pdf). Consultado en Agosto, 2018.
- Proyecto de Norma ambiental para el D.F. Que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en la CDMX. (2018). Gaceta oficial de la CDMX. NO. 451. Sitio web: [http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/Respuesta\\_Comentarios\\_NADF\\_013\\_RNAT\\_2017.pdf](http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/Respuesta_Comentarios_NADF_013_RNAT_2017.pdf). Consultado en Mayo, 2019.



Red automática de monitoreo atmosférico (Rama). Sitio web:  
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aKBh%27>. Consultada  
en Febrero, 2019.

Rodríguez, P.F., Lizarralde, T.I. y Broto M. (2014). Densidad normal de la madera  
de las principales especies forestales de Castilla y León. Researchgate. Sitio  
web:

[https://www.researchgate.net/publication/242251164\\_Densidad\\_normal\\_de\\_la\\_madera\\_de\\_las\\_principales\\_especies\\_forestales\\_de\\_Castilla\\_y\\_Leon](https://www.researchgate.net/publication/242251164_Densidad_normal_de_la_madera_de_las_principales_especies_forestales_de_Castilla_y_Leon).

Consultada en Junio, 2018

Secretaría de economía (2016). Competitividad y normatividad/ normalización.  
Gobierno de México. Sitio web: <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/competitividad-y-normatividad-normalizacion>. Consultada en  
Marzo, 2019.

Secretaría del medio ambiente. (2018). Recuperación y creación de las áreas  
verdes urbanas. Gobierno del Estado de México. Sitio web:  
[https://sma.edomex.gob.mx/areas\\_verdes\\_urbanas](https://sma.edomex.gob.mx/areas_verdes_urbanas). Consultado en Abril de  
2019.

Tropicos®. Jardín botánico de Missouri. Sitio web: <https://www.tropicos.org/>.  
Consultada en Enero, 2019.

## XII. APÉNDICE I

### Simbología utilizada

#### Nombre científico de la especie (Nombre común)

Perfil (Forma de la copa)

↕ Altura total (m).

Tipo de follaje (Perennifolio o caducifolio)

Tipo de hoja y disposición que presentan

Periodo de floración

Periodo de fructificación

Longevidad (años que vive la especie)

Tipo de crecimiento

Almacenadora de Carbono

Almacenadora de agua

Productora de O<sub>2</sub>

Susceptibilidad a la contaminación

Bosque urbano en el que se encuentra (Chapultepec (Ch), Tlalpan (TI) o San Juan de Aragón (SJA))

#### Escalas de Servicios ecosistémicos

##### Captura de carbono (Kg)

0-20	20-60	60-100	100+
Mala	Media	Buena	Excelente

##### Almacenaje de agua (l)

50 -	50-100	150-250	250 +
Mala	Media	Buena	Excelente

##### Producción de oxígeno (l)

0-100	100-500	500-1000	1000+
Mala	Media	Buena	Excelente



### Forma y disposición de las hojas.



Acicular



Oblonga



Lanceolada



Elíptica



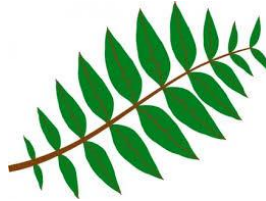
Ovada



Obovada



Bilobulada



Pinnada



Bipinnada



Escumiforme



Palmaticompuesta



Opuestas



Alternas



Verticiladas



Roseta