



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

*Servicios ecosistémicos* de la vegetación  
arbórea de Campus II de la Facultad de  
Estudios Superiores Zaragoza

T E S I S

Que para obtener el título de

**Biólogo**

PRESENTAN

Lorena Elizabeth Flores Eslava

Dafne Romero Calderón

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. Germán Calva Vázquez



Ciudad de México, 8 Dic 2023.



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.

# Índice general

Índice general	1
Índice de tablas	5
Índice de figuras	5
<b>1. Resumen</b>	<b>14</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>16</b>
<b>3. Marco Teórico</b>	<b>17</b>
3.1. Atmósfera en la CDMX . . . . .	17
3.2. Contaminantes en la CDMX . . . . .	17
3.2.1. Ozono . . . . .	17
3.2.2. Monóxido de carbono . . . . .	18
3.2.3. Dióxido de nitrógeno . . . . .	19
3.2.4. Material particulado . . . . .	19
3.2.5. Dióxido de azufre . . . . .	20
3.2.6. Emisiones biogénicas . . . . .	21
3.2.7. Contaminantes y su interacción en los árboles . . . . .	22
3.3. Estructura arbolada en un área institucional . . . . .	23
3.3.1. Área verde . . . . .	23
3.3.2. Estrategias eco-fisiológicas . . . . .	24
3.4. Servicios ecosistémicos . . . . .	25
3.4.1. Almacenamiento y captura de carbono . . . . .	27
3.4.2. Producción de oxígeno . . . . .	27
3.4.3. Evapotranspiración . . . . .	28
3.4.4. Software como herramienta para el cálculo de SE . . . . .	29
3.5. i-Tree . . . . .	30
3.5.1. i Tree en un contexto institucional . . . . .	32
3.6. Planteamiento del problema . . . . .	35
3.7. Pregunta de Investigación . . . . .	35
3.8. Objetivos . . . . .	35

<b>4. Método</b>	<b>36</b>
4.1. Área de estudio . . . . .	36
4.2. Metodología . . . . .	36
<b>5. Resultados y análisis</b>	<b>43</b>
5.1. Registro del arbolado . . . . .	43
5.1.1. Censo del arbolado . . . . .	46
5.1.2. Hand Book . . . . .	48
5.2. Servicios Ecosistémicos que brinda el arbolado . . . . .	48
5.2.1. Servicios Ecosistémicos de Regulación . . . . .	48
5.2.2. Servicios Ecosistémicos de Soporte . . . . .	54
5.3. Emisión de COVs por los árboles . . . . .	58
5.4. Servicios Ecosistémicos en áreas verdes de la Ciudad de México . . . . .	60
5.5. Beneficios sociales del arbolado . . . . .	62
<b>6. Conclusiones</b>	<b>63</b>
6.1. Recomendaciones . . . . .	64
<b>Referencias</b>	<b>65</b>
<b>7. Hand Book</b>	<b>74</b>
7.1. Gimnospermas . . . . .	75
7.1.1. <i>Araucaria heterophylla</i> . . . . .	76
7.1.2. <i>Cupressus lusitanica</i> . . . . .	77
7.1.3. <i>Cupressus sempervirens</i> . . . . .	78
7.1.4. <i>Pinus cembroides</i> . . . . .	79
7.1.5. <i>Pinus montezumae</i> . . . . .	80
7.1.6. <i>Pinus patula</i> . . . . .	81
7.1.7. <i>Taxodium mucronatum</i> . . . . .	82
7.2. Angiospermas . . . . .	83
7.2.1. <i>Acacia farnesiana</i> . . . . .	84
7.2.2. <i>Acacia melanoxylon</i> . . . . .	85
7.2.3. <i>Acacia saligna</i> . . . . .	86
7.2.4. <i>Alnus acuminata</i> . . . . .	87
7.2.5. <i>Bauhinia variegata</i> . . . . .	88
7.2.6. <i>Bocconia arborea</i> . . . . .	89
7.2.7. <i>Callistemon citrinus</i> . . . . .	90

7.2.8.	<i>Casimiroa edulis.</i>	91
7.2.9.	<i>Casuarina equisetifolia.</i>	92
7.2.10.	<i>Citrus aurantifolia</i>	93
7.2.11.	<i>Citrus limon.</i>	94
7.2.12.	<i>Citrus reticulata.</i>	95
7.2.13.	<i>Citrus sinensis.</i>	96
7.2.14.	<i>Crataegus mexicana.</i>	97
7.2.15.	<i>Eriobotrya japonica.</i>	98
7.2.16.	<i>Erythrina americana.</i>	99
7.2.17.	<i>Eucalyptus camaldulensis.</i>	100
7.2.18.	<i>Euphorbia triucalli.</i>	101
7.2.19.	<i>Euphorbia umbellata.</i>	102
7.2.20.	<i>Ficus benjamina.</i>	103
7.2.21.	<i>Ficus carica.</i>	104
7.2.22.	<i>Fraxinus uhdei.</i>	105
7.2.23.	<i>Grevillea robusta.</i>	106
7.2.24.	<i>Hibiscus tiliaceus.</i>	107
7.2.25.	<i>Ipomoea murucoides.</i>	108
7.2.26.	<i>Jacaranda mimosifolia.</i>	109
7.2.27.	<i>Junglans cinerea.</i>	110
7.2.28.	<i>Leucaena esculenta</i>	111
7.2.29.	<i>Ligustrum lcidum.</i>	112
7.2.30.	<i>Macadamia integrifolia.</i>	113
7.2.31.	<i>Macadamia ternifolia.</i>	114
7.2.32.	<i>Magnolia grandifolia.</i>	115
7.2.33.	<i>Malus domestica.</i>	116
7.2.34.	<i>Magnifera indica.</i>	117
7.2.35.	<i>Morus celtidifolia.</i>	118
7.2.36.	<i>Olea europea.</i>	119
7.2.37.	<i>Persea americana.</i>	120
7.2.38.	<i>Phoenix canariensis.</i>	121
7.2.39.	<i>Pithecellobium dulce.</i>	122
7.2.40.	<i>Populus alba.</i>	123
7.2.41.	<i>Populus deltoides.</i>	124
7.2.42.	<i>Prosopis laevigata.</i>	125
7.2.43.	<i>Prunus armeniaca.</i>	126

7.2.44. <i>Prunus domestica</i> . . . . .	127
7.2.45. <i>Prunus persica</i> . . . . .	128
7.2.46. <i>Prunus serotina</i> . . . . .	129
7.2.47. <i>Pisidium guajava</i> . . . . .	130
7.2.48. <i>Quercus rugosa</i> . . . . .	131
7.2.49. <i>Salix bonplandiana</i> . . . . .	132
7.2.50. <i>Schinus molle</i> . . . . .	133
7.2.51. <i>Schinus terebinthifolius</i> . . . . .	134
7.2.52. <i>Spathodea campanulata</i> . . . . .	135
7.2.53. <i>Tamarix gallica</i> . . . . .	136
7.2.54. <i>Thevetia peruviana</i> . . . . .	137
7.2.55. <i>Ulmus parvifolia</i> . . . . .	138
7.2.56. <i>Washingtonia robusta</i> . . . . .	139
7.2.57. <i>Yucca gigantea</i> . . . . .	140

# Índice de tablas

3.1. Estudios relacionados a la creación el modelo y uso específico en árboles . . .	32
5.1. Especies e individuos plantados. . . . .	44
5.2. Remoción de contaminantes por especie. . . . .	51
5.3. SE entre bosques. . . . .	61

# Índice de figuras

3.1. Distribución espacial $CO$ . . . . .	18
3.2. Distribución espacial $NO_2$ . . . . .	19
3.3. Distribución espacial $PM_{10}$ . . . . .	20
3.4. Distribución espacial $PM_{2.5}$ . . . . .	20
3.5. Distribución espacial $SO_2$ . . . . .	20
3.6. Emisiones biogénicas Cuenca del Valle de México (ton/año) . . . . .	21
3.7. Mecanismo de interacción de contaminantes en plantas. . . . .	23
3.8. Procesos y productos de los servicios ecosistémicos. (Autoría) . . . . .	26
5.1. Mapa de distribución de arbolado. . . . .	47
5.2. Total de contaminantes per cápita de las especies de mayor densidad. . . . .	49
5.3. Remoción total per cápita especies con mayor potencial. . . . .	50
5.4. Área verde frente a la UMIEZ . . . . .	52
5.5. Abeja en <i>Schinus terebinthifolius</i> . . . . .	53
5.6. Producción de oxígeno más pobladas. . . . .	54
5.7. Producción de oxígeno más aptas. . . . .	55
5.8. Evapotranspiración per cápita más pobladas. . . . .	56
5.9. Evapotranspiración per cápita especies con mayor potencial. . . . .	56
5.10. Almacenamiento de carbono. . . . .	57
5.11. Secuestro equivalente a $CO_2$ . . . . .	58
5.12. Emisión de COVs por especie. . . . .	59
5.13. Población estudiantil. . . . .	62
5.14. Sombre que proporciona los árboles. . . . .	62

# Agradecimientos generales

A la **Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)** y, de manera especial, a la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES-Z)**; ya que través de los pasillos de estas venerables instituciones, hemos hallado un hogar intelectual donde nuestra pasión por el conocimiento ha florecido. La UNAM, con su rica historia y su firme compromiso con la excelencia académica, nos ha proporcionado las herramientas y el entorno propicio para nuestro crecimiento como estudiantes y seres humanos. Además, nos ha brindado la oportunidad de forjar amistades duraderas, como **Eduardo, Joseph, Alexa, Fernando, Sandra, Andrea y Angélica**, a quienes agradecemos por su apoyo constante, amistad sincera y compañía a lo largo de esta travesía.

Al **Biol. Rigoberto Rodriguez**, por el interés en nuestro desarrollo académico desde el primer día de nuestra estancia en la universidad y el gran apoyo que nos brindó en el desarrollo de este trabajo.

A nuestros respetados sinodales, **Dr. Arcadio Monrroy, Dra. Patricia Rivera, M. en C. Armando Cervantes y la M. en C. Balbina Vázquez**; la culminación de este proyecto no habría sido posible sin su apoyo, sabiduría y orientación. Agradecemos sinceramente su tiempo y dedicación para evaluar y enriquecer este trabajo.

A nuestro director de tesis, **M. en C. Germán Calva**; a través de sus sabios consejos, su mentoría y su amor por su materia, ha encendido la chispa del aprendizaje en nuestros corazones. Gracias por sus enseñanzas que van más allá de las aulas y por todas esas lecciones que sin duda durarán para toda la vida.

Esta tesis es el resultado de nuestro compromiso con la búsqueda incansable del conocimiento. Gracias a la **UNAM**, a la **FES-Z**, a nuestros respetados **sinodales** y a los **profesores** que nos forjaron durante todos estos años.

*¡Gracias por creer en nosotras!*

Con aprecio y reconocimiento,

**Lorena y Dafne**

*Dedicatoria Lorena*

A mis padres **Elizabeth e Israel**; quiero agradecerles por darme la vida y ayudarme a convertirme en la persona que soy ahora, hoy pueden apreciar los frutos. Espero retribuir lo que han dado por mi y hacerlos sentir orgullosos a cada paso que dé; *mamá y papá*, no hay palabras suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Gracias por su amor incondicional, paciencia, apoyo y sacrificio para hacer posible mi educación, *los amo infinitamente*.

A mis abuelos **Gloria, Gustavo, Ana y Miguel**; a lo largo de los años, su amor, ternura y sabiduría han sido mi refugio. Las historias que compartieron y el cariño incondicional que siempre me brindaron son tesoros que guardo en lo más profundo de mi ser. Su generosidad, paciencia y ejemplo han dejado una huella imborrable en mi corazón. En cada risa, en cada abrazo y en cada consejo, he encontrado el más preciado de los tesoros: *el amor de unos abuelos maravillosos y mis segundos padres*.

A mi hermano **Alexis** y a mis primos **Gustavo, Victoria, Mauricio y Lucia**; siempre han sido una parte importante en mi vida, cada aventura, risa y desafío superado juntos han enriquecido mi vida de formas innumerables, que nadie detenga sus sueños por más grandes e inalcanzables que parezcan, nunca se rindan, *gracias por ser mis hermanitos pequeños*.

A mis tíos **Norma, Gustavo y Eduardo**; me vieron crecer y siempre han sido una presencia constante de amor y cuidado, en los momentos de necesidad y en las celebraciones de la vida, han estado a mi lado, brindándome fuerza y guía, *gracias por todo*.

A mi mejor amiga **Dafne**; hemos compartido risas, lágrimas, secretos y sueños; cada uno de esos momentos ha fortalecido nuestra amistad, sin duda convertiste mi estancia en la universidad la etapa más bonita, llegamos juntas y nos vamos juntas, *gracias por escucharme siempre*.

A mi novio **Daniel**; gracias por tu constante apoyo, sin tu ayuda no sé cómo habría podido terminar la tesis, gracias por sostenerme cuando estaba frustrada, derrotada y agobiada, *gracias por siempre confiar en mí*.

A mi profesor **Germán**; siempre ha compartido su conocimiento, orientación. Sus lecciones no solo han enriquecido mi mente, sino también han dejado una marca indeleble en mi vida. Ha sido un privilegio ser su estudiante y aprender de alguien tan excepcional como usted, *gracias por su apoyo y paciencia*.

Y por último pero menos importante quiero agradecerme a **mí**, por no tener días libres, por esas noches de desvelo acompañas por **Checo**, por nunca rendirme ni renunciar a pesar de lo difícil que fue.

*"...Y aunque el cuestionar me haga resbalar a la prudencia, sé que la duda es uno de los nombres de la inteligencia y la ignorancia es la cuna del miedo, y a mí no me da miedo preguntar: ¿Por qué?..."* - Cuarteto de Nos

En cada página de esta tesis, encontrarán no solo mis palabras, sino también nuestros sueños, esperanzas y valores transmitidos a través de generaciones. Hoy, con profundo agradecimiento y gratitud, dedico este logro a ustedes. Su confianza en mí ha sido el motor que me ha llevado a alcanzar este éxito, cada palabra escrita aquí es un tributo a su sacrificio y amor incondicional, siempre estarán en mi corazón.

*¡Gracias por todo!*

**Lorena Elizabeth Flores Eslava**

*Dedicatoria Dafne*

A mis padres, **Leticia y Joel**, por el apoyo incondicional en los 23 años que tengo de vida, les agradezco infinitamente todo el amor que me dan y nunca dejarme sola, les debo todo lo que soy.

A mis hermanas, **Brenda y Laila**, son la razón de mi existencia, son mi apoyo y amor incondicional, jamás me cansaré de agradecerles todo lo hacen por mi y por acompañarme en cada paso que doy, me siento segura si están a mi lado..

A **Villorin**, gracias por compartir tu vida conmigo, me has acompañado en todo el camino, en los buenos y malos momentos, aguantándome siempre, tú me impulsaste a llegar hasta aquí, mi futuro pinta bien si permanezco a tu lado.

A mi cuñado, **Miguel**, por el apoyo, la compañía, las risas y atención que siempre me has prestado, llegaste justo en esta etapa a mi vida, pero sé que te quedarás para acompañarme en todo el camino que me falta, gracias, hermano.

A **Dulce**, por inspirarme a estudiar esta carrera y acompañarme en el camino, me enseñaste que los amigos son incondicionales y se vuelven familia.

A mi mejor amiga, **Lorena**, por quedarte a mi lado desde el día uno de nuestra vida universitaria, por entenderme en todo momento y nunca dejarme sola, llegamos hasta aquí tomadas de la mano y se que vamos a seguir así.

A **Fernando**, por apoyarme en todo este difícil proceso, por preocuparte por mi trabajo y sufrirlo conmigo, gracias por la dedicación y tu amistad.

A mi profesor **Germán**, por la paciencia, preocupación y dedicación, por iluminar un nuevo camino, expandir mi mente y quedarse hasta el final.

A cada persona que estuvo en mi proceso, que me acompañó en alguna parte del camino, con mucha emoción dedico este logro, gracias por estar.

*A mis hermanas...*

Dafne Romero Calderón



# 1. | Resumen

Las denominadas áreas verdes urbanas (AVU) mitigan los efectos físicos y químicos de la contaminación del aire, la alcaldía Iztapalapa, con 1,835,486 habitantes y una industria media, está inmersa en una problemática de contaminación atmosférica desde los años 70s, la escasez de AVU realza la importancia de la vegetación arbórea institucional ya que proporciona oxígeno, conserva la biodiversidad, disminuye la temperatura y contaminación del aire.

La FES Zaragoza Campus II, ubicada en dicha alcaldía alberga más de 800 árboles siendo un área verde de importancia, por lo que el objetivo es determinar los servicios ecosistémicos (SE) de la vegetación arbórea, para las categorías de regulación (remoción de contaminantes atmosféricos CO, SO<sub>x</sub>NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y polinizadores) así como de soporte (producción de oxígeno, evapotranspiración, almacenamiento de carbono y control de la erosión del suelo), además de una adecuada gestión del arbolado urbano institucional, con el propósito de administrar y preservar los servicios ecosistémicos en el campus universitario. Se hizo un inventario tras identificar las diferentes especies de árboles. Utilizando el software QGIS se realizó un mapa ocupando las coordenadas geográficas de cada árbol. Además, se recopiló datos epidemiométricos de cada ejemplar con el fin de estimar los servicios ecosistémicos (SE) que brinda cada especie. La estación meteorológica "Licenciado Benito Juárez", en la Ciudad de México proporcionó datos meteorológicos y contaminantes, los cuales fueron utilizados en este cálculo por el software i-Tree Eco.

Como resultado, el inventario de Campus II consta de 865 árboles, de los cuales 651 fueron tomados para este estudio en resumen remueven 213.87 kg/año de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO), producen 4,494.2 kg/año de oxígeno. Con ello se elaboraron 65 fichas descriptivas, condensadas en un "Hand Book", con los datos per cápita antes mencionados por especie y las cantidades de SE que brindan. Se concluyó los SE de regulación y soporte, destacan a las especies *Ipomoea murucoides*, *Schinus molle*, *Fraxinus uhdei*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Casuarina equisetifolia*, respectivamente, debido a la morfología de cada especie se garantiza un aprovechamiento máximo del arbolado para la institución. Finalmente, se recomienda que el manejo del arbolado este dirigido a unificar la relación entre cantidad de especies y densidad de árboles, dado que ésta última no está dirigida a la cantidad de SE que proporcionan para el Campus 2.

# Nomenclatura

## Acrónimos

Símbolo	Nombre	Unidades
AVU	Áreas Verdes Urbanas	-
CO	Monóxido de Carbono	[g / año]
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles	[g / año]
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho	[cm]
O <sub>3</sub>	Ozono	[g / año]
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno	[g / año]
PM 2.5	Partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micras	[ $\mu\text{m}$ ]
PM 10	Partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micras	[ $\mu\text{m}$ ]
SE	Servicios Ecosistémicos	-
SEU	Servicios Ecosistémicos Urbanos	-
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre	[g / año]
UFORE	Urban Forest Effects	-

## 2. | Introducción

El arbolado de las áreas verdes institucionales urbanas brindan una diversa gama de beneficios ambientales, denominados Servicios ecosistémicos (SE); en los que se engloban 4 categorías: provisión (productos obtenidos del ecosistema, renovables o no renovables, como alimentos, combustible, agua, etc), soporte (mantenimiento de la biodiversidad a través de la hidrología, biogeoquímica y energética), regulación (mantenimiento del ecosistema con la remoción de contaminantes, regulación de clima, polinización y erosión de suelo) y culturales (beneficios intangibles que genera el ecosistema como recreación, turismo etc). Cada uno de estos provee al ecosistema de diferente manera para el mantenimiento del mismo y su biodiversidad. Para obtener el mayor aprovechamiento de cada uno de ellos, es necesario considerar diversas variables en relación al bienestar del árbol; las estrategias ecofisiológicas del manejo del arbolado urbano están dirigidas a mantener dichas características para potencializar sus capacidades.

Si bien, todas las especies arbóreas brindan en cierta medida SE, unas brindarán una mayor cantidad que otras, esto por la diversidad estructural que poseen, la densidad del follaje, la altura que pueden alcanzar, la longevidad, forma de la copa, tipo de crecimiento, la fenología y el tipo de hoja.

Saber qué especies brindan mayores SE, en específico para este estudio de regulación y soporte, permite adecuar el área con especies que cubran sus necesidades de acuerdo a su ubicación, tanto en general como zona, y espacios dentro de la misma (como jardineras, camellones, colinas, espacios al costado de edificios, etc); por lo que este trabajo tiene por sentido analizar las diferentes cantidades de SE que brindan cada una de las especies arbóreas presentes en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, campus 2, estableciendo un criterio de manejo de la plantación para incentivar los SE que brinda la institución.

## 3. | Marco Teórico

### 3.1. Atmósfera en la CDMX

La Ciudad de México cuenta con una extensión de  $1,485 \text{ km}^2$ . A pesar de comprender 0.1 %, de la superficie de México, su fisiografía con suelos fértiles y rica en recursos hídricos da origen a una relevante diversidad biológica con importantes endemismos y especies dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Concentra una población de 8.8 millones de habitantes, que representa una densidad de  $5\,920 \text{ hab/km}^2$  (Calva y Corona, 1990).

El crecimiento poblacional y las consecuencias de la expansión urbana, como la contaminación, son las principales amenazas para dicha diversidad. Debido a la expansión urbana, se están reemplazando bosques remanentes, pastizales y áreas agrícolas, lo cual puede tener un impacto sobre la diversidad debido al reemplazo de los hábitats naturales de México, (Agencia de cooperación internacional del Japón, 1988).

### 3.2. Contaminantes en la CDMX

El incremento en la contaminación en la última década afecta directamente la salud del ecosistema, de acuerdo con Kulshrestha y Saxena en 2016, la absorción de gases contaminantes en grandes concentraciones induce la muerte de los tejidos vegetales, las lesiones que sufren los árboles se clasifican en daño agudo y crónico. En el daño agudo hay un colapso intercostal de la hoja, se observan áreas polares foliares que llegan a tener una apariencia salpicada de agua que más tarde se secan y se blanquean llegando a presentar colores cercanos al marrón dependiendo la especie en cuestión (Jiménez, 2021).

Existen algunos contaminantes que las plantas son capaces de remover del aire, y a su vez, en grandes concentraciones, las plantas presentan estrés, algunos de ellos son:

#### 3.2.1. Ozono

El  $\text{O}_3$  se forma a partir de reacciones fotoquímicas con gases como óxidos de nitrógeno, oxígeno molecular y dióxido de carbono (disociación), radicales libres y monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles excitados por cuantos lumínicos solares (Gómez, 2022).

Según Ribas et al., (2005) es fitotóxico, altamente oxidante, reactivo y corrosivo, al reaccionar con compuestos orgánicos incrementa su concentración, causando fotoinhibición y restricción potencial en el crecimiento de la vegetación (Moraes et al., 2004). Los efectos del ozono sobre la biomasa arbórea es el resultado de varios procesos que ocurren a nivel celular y fisiológico, la aceleración de la senescencia de las hojas ha sido ampliamente reportada como uno de los procesos más característicos derivados de la exposición del ozono (Ribas et al., 2005) lo que implica la degradación de la clorofila y reducciones en la asimilación de  $\text{CO}_2$ .

### 3.2.2. Monóxido de carbono

Es un gas causado por la combustión incompleta de cualquier material que contenga carbono (EPA, 2022). El CO no es tóxico para las plantas ya que se oxida rápidamente convirtiéndose en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sustancia que que la mayoría de las plantas requieren para llevar a cabo procesos fotosintéticos, esto permite reducir la concentración de este elemento en la atmósfera (Razo et al., 2013). De acuerdo con Osama et al., 2005, al oxidarse y formar  $\text{CO}_2$ , junto con el  $\text{O}_3$  impiden el proceso de almacenamiento de nitrógeno y a su vez suele provocarle al árbol abscisión, lo que le provoca senescencia prematura. Para la alcaldía Iztapalapa en el 2008 (figura 3.1), se registró de 1267 a 2148 ton/año de este contaminante en el aire.

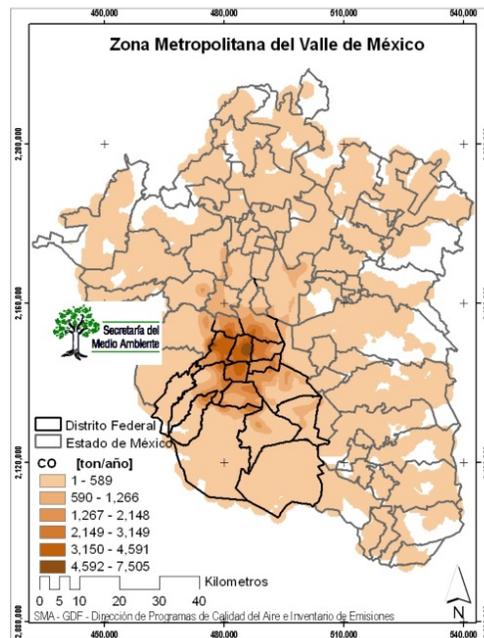


Figura 3.1: Distribución espacial CO

Tomado de Inventario de Emisiones, 2008

### 3.2.3. Dióxido de nitrógeno

Es un precursor en el ciclo del smog fotoquímico; proviene de la combustión de productos fósiles, siendo el tercer gas de efecto invernadero más emitido, la concentración referida para alcaldía de Iztapalapa en 2008, (figura 3.2) , oscila entre 101 a 500 ton/ año, su contribución al calentamiento global es indiscutible, es precursor de ozono e incrementa la concentración en la troposfera (Hernández et al., 2018).

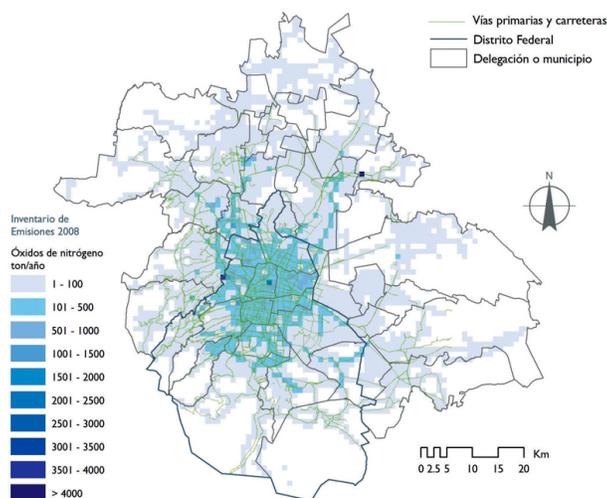


Figura 3.2: Distribución espacial  $NO_2$

Tomado de Inventario de Emisiones, 2008

### 3.2.4. Material particulado

Las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  son un material respirable presente en la atmósfera de forma sólida o líquida. Estas partículas provienen del polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento, polen, entre otras, (Cereceda et al., 2017); éstas partículas causan obstrucción en los estomas y muerte de tejidos ocasionando senescencia prematura, reduce la actividad fotosintética así como la tasa de transpiración (Gómez, 2022). Para la alcaldía Iztapalapa reportado en el Invetnario de Emisiones en 2008,  $PM_{10}$ , (figura 3.3), oscilo entre 6-10 ton/año, y de 1-2 ton/año,(figura 3.4), para  $PM_{2.5}$ .

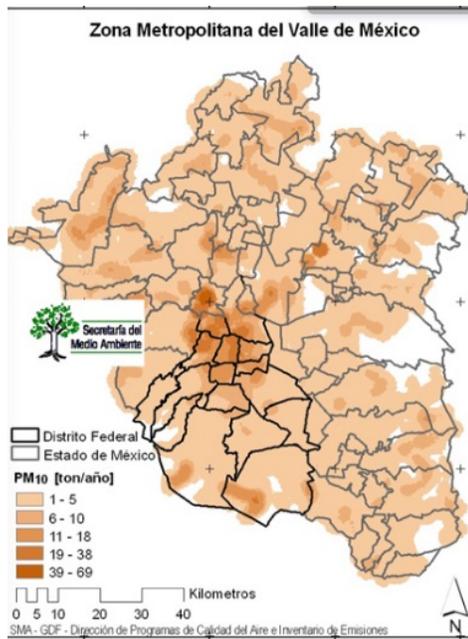


Figura 3.3: Distribución espacial  $PM_{10}$ .

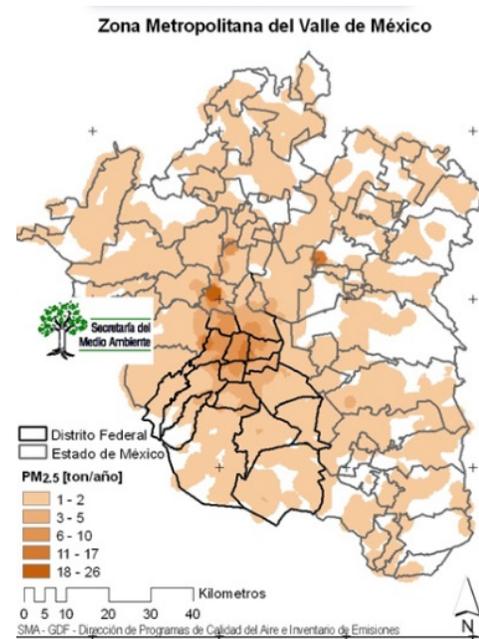


Figura 3.4: Distribución espacial  $PM_{2.5}$ .

### 3.2.5. Dióxido de azufre

El  $SO_2$  se encuentra en forma de aerosoles, denominado como el más perjudicial para las plantas, es uno de los principales gases emitidos en las ciudades principalmente por actividades industriales, vehículos automotores y quema de biomasa (Granados et al., 2010). Siendo un precursor de la lluvia ácida, este contaminante en exposiciones agudas con altas concentraciones se atribuye a la disminución del grosor de la hoja, puede causar necrosis foliar y clorosis en las hojas, así como en la senescencia prematura, también la fitotoxicidad relacionada a la formación de  $SO_3$  en tejido mesófilo (Alcalá et al., 2008). En año 2008 la alcaldía Iztapalapa se registró con 1-5 ton/año, (figura 3.5).

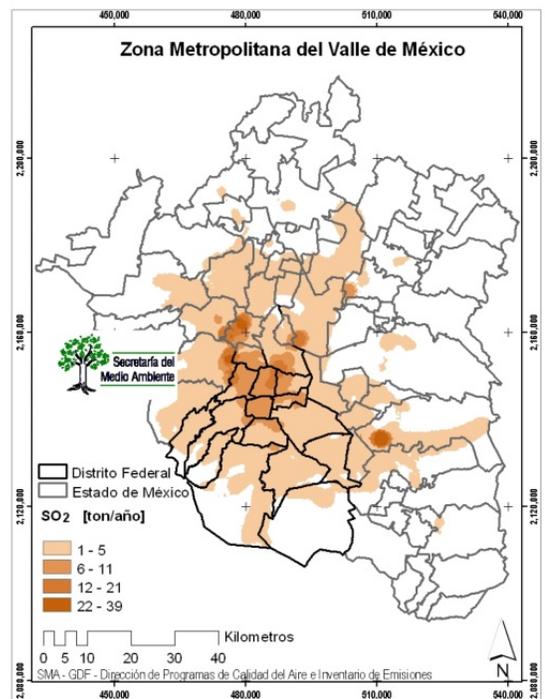


Figura 3.5: Distribución espacial  $SO_2$   
Tomado de Inventario de Emisiones, 2008

### 3.2.6. Emisiones biogénicas

Se constituyen por los hidrocarburos emitidos de la vegetación (DGGCARETC y DCA, 2019). Su patrón de emisión depende de la fuente dentro de la hoja, la biomasa foliar, la trayectoria de difusión, la volatilidad de los compuestos o los factores ambientales como las condiciones de estrés o los mecanismos de defensa (Cerecedo et al., 2017). Estas emisiones juegan un papel importante en la composición química y características físicas de la atmósfera, contribuyen a la formación de ozono troposférico, por lo que aumentan los niveles de contaminación fotoquímica, y por la formación de aerosoles tienen un efecto directo e indirecto en el efecto invernadero (Cerecedo et al., 2017). En la alcaldía Iztapalapa en 2008,(figura 3.6), se registraron de 300 a 499 ton/año.

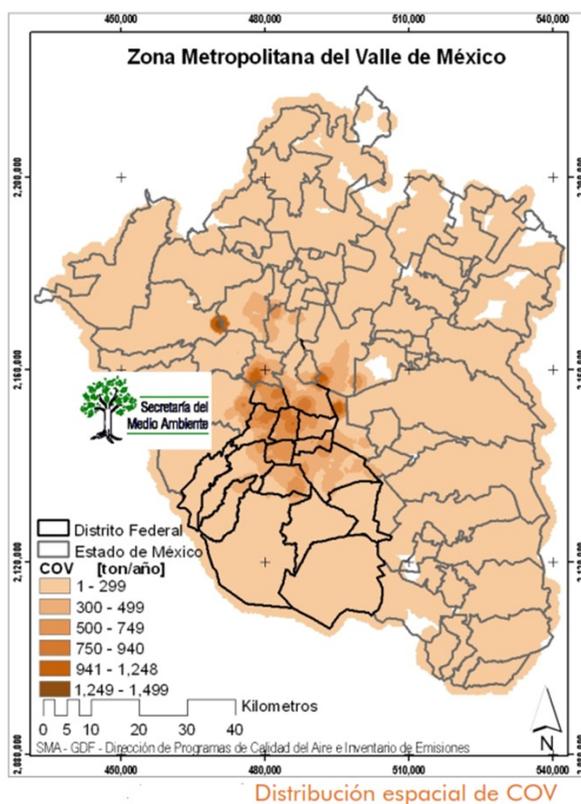


Figura 3.6: Emisiones biogénicas Cuenca del Valle de México (ton/año)

Tomado de Inventario de Emisiones, 2008

### 3.2.7. Contaminantes y su interacción en los árboles

A nivel mundial, los árboles ofrecen la capacidad de eliminar cantidades significativas de contaminantes de aire y en consecuencia, mejorar la calidad ambiental y salud humana (Escobedo y Chacalo, 2008).

Los árboles eliminan la contaminación del aire gaseoso mediante la absorción a través de los estomas de las hojas y las lenticelas presentes en la corteza (estas realizan intercambio de gases, respiración y transpiración). Una vez dentro de la hoja los gases se difunden en los espacios intercelulares y pueden ser absorbidos por películas de agua para formar ácidos o reaccionar con las estructuras internas de la hoja, (Smith, 1990).

Los árboles también eliminan la contaminación al interceptar partículas en el aire. Algunas partículas pueden ser absorbidas por el árbol, aunque la mayoría de las partículas que son interceptadas quedan retenidas en los tricomas. La partícula interceptada a menudo se suspende en la atmósfera, se lava con la lluvia o se deja caer al suelo con la caída de hojas y ramas. En consecuencia, la vegetación es solo un sitio de retención temporal para muchas partículas atmosféricas (Nowak et al., 2006).

A través de la transpiración los árboles incrementan la humedad, que ayuda también a lavar el aire de partículas contaminantes; igualmente, contribuyen a enmascarar ciertos olores desagradables, reemplazándolos con aromas y fragancias desprendidos de su follaje y de sus flores (Corzo,2007).

Como resultado de las interacciones entre las sustancias al interior de los árboles, los daños a estos se manifiestan de diferentes maneras. La adsorción y absorción de contaminantes provoca estas reacciones químicas, como pérdida de la clorofila afectando directamente a la fotosíntesis, cambios en el metabolismo, que pueden inhibir su crecimiento y afectar a la productividad de la planta en cuestión de servicios ambientales (figura 3.7).

Reportado por Gómez en 2022, la relación de los contaminates y la salud de los árboles se vincula a aspectos específicos del metabolismo y estos mecanismos aún son cuestiones no resueltas, debido a que la contaminación atmosférica y su daño con relación a las especies necesita de nuevas tecnologías para ser evaluados.

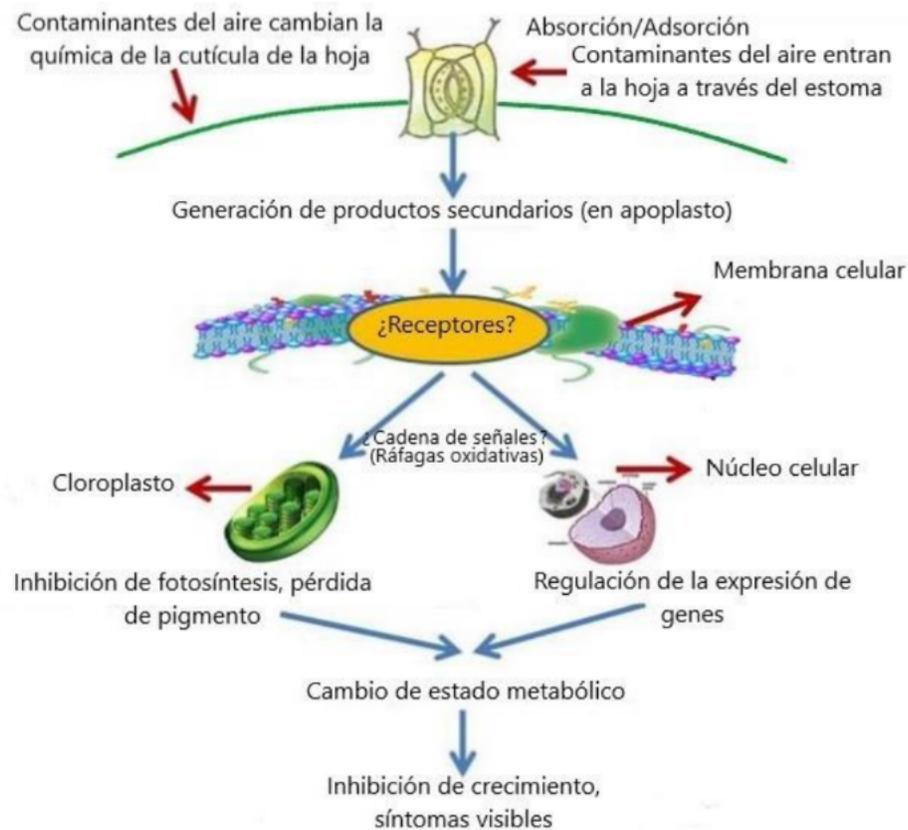


Figura 3.7: Mecanismo de interacción de contaminantes en plantas.

Tomado de Gómez, 2022

### 3.3. Estructura arbolada en un área institucional

#### 3.3.1. Área verde

Según PAOT en 2014, se definen como áreas en las que se encuentran especies de flora arbórea y arbustiva localizadas en suelo urbano, así como especies introducidas para mejorar sus servicios ecosistémicos (SE), y por lo tanto su valor ambiental, de acuerdo con la cantidad de SE que el área proporcione aumentará su valor estético, científico, educativo, recreativo, histórico o turístico, ya que además contribuyen a preservar la calidad del ambiente de dicha ciudad.

### *Aporte del área verde*

Entre los beneficios que proporciona una área verde se encuentran: la regulación del clima, mejoran la temperatura del aire mediante el control de la radiación solar, (Corzo, 2007), la reducción del calor, la cantidad de masa foliar y el tipo de copa van a contribuir a la mitigación del calor por la transpiración, reducen la energía de los edificios y las consiguientes emisiones de las plantas de energía como reducciones de temperatura, sombra de los árboles, (Nowak et al., 2006), secuestro o almacenamiento de carbono proporcional a la cobertura vegetal, edad, distribución de tamaños y longevidad, (Razo et al., 2013), inocuidad del aire, los árboles remueven contaminantes a través de sus hojas y regulación de las inundaciones debido a la absorción del agua efectuada por el sistema radicular, (Martínez et al., 2018; FAO, 2016) son considerados los beneficios más importantes del arbolado urbano (Dobbs et al., 2019). Así mismo, el arbolado urbano contribuye de manera directa a la plusvalía de las ciudades, debido al aumento del valor de las propiedades (Wolf, 2017).

También pueden ayudar a mejorar la calidad del aire al reducir la temperatura del aire, eliminar los contaminantes y reducir el consumo de energía de los edificios, por lo que reducen las emisiones de los contaminantes del aire de algunas fuentes eléctricas. Los árboles emiten compuestos orgánicos volátiles que, en algunas circunstancias, pueden contribuir a la formación de ozono. No obstante, investigaciones integrales han demostrado que un mayor número de árboles en una zona conduce a una reducción en la formación de ozono. (Dwyer et al., 2000).

#### **3.3.2. Estrategias eco-fisiológicas**

Para obtener un aprovechamiento máximo del arbolado en las áreas verdes urbanas es necesario evaluar diversas características de cada especie que se desea incluir en los espacios. Comenzando con la longevidad que es proporcional al tipo de crecimiento, lento, medio y rápido. Las especies cobran relevancia en términos de la proyección a futuro de lo que se desea obtener, ya que si un árbol tiene una longevidad mayor tardará más tiempo en brindar beneficios, pero probablemente los brindará por más tiempo.

En zonas altamente pobladas los árboles están sometidos a estrés continuo, por lo que puede disminuir su crecimiento e incluso causar su muerte. La altura de los árboles es un parámetro que debe considerarse desde la plantación ya que es un proceso que no puede ser detenido, así como el ancho de la copa, que es proporcional a la expansión del sistema radicular de cada especie.

Los espacios planeados para cada árbol se deben considerar de acuerdo con lo mencionado; en zonas densamente pobladas los árboles están sometidos a una tensión continua que puede disminuir significativamente su crecimiento e incluso causar su muerte, (Corzo,2007).

Algunos factores que causan problemas a los árboles son provocados por la falta de agua debido a la pavimentación, aceras y obras de drenaje para el agua de lluvia; la contaminación del suelo impide que los nutrientes sean tomados por los árboles, el agua y el aire; la destrucción de las partes aéreas y podas anti técnicas.

Para el aprovechamiento máximo sostenible de los árboles es necesario tener un plan de manejo que indique la sustitución de la plantación conforme el paso de los años, debido a que un árbol considerado brinjal no proporcionará las mismas cantidades ni el mismo tipo de servicios ecosistémicos que los árboles maduros, o los árboles seniles, esto va a depender de cada especie (Razo et al., 2013).

La estabilidad está relacionado con el concepto de perturbación; un sistema se considera estable si, después de pequeñas perturbaciones, siempre regresa a una posición de equilibrio de referencia. En caso contrario, se describe como un sistema inestable, es decir, para cada categoría diamétrica, la cantidad de árboles que se plantan debe ser igual a la cantidad de árboles en etapa juvenil que están pasando a la etapa adulta más el número de árboles eliminados del sistema, incluyendo las muertes, (López et al., 2008).

### **3.4. Servicios ecosistémicos**

A todo el conjunto de beneficios que la vegetación brinda al ecosistema se le denominan Servicios Ecosistémicos, para este estudio, los que brinda el arbolado están representados por una variada gama de servicios de aprovisionamiento, divididos en 4 ramas; aprovisionamiento, regulación, soporte y cultural (Balvanera, 2012), algunos ejemplos de estos son la regulación de los flujos hídricos, la erosión de suelo, la escorrentía, la temperatura y el clima, la reducción del ruido, la purificación del aire y reducción de contaminantes atmosféricos, el tratamiento de residuos, la polinización y dispersión de semillas, el avistamiento de fauna, la recreación y el desarrollo cognitivo (Martínez et al., 2021).

Las investigaciones sobre servicios ecosistémicos urbanos (SEU) se han llevado principalmente en Norteamérica, China y Europa, con perspectivas ecológicas, de planificación y, en menor medida, sobre gobernanza. Los SEU de regulación han sido mejor evaluados en contraste con los de soporte, tomando como focos de estudio los bosques urbanos, árboles

aislados y parques urbanos (Haase et al., 2014). Sólo un 5% de publicaciones en SE han sido realizadas en centro y sur de América (Dobbs et al., 2019), principalmente en Brasil, México y Chile, donde los bosques y parques urbanos, en conjunto con la infraestructura verde, son los elementos predominantemente estudiados y donde los servicios de regulación predominan en las investigaciones, mientras que los servicios culturales o de aprovisionamiento son poco estudiados (Martínez et al., 2021).

Finalmente, a nivel de los campus universitarios en contextos urbanos y periurbanos, son escasas las investigaciones. Debido a lo anterior, es necesario conocer la capacidad de las especies arbóreas, en específico para este estudio, nos centraremos en servicios de regulación y soporte, además, el manejo del arbolado urbano en las ciudades, con la finalidad de gestionar, conservar y dirigir el uso sostenible de este recurso (Ortíz, 2020).

En la (figura 3.8) se muestra la relación de los servicios ecosistémicos y los procesos de regulación, soporte y el aporte de provisión y como elementos culturales. El tipo de SE que se busca obtener en la FES Zaragoza CII van encaminados a regulación y soporte.



Figura 3.8: Procesos y productos de los servicios ecosistémicos. (Autoría)

### 3.4.1. Almacenamiento y captura de carbono

Las plantas capturan carbono para llevar a cabo la fotosíntesis. En el metabolismo CAM se almacena dióxido de carbono, también almacenan carbono como producto de la formación de azúcares en la fotosíntesis. Se libera dióxido de carbono en la respiración y en la degradación de materia seca, esto permite reducir la concentración de este elemento en la atmósfera, que se da de forma natural pero se incrementa en gran medida con la actividad humana. La productividad secundaria o productividad neta depende de la gestión de la cobertura vegetal, edad, distribución de tamaños, estructura y composición de estos. (Razo et al., 2013).

La proporción de absorción de carbono de los árboles es una función del índice de crecimiento y de la edad. En general, los árboles absorben grandes cantidades de carbono cuando son jóvenes y crecen rápidamente (Sandoval, 2019). La tasa de fijación de carbono a través de la fotosíntesis es mayor en árboles jóvenes que en árboles adultos, pero hablando de almacenamiento total de carbono, es mayor en los árboles adultos; esto se debe a que en los ecosistemas terrestres, el carbono queda retenido en diversas formas a lo largo del tiempo, incluyendo la biomasa aérea, el mantillo, la madera muerta, la biomasa subterránea y el suelo. Los árboles tienen la capacidad de fijar y asimilar carbono de manera estable en la parte leñosa, en grandes cantidades durante toda su vida, En un árbol completo. aproximadamente el 84 % de la biomasa se almacena en el fuste, de la cual el 46 % corresponde al carbono, (Razo et al., 2013).

### 3.4.2. Producción de oxígeno

La producción neta de oxígeno de los árboles es la cantidad de oxígeno producido durante la fotosíntesis menos la cantidad de oxígeno consumido durante la respiración de las plantas (Wohlleben, 2016):



Si la absorción de dióxido de carbono durante la fotosíntesis excede la liberación de dióxido de carbono por la respiración durante el año, el árbol acumulará carbono como secuestro de carbono. Así, un árbol que tiene una acumulación neta de carbono durante un año también tiene una producción neta de oxígeno y se les llama año de crecimiento (Nowak et al., 2007).

La cantidad de el oxígeno producido se estima a partir del secuestro de carbono basado en pesos atómicos: liberación neta de  $O_2$  (kg/año) = secuestro neto de C (kg/año)  $\times$  32/12. La cantidad neta de oxígeno producido por un árbol durante un año está directamente relacionado con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, que está ligado a la acumulación de biomasa arbórea. La biomasa para cada árbol medido se calculó usando ecuaciones de la literatura con datos de diámetro a nivel del pecho y altura del árbol (Nowak y May, 1994; Nowak, 2002).

### 3.4.3. Evapotranspiración

Las ciudades crean efectos en el clima debido a la alta irradiación proveniente del Sol, de sus edificios y diversas construcciones, llegando a alcanzar hasta del 90%. A esto se le aumenta el calor incorporado a la atmósfera provocado por combustión de automóviles, industria, calefacción y aparatos eléctricos. La convección de esta forma de calor provoca corrientes de aire que convergen en todas direcciones cuando la velocidad del viento cambia a débil.

Las áreas verdes tienen un efecto regulador sobre el clima, modifican la temperatura, la humedad, la radiación solar, el viento y la evapotranspiración. La efectividad de los árboles y arbustos en los aspectos mencionados depende de la densidad del follaje, tipo de copa, forma de las hojas y patrones de ramificación. Los árboles caducifolios son potentes controladores de calor; debido a que en el verano ellos interceptan la radiación solar y bajan la temperatura debajo a su follaje, al perder sus hojas da como resultado un incremento de temperatura por la radiación solar. Los árboles y la vegetación en general contribuyen al mejoramiento del clima a través de la evapotranspiración, por lo cual han sido llamados acondicionadores naturales del aire. Un solo árbol puede transpirar aproximadamente 400 litros de agua al día (Corzo, 2007).

La evapotranspiración es producto de la suma de vapor de agua que se libera por el suelo y la vegetación hacia la atmósfera (Hidalgo, 2021). Éste proceso está asociado con la productividad de un ecosistema debido a la asimilación de dióxido de carbono, producido

durante la fotosíntesis y transpiración regulado por la apertura y cierre de los estomas; todo lo anterior depende de el clima, tipo de vegetación, etapa fenológica, manejo de la tierra y el calentamiento global.

En esta dinámica la precipitación influye directamente en la vegetación.(Biederman et al., 2017). Cuando hay sequía, la transpiración se ve afectada por el estrés de las plantas, (Hidalgo, 2021).

#### ■ **Polinizadores en un área institucional**

La polinización es la transferencia de granos de polen de la antera al estigma de dos flores, dándonos como resultado semillas, frutos y una nueva generación de plantas (CONABIO, 2021); en las plantas gimnospermas principalmente el viento funge el papel de dispersión de estas estructuras para la polinización, a lo que se le conoce como polinización anemófila, y en las angiospermas, los insectos se encargan de la polinización llamada entomófila (Barcelona, 2020).

Los polinizadores juegan un papel importante en el ambiente, las especies polinizadoras asociadas con el bosque urbano son colibríes, abejas, avispas, escarabajos y mariposas, etc., sin embargo, están amenazadas, debido a la industrialización de la agricultura, el uso desmedido de insecticidas, plagas o enfermedades en especies arbóreas del tipo nativas o exóticas y a la contaminación atmosférica, (CONABIO, 2021). Estos organismos son los responsables de la reproducción sexual de más del 80 % de las plantas vasculares terrestres (Potts et al., 2016).

#### 3.4.4. **Software como herramienta para el cálculo de SE**

Estas herramientas permiten a los planificadores urbanos, investigadores y gestores forestales realizar evaluaciones y toma de decisiones informadas en relación con el arbolado urbano y la gestión del paisaje urbano, como lo son:

- **i-Tree Canopy**: esta herramienta se enfoca en la evaluación y mapeo de la cobertura arbórea en áreas urbanas. Permite a los usuarios cuantificar la distribución espacial de los árboles y su contribución a la cobertura de copas en un área determinada.
- **Tree Plotter**: es una plataforma que ayuda a gestionar árboles urbanos. Permite realizar inventarios de árboles, mapearlos y calcular los beneficios ecosistémicos que proporcionan.

- **Sylvan Metric:** es una herramienta de software que evalúa los servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques urbanos. Ayuda a medir y cuantificar beneficios como la captura de carbono y la calidad del aire.
- **Open TreeMap:** es una plataforma en línea que permite gestionar y compartir datos sobre árboles urbanos. Los datos recopilados se utilizan para evaluar los servicios ecosistémicos.
- **Urban Greening and Biodiversity Planning Software:** Esta es una herramienta que se utiliza para planificar, diseñar y evaluar áreas verdes urbanas y proyectos de biodiversidad.

El funcionamiento de estas herramientas suele involucrar la recopilación de datos sobre árboles y paisajes urbanos, así como datos ambientales. Luego, utilizan modelos y algoritmos para calcular los beneficios ecosistémicos, como la calidad del aire, la temperatura, la captura de carbono y otros. Los resultados se utilizan para informar las políticas y la toma de decisiones en la gestión de áreas verdes y árboles urbanos. Cada herramienta puede tener sus propias características y enfoques específicos que se adapte a las necesidades del estudio.

### 3.5. i-Tree

Es un software creado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (Ortiz, 2020); i-Tree Eco evalúa la estructura de los bosques urbanos y cuantifica los servicios ambientales que brindan, usando bases de datos obtenidas de bosques urbanos mundialmente así como datos específicos de la ubicación, meteorológicos y mediciones de contaminantes del aire. (i-Tree Eco, 2016). Este programa puede vincular las actividades de manejo forestal urbano con la calidad ambiental y calidad de vida de la comunidad, de acuerdo a la necesidad que se requiera satisfacer.

Se desarrolló a partir del modelo Urban Forest Effects (UFORE) y utiliza su componente de deposición seca (UFORE-D) para simular la eliminación de contaminación de árboles y arbustos, (Nowak, 2006).

Este software utiliza la superficie foliar y la transpiración para simular la deposición seca de la contaminación del aire para los siguientes contaminantes: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno ( $O_2$ ), ozono ( $O_3$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), partículas de menos de 10 micrones ( $PM_{10}$ ) y partículas de menos de 2,5 micrones ( $PM_{2.5}$ ), (Escobedo y Chacalo, 2008).

Evalúa el aporte del arbolado urbano a la calidad de aire, regulación de escorrentía superficial, secuestro y almacenamientos de carbono, remoción de contaminantes del aire, provisión de sombra entre otros; los cuales son sumamente importantes para la mitigación del cambio climático y sostenibilidad de las ciudades (Ortiz, 2020).

Las diferentes paqueterías de i-Tree aportan información relevante para la planificación y toma de decisiones del arbolado, (Osorio et al., 2021), ya que el programa puede evaluar desde pequeños parques hasta bosques completos, sin importar el número de especies ni individuos (i-Tree Eco, 2016).

### **Parámetros que utiliza i-Tree Eco**

1. **Diámetro a la altura del pecho:** El diámetro del tronco del árbol a la altura del pecho (DAP), que se estima en 4,5 pies o 1.37 metros sobre el suelo.
2. **Altura fustal:** Altura desde el suelo hasta la base de la copa viva. La base de la copa viva es el punto del tronco principal perpendicular a la parte más baja del follaje vivo en la última rama que se incluye en el copa viva
3. **Altura de la copa:** Altura desde el suelo hasta la parte superior viva del árbol. Esta altura será la misma que la altura total del árbol a menos que el árbol está vivo, pero la parte superior de la copa esté muerta.
4. **Altura total:** Altura desde el suelo hasta la parte superior del árbol.
5. **Ancho de copa:** El ancho de la copa se mide en dos direcciones: norte-sur y este oeste
6. **Copa faltante (%)**: La copa faltante es la silueta creada por el ancho vivo de la copa, altura total y la altura a la base de mediciones de la copa viva.
7. **Muerte regresiva (%)**: Muerte de ramas en el lado o lados y la parte superior del área de la corona.
8. **Exposición a la luz:** Número de lados de la recepción de luz del sol del árbol desde arriba.
9. **Estación RAMA:** Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, para este estudio se ocupó la estación Licenciado Benito Juárez (Estación 7666793-MMMX) y datos de contaminación horaria año 2015.

### 3.5.1. i Tree en un contexto institucional

Para el manejo del arbolado en un área institucional cobran relevancia los SE de regulación y soporte debido al estudio de las especies que brindan un confort para los estudiantes que pasan horas dentro de esta (Martínez et al., 2021), así como los espacios de crecimiento de los árboles y su salud. Debido al espacio que se encuentra en las escuelas para crear un área verde es importante evaluar el tipo de copa, alturas totales, fenología y tipos de crecimiento, y para la convivencia entre ellas se necesita evaluar la retención de agua, almacenamiento de carbono, remoción de contaminantes y producción de oxígeno para crear el ambiente deseado, así como incentivar la biodiversidad para evitar las plagas y muerte masivas de árboles de la misma especie (Marroquín, 2012).

#### Investigaciones anteriores de servicios ecosistémicos

En la siguiente tabla se recopilaron algunas de las investigaciones más destacadas en relación con la cuantificación de servicios ecosistémicos para especies arbóreas y planificación de áreas verdes, enfatizando en ciudades y espacios institucionales. .

Tabla 3.1: Estudios relacionados a la creación el modelo y uso específico en árboles

Autor(es)	Año	Resumen
Maass et al.,	1995	Creación del modelo UFORE para estimar los efectos marginales de remoción de contaminación atmosférica teniendo en cuenta al menos dos condiciones del arbolado: Su distribución espacial y su densidad de hojas.
Nowak	2002	Determinó el impacto de la vegetación urbana en la mejora de la calidad del aire y propuso estrategias de gestión forestal urbana.
GDF Y SMA	2003	Primer inventario de AVU en CDMX, encontrando que el área verde por habitante es de $5.3 m^2$ , mientras que la OMS estipula $9 m^2$ por habitante.

Rojas	2004	Estimó la biomasa y el carbono potencial para el Parque Nacional de la Malinche con la especie <i>Pinus hartwegii</i> , con un valor promedio de 101 Mg y realizó una proyección de captura potencial utilizando un volumen calculado y el incremento de Corriente Anual para una estimación de los años 2008, 2013, 2018, 2023, 2028, 2043 y 2053.
Servicio Forestal del USDA citado de Nowak, 2021	2006	Se creó el programa I- Tree con base en el modelo UFORE, para un análisis más específico de la vegetación arbórea.
Escobedo y Chacalo	2008	Evaluaron el arbolado de la CDMX y su relación con la descontaminación de O <sub>3</sub> de 4.8 gm <sup>2</sup> , promoviendo plantar árboles con características específicas a los sitios, destacando los servicios de soporte y regulación.
Meza y Moncada	2010	Resaltaron la importancia del manejo adecuado para las áreas verdes urbanas en la CDMX y no considerar sólo los aspectos estéticos para la plantación.
PAOT	2010	Estableció que se debe contar con una normatividad y herramientas para el mantenimiento y planeación de las áreas verdes urbanas así como un monitoreo de arbolado y recursos económicos suficientes.
Benavides y Fernández	2012	Señalaron que los bosques urbanos contribuyen a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, establecen la importancia de conocer las características de las áreas verdes urbanas, precisaron que la CDMX carece de programas de manejo forestal.
López y Benavides	2014	Evaluaron la respuesta de seis especies arbóreas nativas de México, ( <i>Bursera fagaroides</i> , <i>Pinus cembroides</i> , <i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl. var. <i>australis</i> , <i>Pinus maximartinezii</i> , <i>Thevetia thevetioides</i> y <i>Heliocarpus reticulatus</i> ), concluyendo que todas las especies, con excepción de <i>Pinus cembroides</i> , mostraron una buena respuesta a las condiciones ambientales de la 2a sección del Bosque de Chapultepec.

DOF	2016	Determinaron que las especies exóticas pueden tornarse invasivas y causar efectos diversos en la biodiversidad (ecosistemas, especies y genes) como en los servicios ecosistémicos, así como daños a la salud y a las actividades económicas productivas
Programa Manejo Valor Ambiental	2018	Plantearon una reforestación para la 3 a sección del Bosque de Chapultepec durante un periodo de 30 años con <i>Pinus spp.</i> , <i>Quercus spp.</i> , <i>Buddleja cordata</i> , <i>Fraxinus udhei</i> , <i>Callitropsis lusitanica</i> , <i>Acer negundo</i> con el fin de aumentar los servicios ecosistémicos, erradicando la prominencia de árboles exóticos.
De la Concha y Roche	2018	Obtuvieron los SE de 582,775 árboles en Playa del Carmen, Q. Roo con ayuda del software i-Tree Eco.
De la Concha y Roche	2018	Obtuvieron los SE de 134 especies arbóreas de las cuales el 15 % (21 especies) representan al 70 % de la población en Mérida, Yucatán con ayuda del software i-Tree Eco.
Ortiz	2020	Propuso i-Tree como herramienta de evaluación probado en diversos países, demostrando ser un instrumento que aporta información relevante para la planificación y toma de decisiones de los bosques y bosques urbanos
Martínez, et al.	2021	Destacó la percepción de los servicios ecosistémicos en un área institucional, resaltando el impacto de la vegetación en estudiantes de licenciatura, los servicios culturales y de regulación recibieron las mayores valoraciones.
Martínez et al.	2021	Obtuvieron los SE de 391 individuos en Texcoco de Mora, Estado de México con ayuda del software i-Tree Eco.

## 3.6. Planteamiento del problema

La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II se encuentra en un área con un alto nivel de contaminación atmosférica y una escasez de áreas verdes. No obstante, a pesar de albergar más de 800 árboles distribuidos en todo el Campus, se desconocen los servicios ecosistémicos producción de oxígeno, captura de carbono, almacén y transpiración de agua, así como la remoción de contaminantes que brindan.

## 3.7. Pregunta de Investigación

Considerando solamente la población arbórea dentro del Campus 2: ¿Qué especies tienen más potencial de mejorar los servicios ecosistémicos y que puedan contribuir al bienestar de la comunidad que frecuenta el Campus?

## 3.8. Objetivos

### ■ General

Analizar los servicios ecosistémicos ofrecidos por las especies arbóreas presentes en el Campus II de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, para identificar las especies con mayor potencial de elevar los SE de regulación y soporte.

### ■ Específicos

Caracterizar las especies arbóreas presentes en la FES Campus II para realizar un “Hand book” con algunos rasgos fisiológicos, morfológicos y ambientales de cada especie presente.

Censar y georreferenciar en un mapa de Q-GIS cada una de las especies arbóreas para deducir espacios de crecimiento, áreas con sobrepoblación o con espacios vacíos y la concentración de la biodiversidad.

Registrar para cada especie las variables epidemiométricas (DAP, alturas totales, cobertura de copa, muerte regresiva, etc), para obtener los servicios ecosistémicos.

Seleccionar las especies que aportan mayores servicios ecosistémicos para contrastarlas con la densidad de árboles presentes.

Mencionar ciertos lineamientos para el manejo forestal del campus, encaminados a mantener e incentivar los SE del arbolado institucional.

## 4. | Método

### 4.1. Área de estudio

La alcaldía de Iztapalapa se localiza en la parte oriente de la Ciudad de México, con las siguientes coordenadas geográficas: al Norte 19° 24´; al Sur 19° 17´ de latitud Norte. Al Este 98° 58´, al Oeste 99° 08´ de longitud Oeste. La Delegación en sus partes de planicie tiene una altitud de 2,240 msnm. Actualmente la extensión territorial de la Delegación Iztapalapa es de 11,667 ha, que representan el 7.62% del área total de la Ciudad de México, con un total de 1,835,486 habitantes, (Iztapalapa, 2011). PAOT reportó en 1993, para la Alcaldía Iztapalapa, un clima templado subhúmedo, con una temperatura promedio de 16.7°C y una precipitación acumulada de 449.60 mm., (Iztapalapa, 2011).

Por ser una delegación urbana casi en su totalidad, las únicas zonas que tienen algún tipo de flora sin modificaciones son: la Sierra de Santa Catarina y El Cerro de la Estrella. La sierra presenta arboles de Pirul Común y maleza, requiriendo una reforestación en su totalidad. En el Cerro de la Estrella los programas de reforestación plantaron Pinos, Eucaliptos y Pirules. Fauna: La fauna natural se ha extinguido o emigrado por el crecimiento del área urbana, subsistiendo de forma limitada aves, mamíferos y reptiles en la Sierra de Santa Catarina. En el área urbanizada se han generado plagas de roedores e insectos nocivos por la existencia de tiraderos de basura en espacios públicos y de canales abiertos que desalojan aguas residuales, (PAOT, 1993).

### 4.2. Metodología

#### Identificación de especies

Para la *determinación de especies arbóreas* se utilizaron los siguientes libros:

- Árboles y áreas verdes urbanas de la Ciudad de México y su zona metropolitana, Autora: Lorena Martínez González, Editorial Xochitla.
- Claves taxonómicas CONABIO (online) <https://www.identificacion.conabio.gob.mx>

- Claves de Identificación Naturalis, gobierno de la ciudad [https://naturaleza de la Ciudad de México, CDMX. NaturaLista Mexico](https://naturaleza.de.la.Ciudad.de.México,CDMX.NaturaLista.Mexico).
- Flora fanerogámica del Valle de México. 2<sup>a</sup> Edición Calderón de Rzedowski, Graciela; Rzedowski, Jerzy México, 2001 Instituto de Ecología A.C.
- Temas de Arboricultura: Árboles, Arbustos, Palmas y Frutales para Ciudades (Tomos I y II), Chacalo

Los **parámetros** considerados para la **determinación** de las especies son los siguientes: hoja, inflorescencia, corteza y estructuras reproductivas

Teniendo los ejemplares presentes en el campus se hicieron varios recorridos (junio 2022-diciembre 2022), se tomaron fotografías a un ejemplar completo por especie, cotejando las imágenes y descripciones expuestas en los libros citados anteriormente. Posteriormente se utilizaron las claves taxonómicas de CONABIO y CONAFOR para confirmar la determinación. Al terminar la identificación se realizó un recorrido con la experta en el área, la M. en C. Balbina Vazquez para analizar los taxones de las especies y así poder corroborarlas y en caso de duda, se llegó a la especie correcta.

### ***Mapa y conteo***

El área donde se encuentra ubicada la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza CII, se dividió en 4 sectores, que fueron llamados “*cancha de atletismo, entrada del Puma Bus, estacionamientos y UMIEZ*”. Cada sector fue muestreado con una técnica de barrido con orientación de muestreo de norte a sur, se realizó tres veces para un conteo exacto; se tomaron coordenadas geográficas de cada individuo arbóreo con la aplicación “My GPS Coordinates”, para sistema operativo Android se puede obtener en, <https://n9.cl/alturaandroid>; y para sistema operativo iOS en, <https://n9.cl/mediralturaaios>, los datos se registraron en una hoja de cálculo Excel para la creación de un mapa en el software Q-GIS 3.28, donde se muestra la ubicación de cada especie y todos sus individuos, que se diferenciarán con un color o forma distinta entre ellos.

### ***Recolección de los datos epidemiológicos***

Se utilizó la aplicación “Medir altura” obtenida de <https://n9.cl/mediraltura>, para recolectar la altura desde el suelo hasta la parte superior del árbol (altura total), la altura desde el suelo hasta la base de la copa viva, es decir, el punto del tronco principal perpen-

dicular a la parte más baja del follaje vivo en la última rama que se incluye en el copa viva (altura del fuste) y la altura desde la parte más baja del follaje hasta la parte superior viva del árbol (altura de copa) de cada árbol del Campus II, para esto es necesario colocarse a 10 m de distancia del árbol y añadir el ángulo de inclinación en el que se encuentre el dispositivo, para árboles de más de 15 m, es necesario colocarse a una distancia que permita el panorama total del ejemplar en la pantalla de la aplicación, y medir la distancia que hay entre este y el dispositivo para colocarlo antes de hacer la medición.

Respecto al diámetro a la altura del pecho (DAP) el diámetro del tronco del árbol se estima en 4,5 pies o 1.37 metros sobre el suelo, el criterio de medición fue que cada árbol debería medir un DAP mayor a 8 cm y una forma de copa completa de acuerdo a su especie. El software i-Tree Eco, no tiene restricción alguna sobre el DAP de un árbol, sin embargo, lo cataloga como arbusto en lugar de árbol, en relación a la forma de copa lo cataloga como irregular y no calcula sus SE. De acuerdo al "Manual de campo i-Tree ECO versión 6", se midió el DAP con ayuda de una forcípula Mantax Blue de 100 cm marca "Haglöf".

El ancho de copa se midió en dos direcciones: norte-sur y este-oeste utilizando el flexómetro de 50 m marca "Truper", ubicándonos por debajo de la última hoja de la rama más larga de ambos lados.

Para la recopilación de los datos referentes a la cobertura de copa, porcentaje de copa faltante (es la silueta creada por el ancho vivo de la copa, altura total y la altura a la base de mediciones de la copa viva), porcentaje de muerte progresiva (muerte de ramas en el lado o lados y la parte superior del área de la corona) y la exposición a la luz (es el número de lados de la recepción de luz del sol del árbol desde arriba), se utilizaron esquemas para una valoración visual obtenidos del "Manual de campo i-Tree ECO versión 6". Las características de los árboles se miden en el campo, utilizando el Manual del usuario de i-Tree Eco (i-Tree, 2019) describe cómo recopilar estas variables junto con los procedimientos de garantía de calidad.

### ***Base de datos para el software i-Tree Eco***

Los datos obtenidos en campo se conjuntaron en una base de datos de Excel, colocando un total de 15 columnas pertenecientes a: especie, condición, tipo de suelo, DAP 1, DAP 2, DAP 3, DAP 4, altura total, altura fustal, altura de copa, ancho de copa (N/S), ancho de copa (E/O), porcentaje de copa faltante, porcentaje de muerte regresiva y exposición a la luz, se obtuvieron 681 filas y un total de 10,215 datos que posteriormente se analizaron

con el programa i-Tree ECO esperando obtener una estimación de los SE por especie que proporciona la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II.

Al subir la base de datos al software es necesario seleccionar la familia, el género o la especie de cada árbol, puesto que el software cuenta con una base de datos llamada “**the world plant**” que proporciona información morfológica del árbol (tipo de hoja, tipo de crecimiento, longevidad, hábito, tipo de copa, origen).

Los datos epidemiométricos obtenidos en la fase de campo se utilizan para derivar variables estructurales secundarias, que son el área foliar, la biomasa foliar, el índice de área foliar y la biomasa total del árbol, posteriormente, los datos obtenidos de las primeras variables y derivadas se utilizan para estimar los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono, secuestro bruto de carbono, secuestro neto de carbono, efectos energéticos, eliminación de la contaminación del aire, escorrentía evitada, transpiración, emisiones de compuestos orgánicos volátiles, (Nowak, 2021).

Así mismo para la obtención de datos meteorológicos y de contaminación se utilizó la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (RAMA, 2015), tiene diferentes estaciones dentro de la Ciudad de México, para este estudio se ocupó la estación meteorológica Licenciado Benito Juárez de la Ciudad de México (Estación 7666793-MMMX), los datos de contaminación horaria aceptados por i-Tree son del año 2015, ya que la RAMA solo los tiene actualizados hasta este año.

Para el cálculo de dichos servicios se utilizan diversas ecuaciones, coeficientes y factores de conversión específicos para cada familia, género o especie, cabe mencionar que los creador del software no proporcionaron todas las ecuaciones específicas por especie solamente proporcionaron ecuaciones generales y se pueden consultar en los metadatos del software;

- **Cálculo de flujo de contaminantes para  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  y  $PM_{10}$**

El flujo de contaminantes se calcula como producto de la velocidad de deposición y la concentración de contaminantes en el aire:

$$F = V_d \cdot C \cdot 3600 \quad (4.1)$$

$$F_{min} = V_{d_{min}} \cdot C \cdot 3600 \quad (4.2)$$

$$F_{max} = V_{d_{max}} \cdot C \cdot 3600 \quad (4.3)$$

Dónde

F= Flujo de contaminantes ( $gm^{-2}h^{-1}$ )

$F_{min}$ = Flujo mínimo de contaminantes ( $gm^{-2}h^{-1}$ )

$F_{max}$ = Flujo máximo de contaminantes ( $gm^{-2}h^{-1}$ )

$V_d$ = Velocidad de disposición ( $ms^{-1}$ )

$V_{d_{min}}$ = Velocidad mínima de disposición ( $ms^{-1}$ )

$V_{d_{max}}$ = Velocidad máxima de disposición ( $ms^{-1}$ )

C= Contaminantes del aire ( $gm^{-3}$ )

- **Cálculo de la velocidad de deposición de contaminantes para  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$**

Se calculan como la inversa de la suma de la resistencia aerodinámica ( $R_a$ ), resistencia de la capa límite cuasi-laminar ( $R_b$ ), y la resistencia del dosel ( $R_c$ ) (Baldocchi et al. 1987). La resistencia aerodinámica se puede calcular con datos meteorológicos y, por lo tanto, es independiente de los tipos de contaminantes del aire, mientras que la capa límite cuasi-laminar y las resistencias de la cubierta se calculan por separado. Además, la resistencia del dosel se calcula dependiendo de los períodos dentro y fuera de las hojas.

$$V_d = \frac{1}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.4)$$

Dónde

$V_d$  = Velocidad de deposición ( $ms^{-1}$ )

$R_a$  = Resistencia aerodinámica ( $sm^{-1}$ )

$R_b$  = Resistencia de la capa límite cuasi-laminar para un tipo de contaminación ( $sm^{-1}$ )

$R_c$  = Resistencia del dosel ( $sm^{-1}$ )

■ **Cálculo de la velocidad de deposición de  $PM_{10}$**

La velocidad de deposición de  $PM_{10}$  se calcula con base en los valores promedio, mínimo y máximo informados por Lovett (1994).

$$V_d = V_{d,PM_{10},avg}(\cdot) \frac{BAI + LAI}{BAI + LAI_{PM_{10}}} \quad (4.5)$$

$$V_{d_{min}} = V_{d,PM_{10},min}(\cdot) \frac{BAI + LAI}{BAI + LAI_{PM_{10}}} \quad (4.6)$$

$$V_{d_{max}} = V_{d,PM_{10},max}(\cdot) \frac{BAI + LAI}{BAI + LAI_{PM_{10}}} \quad (4.7)$$

Dónde

$V_{d,PM_{10},avg}$  = Velocidad media de deposición de  $PM_{10}$  (=  $0.0064 \text{ ms}^{-1}$ )  
 $V_{d,PM_{10},min}$  = Velocidad mínima de deposición de  $PM_{10}$  (=  $0.0025 \text{ ms}^{-1}$ )  
 $V_{d,PM_{10},max}$  = Velocidad máxima de deposición de  $PM_{10}$  (=  $0.01 \text{ ms}^{-1}$ )  
 $LAI_{PM_{10}}$  = Índice de área foliar para deposición de partículas (=  $6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ )  
 $BAI$  = Índice de área de corteza (=  $\text{m}^2/\text{m}^2$ )  
 $LAI$  = Índice de área foliar (=  $\text{m}^2/\text{m}^2$ )

■ **Cálculo de la transpiración**

La transpiración es el escape de vapor de agua de las plantas controlado en gran medida por la resistencia de las hojas. El proceso consta de dos etapas: evaporación del agua de las paredes celulares y difusión fuera de la hoja principalmente a través de los estomas.

$$T_f = \frac{C_{hoja} - C_{aire}}{\frac{1}{gs} R_a}(\cdot) \frac{3600}{LAI} \quad (4.8)$$

Dónde

$C_{hoja}$  = Concentración de vapor de agua en las superficies de evaporación dentro de la hoja ( $\text{gm}^{-3}$ )

$C_{aire}$  = Concentración de vapor de agua en el aire ( $gm^{-3}$ )

$g_s$  = Conductancia estomática ( $sm^{-1}$ )

$R_a$  = Resistencia aerodinámica ( $sm^{-1}$ )

$LAI$  = Índice de área foliar ( $sm^{-1}$ )

### ■ Cálculo de producción de oxígeno

La cantidad de oxígeno producido se estima a partir del secuestro de carbono en función de los pesos atómicos:

$$O_{n_2} = (Secuestro_C) \cdot (32 - 12) \quad (4.9)$$

Dónde

$O_n$  = Oxígeno neto liberado ( $kg$ )

$Secuestro_C$  = Secuestro neto de carbono  $kg /$  año

### ■ Cálculo de la biomasa foliar

La biomasa total en peso seco de cada árbol medido se calcula utilizando ecuaciones alométricas:

$$Biomasa_{est} = Biom_{eq} \cdot WD_{spp} / WD_{eq} \quad (4.10)$$

Dónde

$Biom_{est}$  = Estimación de la biomasa ( $kg$ )

$Biom_{eq}$  = Estimaciones de la biomasa derivadas de ecuaciones ( $kg$ )

$WD_{spp}$  = Densidad de la madera de la especie medida

$WD_{eq}$  = Densidad promedio de la madera de la especie medida

### ***Elaboración del Hand book***

Durante el periodo de junio 2022 a agosto 2023 se capturó fotográficamente las estructuras reproductivas, corteza, hojas por haz y envés, y follaje de cada una de las especies, eligiendo los organismos idóneos en cuestión de disponibilidad del árbol, así mismo, debido a

la fenología de los árboles; las hojas, estructuras y frutos se capturaron conforme la estación del año lo permitía, a pesar de que en varios casos los árboles ya estaban identificados se espero a que aparecieran ciertas estructuras para poder incluirlas en el documento para que la descripción del ejemplar fuera ilustrada. Las fotografías fueron elementos preponderantes para la identificación, todas estas imágenes se condensaron en un documento.

Las especies se dividieron en los dos grandes grupos "Gimnospermas y Angiospermas", debido a que las primeras su semilla no se desarrolla en un ovario siendo plantas sin flores ni frutos y su hoja suelen ser aciculares; las segundas presentan semillas rodeadas de frutos, presentan flores y sus hojas pueden ser planas. Se añadieron diversos anexos para facilitar la identificación en campo.

Para cada especie se elaboró una ficha que señala la altura, el ancho de copa, la fenología, la velocidad de crecimiento, el tipo de copa, tipo de hoja, periodo de poda recomendado y su origen, de acuerdo a la bibliografía, así mismo se incluyeron las fotografías como material ilustrativo de apoyo a la identificación. Se seleccionaron los datos obtenidos del software i-Tree Eco de emisión de COVs, remoción de NO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; CO; O<sub>3</sub>; PM<sub>2.5</sub>; PM<sub>10</sub>, producción de oxígeno y evapotranspiración (dichos datos son el per cápita por especie) para incluirlos en una columna en la parte izquierda de cada ficha.

## 5. | Resultados y análisis

### 5.1. Registro del arbolado

Dentro del Campus 2, se identificaron un total de 65 especies de árboles. Sin embargo, es importante destacar que nueve de estas especies, a saber: *Buddleja cordata*, *Crataegus mexicana*, *Euphorbia umbellata*, *Hibiscus tiliaceus*, *Macadamia integrifolia*, *Magnolia grandiflora*, *Populus alba*, *Prunus armeniaca* y *Thevetia peruviana*, no cumplen con los requisitos necesarios para calcular sus servicios de soporte y regulación.

La tabla 5.1 muestra el número de árboles con los que cuenta cada uno de las 65 especies, 29 de estas cuentan con menos de 3 individuos plantados en el campus universitario señaladas con (\*), debido al número reducido de árboles que estas poseen, su calculo de SE no puede generalizarse, ya que no contamos con la población necesaria para estimar el valor promedio por especie.

Tabla 5.1: Especies e individuos plantados.

ID	Familia	Especie	Individuos
1	Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> *	3
2	Fabaceae	<i>Acacia melanoxylon</i>	15
3	Fabaceae	<i>Acacia saligna</i>	4
4	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> *	3
5	Araucariaceae	<i>Araucaria heterophylla</i> *	3
6	Fabaceae	<i>Bauhinia variegata</i>	15
7	Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata</i> *	1
8	Papaveraceae	<i>Bocconia arborea</i> *	2
9	Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i> *	2
10	Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i>	7
11	Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>	71
12	Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i> *	1
13	Rutaceae	<i>Citrus limon</i>	11
14	Rutacea	<i>Citrus × aurantifolia</i> *	2
15	Rutaceae	<i>Citrus × sinensis</i>	5
16	Rosaceae	<i>Crataegus mexicana</i> *	1
17	Pinaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	131
18	Pinaceae	<i>Cupressus sempervirens</i>	58
19	Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	9
20	Fabacea	<i>Erythrina coralloides</i> *	3
21	Myrtaceae	<i>Eucalipto camaldulensis</i>	4
22	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia triucalli</i> *	3
23	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia umbellata</i> *	1
24	Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	63
25	Moraceae	<i>Ficus carica</i>	13
26	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>	89
27	Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	6
28	Malvaceae	<i>Hibiscus tiliaceus</i> *	1
29	Convolvulaceae	<i>Ipomoea murucoides</i> *	1
30	Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	22
31	Juglandaceae	<i>Juglans cinerea</i> *	1
32	Fabaceae	<i>Leucaena esculenta</i>	6

33	Oleaceae	<i>Ligustrum lucidum</i>	38
34	Proteaceae	<i>Macadamia integrifolia</i> *	1
35	Proteaceae	<i>Macadamia ternifolia</i>	4
36	Magnoliaceae	<i>Magnolia grandiflora</i> *	1
37	Rosaceae	<i>Malus domestica</i> *	2
38	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	7
39	Moraceae	<i>Morus celtidifolia</i>	4
40	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> *	2
41	Lauraceae	<i>Persea americana</i> *	1
42	Arecaceae	<i>Phoenix canariensis</i>	13
43	Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i>	18
44	Pinaceae	<i>Pinus patula</i>	38
45	Pinaceae	<i>Pinus moctezumae</i>	6
46	Fabaceae	<i>Pithecellobium dulce</i>	2
47	Salicaceae	<i>Populus alba</i> *	1
48	Salicaceae	<i>Populus deltoides</i>	4
49	Leguminosae	<i>Prosopis laevigata</i> *	3
50	Rosaceae	<i>Prunus aramericana</i> *	1
51	Rosaceae	<i>Prunus domestica</i> *	2
52	Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	22
53	Rosaceae	<i>Prunus serotina</i>	4
54	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	6
55	Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> *	3
56	Salicaceae	<i>Salix bonplandiana</i> *	1
57	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	69
58	Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> *	2
59	Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i>	4
60	Tamaricaceae	<i>Tamarix gallica</i>	8
61	Taxodiaceae	<i>Taxodium mucronatum</i>	5
62	Apocynaceae	<i>Thevetia peruviana</i> *	1
63	Ulmaceae	<i>Ulmus parvifolia</i> *	1
64	Arecaceae	<i>Washingtonia robusta</i>	6
65	Asparagaceae	<i>Yucca gigantea</i>	28
		Total de árboles	865

### 5.1.1. Censo del arbolado

Hasta el 25 de abril de 2023, se llevó a cabo un detallado inventario de árboles, revelando un total de 865 ejemplares contabilizados. De esta cifra, se seleccionaron meticulosamente 681 árboles para su inclusión en el programa i-Tree Eco. La finalidad de esta inclusión fue la evaluación de los servicios ecosistémicos relacionados con el soporte y la regulación ambiental que estos árboles proporcionan.

Los 183 árboles restantes, lamentablemente, no pudieron formar parte del inventario principal debido a que no cumplían con los requisitos mínimos estipulados en términos de diámetro a la altura del pecho (DAP) y la estructura de la copa, tal como establecido por los estándares del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). La exclusión de estos árboles se basó en la presencia de una ecuación alométrica especialmente diseñada que tiene la capacidad de calcular tanto la biomasa húmeda como la biomasa seca de los árboles. A través de esta ecuación, se obtiene información valiosa acerca del volumen de la copa, la tasa de fotosíntesis, el área foliar, la producción de oxígeno, la capacidad de prevenir la erosión y la eficacia en la captura de carbono.

En este contexto, se resalta la importancia de priorizar la creación de un paisaje que no solamente sea agradable desde una perspectiva visual, sino que también sea funcional desde un punto de vista ecológico. Esta selección cuidadosa y orientada hacia la sostenibilidad no solo embellece nuestro entorno, sino que también contribuye a la preservación de nuestros recursos naturales y a la mejora de la calidad de vida en nuestra comunidad.

#### Distribución del arbolado

En la figura 5.1, se aplicó una codificación de colores y símbolos diferenciados para representar cada especie presente en la FES Zaragoza CII. Dado el entorno y la proximidad física entre individuos en el campus, es importante considerar un margen de error que oscila entre 1 y 2 metros en relación con su ubicación georreferenciada en el mapa. Se observa claramente una concentración más significativa de individuos en áreas específicas, como los alrededores de la UMIEZ, AULA A-500, el herbario, el invernadero y el frente del edificio de gobierno. Esta concentración de árboles nos brinda la oportunidad de analizar posibles ubicaciones estratégicas para futuras plantaciones.

En contraste, las áreas que presentan una menor densidad de individuos, como detrás del edificio de gobierno, en frente del laboratorio de contaminación atmosférica, alrededor

de la cancha de atletismo, y las cercanías de las canchas de basquetbol y futbol rápido, se identifican como lugares óptimos para la siembra de árboles de gran envergadura, con alturas que superen los 10 metros y copas extensas. Esta elección no solo se basa en la disponibilidad de espacio territorial, sino también en la necesidad de proporcionar sombra y aumentar la calidad del aire en áreas de alta concentración estudiantil.

Para esta tarea, se pueden consultar las especificaciones detalladas en el "Hand Book," donde se ofrecen opciones de especies adecuadas que cumplen con las características requeridas. Entre las sugerencias se encuentran *Ipomoea murucoides*, *Prosopis laevigata* y *Erythrina corralloides*, ya que sus servicios ecosistémicos superan a los de otras especies, lo que asegura una mejora significativa en las áreas verdes del Campus 2 y contribuye al bienestar y la calidad del entorno.



Figura 5.1: Mapa de distribución de arbolado.

### 5.1.2. Hand Book

El arbolado en el Campus 2 juega un papel fundamental en la mejora del entorno ambiental. Cada año, este conjunto de árboles contribuye a la eliminación de aproximadamente 213.87 kilogramos de contaminantes del aire, al tiempo que genera una impresionante cantidad de 4,494.2 kilogramos de oxígeno. Sin embargo, es importante tener en cuenta que también emite 33.4 kilogramos al año de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) totales.

La comprensión detallada de los Servicios Ecosistémicos (SE) proporcionados por cada especie de árbol es esencial para una gestión efectiva de los espacios verdes institucionales. En este sentido, en la sección **7.Hand Book** se proporciona información específica sobre la contribución per cápita de estos servicios por cada especie de árbol. Este enfoque facilita la toma de decisiones informadas y estratégicas para el mantenimiento y la expansión de áreas verdes, maximizando los beneficios para el entorno y sus usuarios.

## 5.2. Servicios Ecosistémicos que brinda el arbolado

### 5.2.1. Servicios Ecosistémicos de Regulación

En un grupo total de 681 árboles que conforman la población arbórea del Campus 2 de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, es notable que un impresionante 73.12% de esta población está representado por tan solo 10 especies, como se observa en la figura 5.2. Estas especies desempeñan un papel crucial en la remoción de contaminantes atmosféricos, incluyendo (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) y, como consecuencia, tienen un impacto significativo en la mejora de la calidad del aire en el campus.

*Schinus molle*, una especie perennifolia que se mantiene activa durante todo el año, emerge como el líder en la eliminación de contaminantes en términos de gramos por individuo por año. A pesar de ocupar el tercer lugar en densidad de árboles en el campus, su capacidad de eliminación de contaminantes es destacada, y posee una impresionante longevidad estimada de 100 años.

En el segundo puesto en cuanto a la eliminación de contaminantes se encuentra *Fraxinus uhdei*. Esta especie, caracterizada por su follaje caducifolio, experimenta una pérdida de hojas durante un breve período que comienza a finales del otoño y se extiende hasta febrero, durante la temporada seca. Mientras CONABIO informa de una longevidad estimada entre

80 y 100 años, estudios realizados por Villanueva et al. en 2015 indican que algunos individuos de esta especie pueden vivir hasta 200 años, como se determina mediante el conteo de anillos de crecimiento.

La tercera especie de mayor relevancia en la eliminación de contaminantes es *Jacaranda mimosifolia*. A pesar de ocupar el noveno lugar en densidad de especies en el campus, este árbol de crecimiento medio muestra una longevidad superior a 100 años, según datos de UMH en 2023. Su contribución en la mejora de la calidad del aire es sustancial, a pesar de su menor presencia en términos de densidad de población arbórea.

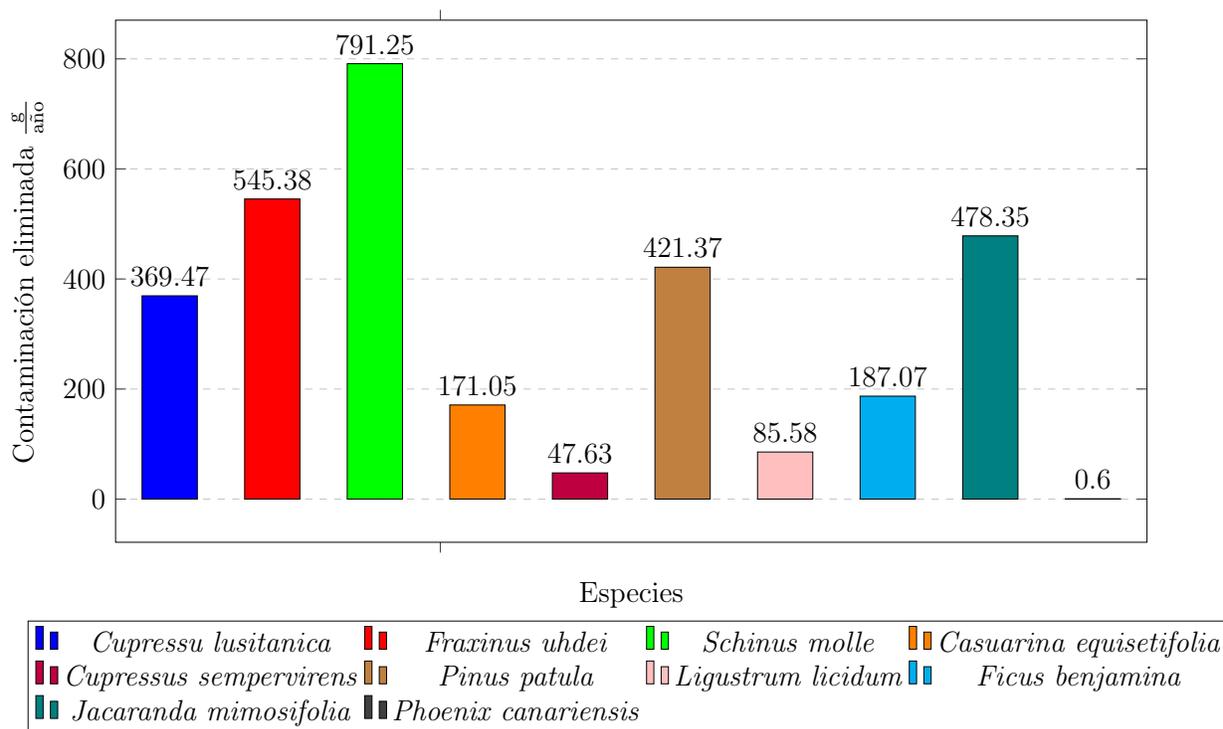


Figura 5.2: Total de contaminantes per cápita de las especies de mayor densidad.

Después de excluir las 10 especies con la mayor densidad de individuos, se procedió a la clasificación de las 10 especies que poseen un mayor potencial en términos de servicios ecosistémicos de regulación en el Campus. Se evaluó y comparó su capacidad individual de eliminación de contaminantes atmosféricos, incluyendo (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), en términos de gramos por individuo por año. Estas 10 especies representan únicamente un 6.7% de la población arbórea estudiada, como se ilustra en la figura 5.3.

Dentro de este grupo selecto de especies, se observa una diversidad significativa en términos de características del follaje, patrones de crecimiento y origen. Encabezando la lista se

encuentra *Ipomoea murucoides*, una especie caducifolia de crecimiento rápido que remueve un impresionante total de 921.4 gramos de contaminantes del aire por año. Se estima que esta especie tiene una longevidad de 50 años, según datos de CONAVI, sin fecha específica disponible.

En segundo lugar en términos de eliminación de contaminantes, encontramos a *Eucalyptus camaldulensis*, una especie perennifolia de crecimiento rápido que elimina 480.84 gramos de contaminantes por año. Esta especie tiene una longevidad estimada de 70 años, según información de COCODA en 1986.

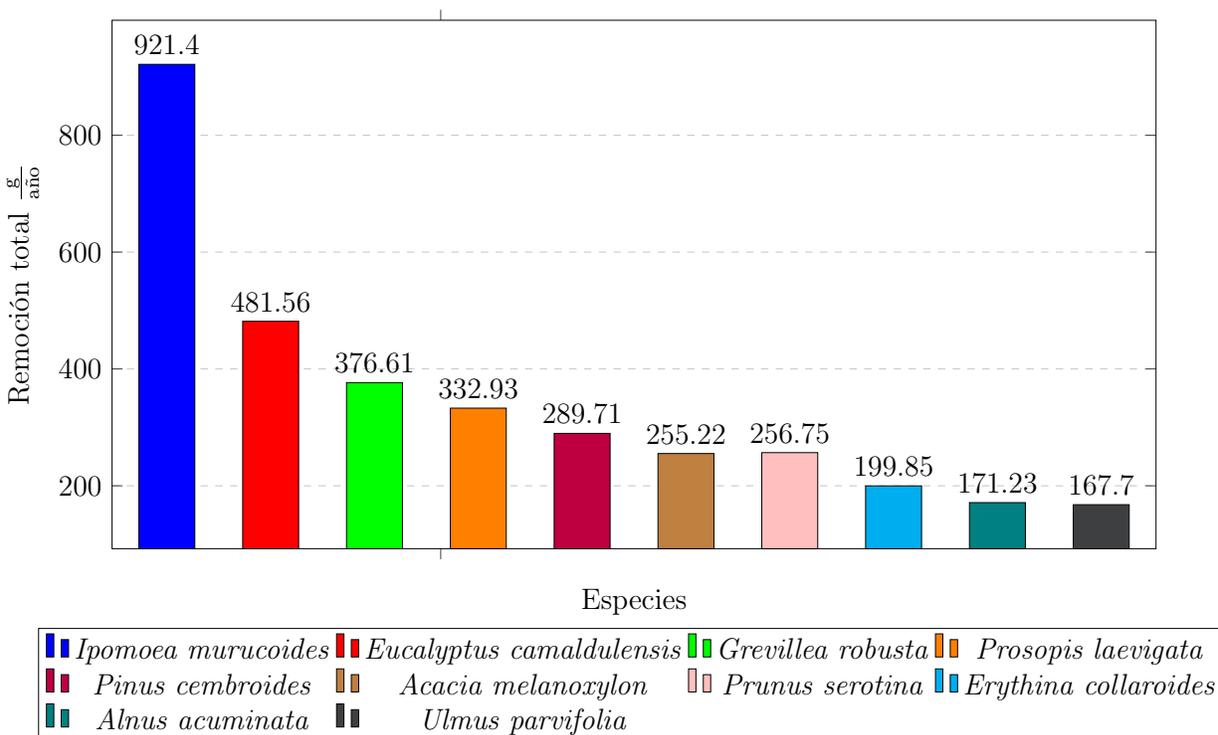


Figura 5.3: Remoción total per cápita especies con mayor potencial.

La especie *Ipomoea murucoides* sobresale al encabezar la lista con una destacada capacidad de remoción de contaminantes del aire, eliminando 921.4 gramos por año. Además, es relevante mencionar que esta especie emite 100 gramos anuales de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). Es importante destacar que, en nuestra zona de estudio, solo se ha identificado un ejemplar de esta especie, lo que nos brinda la oportunidad de contrastar estos resultados con la especie *Cupressus lusitanica*, que es predominante en el Campus II con un total de 108 árboles muestreados. *Cupressus lusitanica* remueve 369.46 gramos de contaminantes por individuo por año y emite 27.77 gramos anuales de COVs. Esta comparación pone

de manifiesto las diferencias significativas en la capacidad de remoción y emisión de COVs entre estas dos especies.

Tabla 5.2: Remoción de contaminantes por especie.

<b>Especie</b>	<b>Remoción per cápita (g/año)</b>
<i>Ipomoea murucoides</i>	921.4
<i>Schinus molle</i>	791.25
<i>Fraxinus uhdei</i>	545.38
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	480.84
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	478.35
<i>Pinus patula</i>	421.37
<i>Grevillea robusta</i>	376.61
<i>Cupressus lusitanica</i>	369.46
<i>Prosopis laevigata</i>	332.93
<i>Pinus cembroides</i>	289.65

Según López et al. en 2008, es importante resaltar que los árboles exhiben un rendimiento óptimo en la prestación de Servicios Ecosistémicos (SE) de regulación y soporte durante sus etapas juveniles y adultas. Cabe destacar que el tipo de crecimiento de estas especies influye en la rapidez con la que alcanzan las etapas de mayor eficiencia en la provisión de servicios. Específicamente, en el caso de las especies caducifolias, la pérdida de follaje durante ciertas estaciones del año conlleva una reducción en la provisión de SE, lo que puede tener un impacto significativo en el clima del área circundante.

En este contexto, se vuelve esencial considerar una alternancia en los tipos de follaje, las longevidades y los patrones de crecimiento al planificar y gestionar los espacios verdes en el campus, como se ilustra en la figura 5.4. Esta diversidad en las características de los árboles contribuirá a mantener un equilibrio en la provisión continua de SE, independientemente de la estación del año o la fase de crecimiento de los árboles, lo que resulta en un entorno más sostenible y beneficioso para la comunidad universitaria.



Figura 5.4: Área verde frente a la UMIEZ

En el Campus II, se identificaron áreas con una densidad significativamente mayor de árboles. Sin embargo, es importante aclarar que una mayor densidad no siempre implica una mayor diversidad de especies. Concretamente, la zona con la mayor densidad de individuos y una abundancia considerable de especies se encuentra entre el humedal y el invernadero. En contraste, el área con la mayor densidad de individuos pero una variedad limitada de especies se ubica frente a la antigua biblioteca y el edificio A500.

Con base en estudios realizados dentro de la institución, específicamente por Marroquin en 2012, se llega a la conclusión de que no es aconsejable tener una diversidad limitada de especies en un área con una alta densidad de árboles. Esto se debe a que, en caso de una infestación o plaga que afecte a una especie, existe el riesgo de que se propague a todos los árboles de esa especie en la misma área, lo que podría resultar en problemas fisiológicos como deformaciones, reducciones en el crecimiento e incluso la muerte de los árboles (Leautaud y López, 2017).

El análisis del mapa de distribución geográfica por especie, como se muestra en la figura 5.1, nos permite identificar áreas en las que existe suficiente espacio para la siembra de árboles de gran tamaño, superiores a 10 metros de altura. En particular, se destaca la franja comprendida entre el edificio de gobierno y el gimnasio como una zona adecuada para la plantación de especies como *Ipomoea murucoides*, *Grevillea robusta*, *Ulmus parvifolia* y *Erythrina coralloides*.

Sin embargo, en el área verde que rodea la "pista de atletismo", se observa una carencia de árboles que proporcionen Servicios Ecosistémicos (SE) de Soporte, como la producción de oxígeno y sombra. Por lo tanto, se recomienda la introducción de especies como *Ipomoea murucoides*, *Grevillea robusta*, *Jacaranda mimosifolia* y *Prosopis laevigata* para mejorar la provisión de estos servicios en esta zona específica del campus. Esta estrategia contribuirá a un entorno más saludable y sostenible.

## Polinizadores

En el Campus II, encontramos que el 68.5% de los árboles son angiospermas, mientras que el 31.5% son gimnospermas, lo que tiene implicaciones significativas en términos de la dependencia de animales polinizadores, como se muestra en la figura 5.5.

En particular, las abejas emergen como polinizadores altamente eficientes para numerosas especies de angiospermas. Su capacidad para transportar el polen de una flor a otra desempeña un papel crucial en la reproducción de muchas plantas con flores, un ejemplo destacado de esto es la especie *Ipomoea murucoides*. Las mariposas, por otro lado, se especializan en la polinización de flores que son coloridas y fragantes, como es el caso de *Spathodea campanulata*.

Los colibríes, con su largo pico y habilidad para mantenerse en vuelo estacionario, son polinizadores especiales debido a su capacidad para acceder al néctar de las flores y transferir el polen mientras se alimentan. Un ejemplo ilustrativo de esto es el *Callistemon citrinus*. Por último, los murciélagos desempeñan un papel crucial como polinizadores nocturnos en la reproducción de algunas angiospermas en regiones tropicales. Su función resulta vital para garantizar la perpetuación de estas especies.



Figura 5.5: Abeja en *Schinus terebinthifolius*.

## 5.2.2. Servicios Ecosistémicos de Soporte

### Producción de oxígeno

Es uno de los beneficios más ampliamente mencionados cuando se trata de árboles urbanos. Esta producción de oxígeno, que ocurre durante el proceso de fotosíntesis, está directamente vinculada a la captura de dióxido de carbono y, a su vez, está relacionada con la acumulación de biomasa de la especie, las tasas de crecimiento, el diámetro y la salud general de los árboles, como señala Nowak en 2007.

Sin embargo, es relevante destacar que en la figura 5.3 se observa que las especies con la mayor densidad de árboles no necesariamente son las que aportan la mayor cantidad de oxígeno al campus. Al comparar con la figura 5.6, se puede apreciar que la especie que lidera en términos de producción de oxígeno por individuo por año es *Eucalyptus camaldulensis*, con un impresionante rendimiento de 23.7 kilogramos anuales. Le sigue *Ipomoea murucoides*, que produce 21.7 kilogramos al año, y *Casuarina equisetifolia*, que aporta 21.4 kilogramos al año. Estos datos revelan que la densidad no siempre es un indicador directo de la producción de oxígeno por especie.

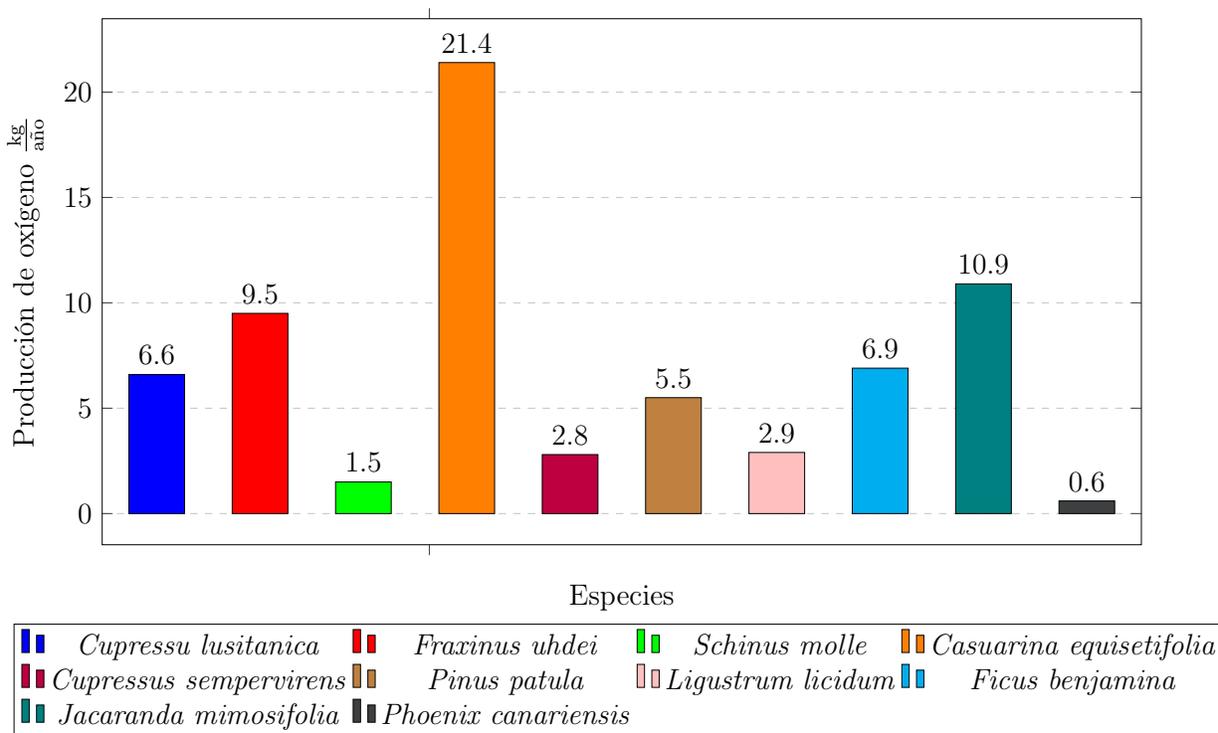


Figura 5.6: Producción de oxígeno más pobladas.

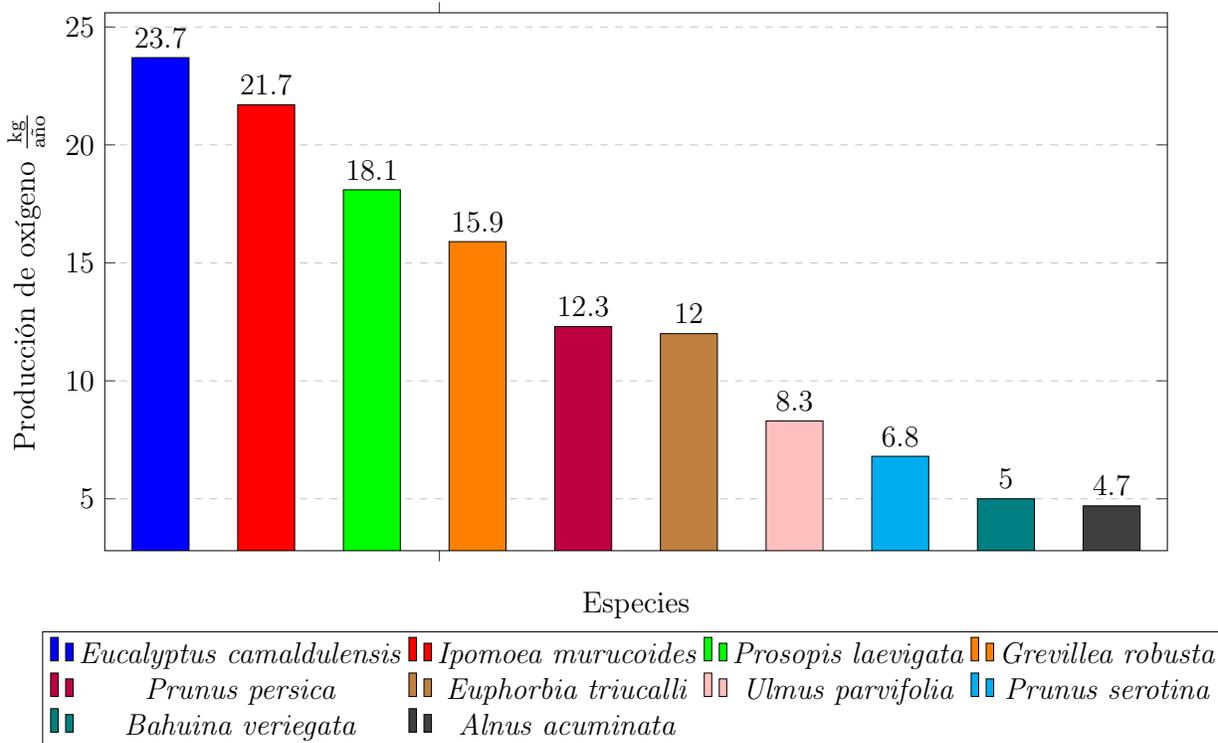


Figura 5.7: Producción de oxígeno más aptas.

## Evapotranspiración

El efecto de regulación del clima es especialmente notorio, sobre todo en situaciones donde hay una escasez de áreas verdes y una alta radiación promedio anual, como se ha destacado en el estudio de Calva en 2019. En la FES Zaragoza Campus II, este efecto de regulación se calcula a partir de datos meteorológicos de la estación designada, que en este caso es el Aeropuerto Internacional "Benito Juárez". La precipitación anual en esta localidad se registra en 23.1 pulgadas.

De manera específica, la especie *Ipomoea murucoides* sobresale al tener la mayor tasa de evapotranspiración por individuo por año en comparación con todas las demás especies presentes en el campus, alcanzando un valor de 56.59 metros cúbicos por año, como se observa en la figura 5.9. A esta le siguen *Schinus molle* con 48.60 metros cúbicos por año y *Fraxinus udhei* con 33.50 metros cúbicos por año, según se ilustra en la figura 5.8. Estos datos resaltan la importancia de la especie *Ipomoea murucoides* en la regulación del clima y la gestión de los recursos hídricos en el campus, especialmente en un entorno con alta radiación solar y precipitación anual específica.

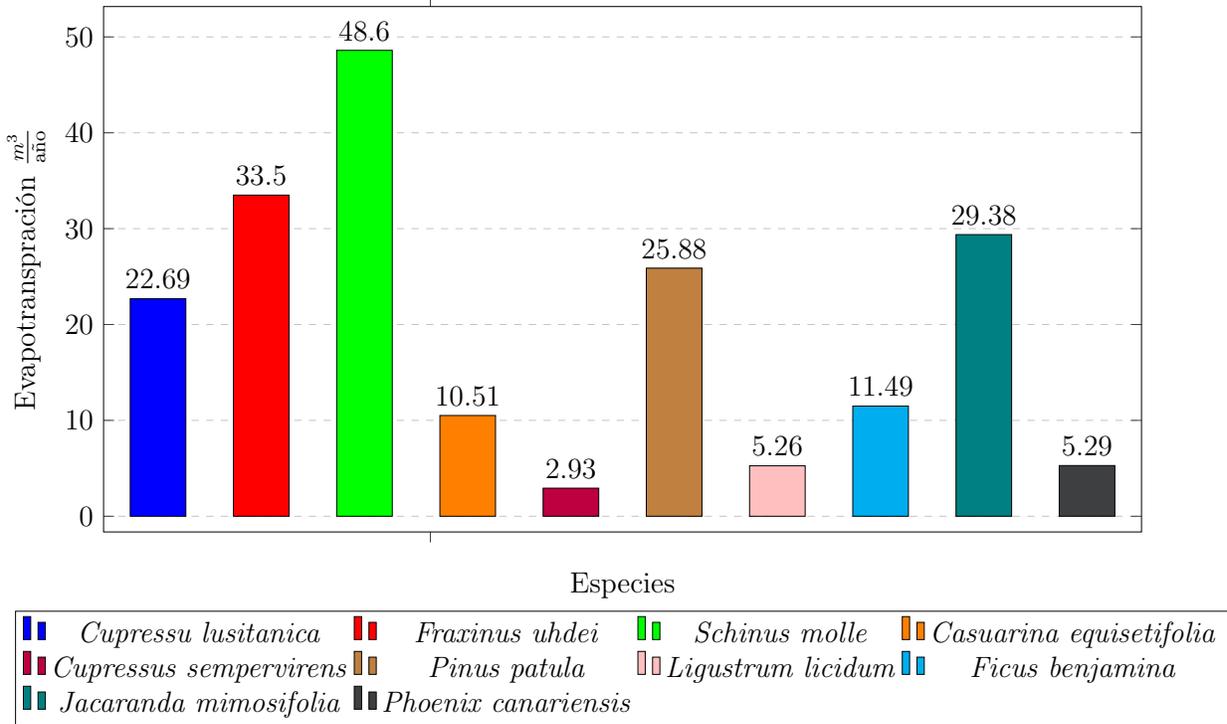


Figura 5.8: Evapotranspiración per cápita más pobladas.

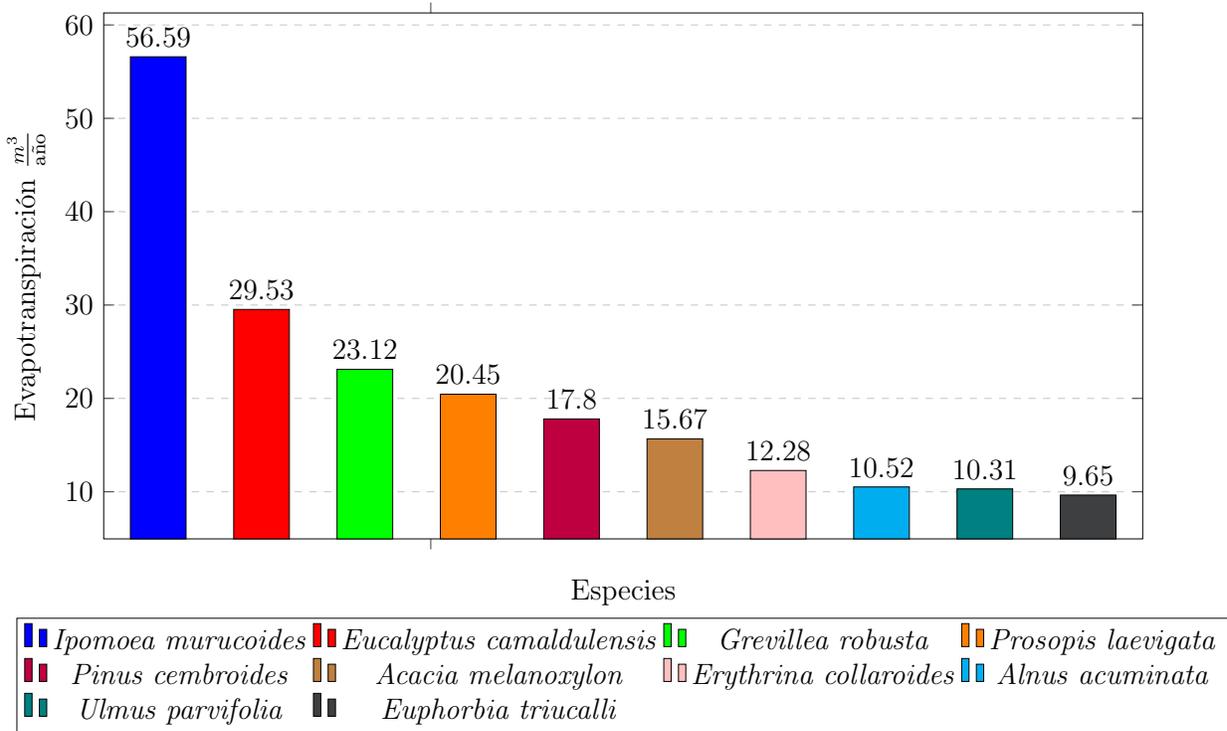


Figura 5.9: Evapotranspiración per cápita especies con mayor potencial.

## Almacenamiento y secuestro de carbono

Los árboles desempeñan un papel crucial en la reducción de la cantidad de carbono presente en la atmósfera, ya que capturan el dióxido de carbono año tras año a medida que crecen. Este proceso de captura de carbono se almacena en forma de madera, y su cantidad está directamente relacionada con factores como el tamaño de la copa del árbol y su estado de salud. No obstante, es importante señalar que la presencia de contaminantes atmosféricos puede afectar de manera significativa esta capacidad de secuestro de carbono por parte de los árboles.

En la FES Zaragoza Campus II, se estima que se secuestran aproximadamente 1,864 toneladas de carbono al año, lo que representa una contribución significativa a la reducción de la concentración de carbono en la atmósfera. En este contexto, la especie que sobresale como la mayor almacenadora de carbono es el *Schinus molle*, como se evidencia en la figura 5.10 y la figura 5.11. Esta especie se caracteriza por su rápido crecimiento, una copa de forma esférica y un fuste que puede alcanzar diámetros de hasta 2 metros. Su capacidad para almacenar carbono la convierte en un activo valioso en la mitigación del cambio climático en el campus.

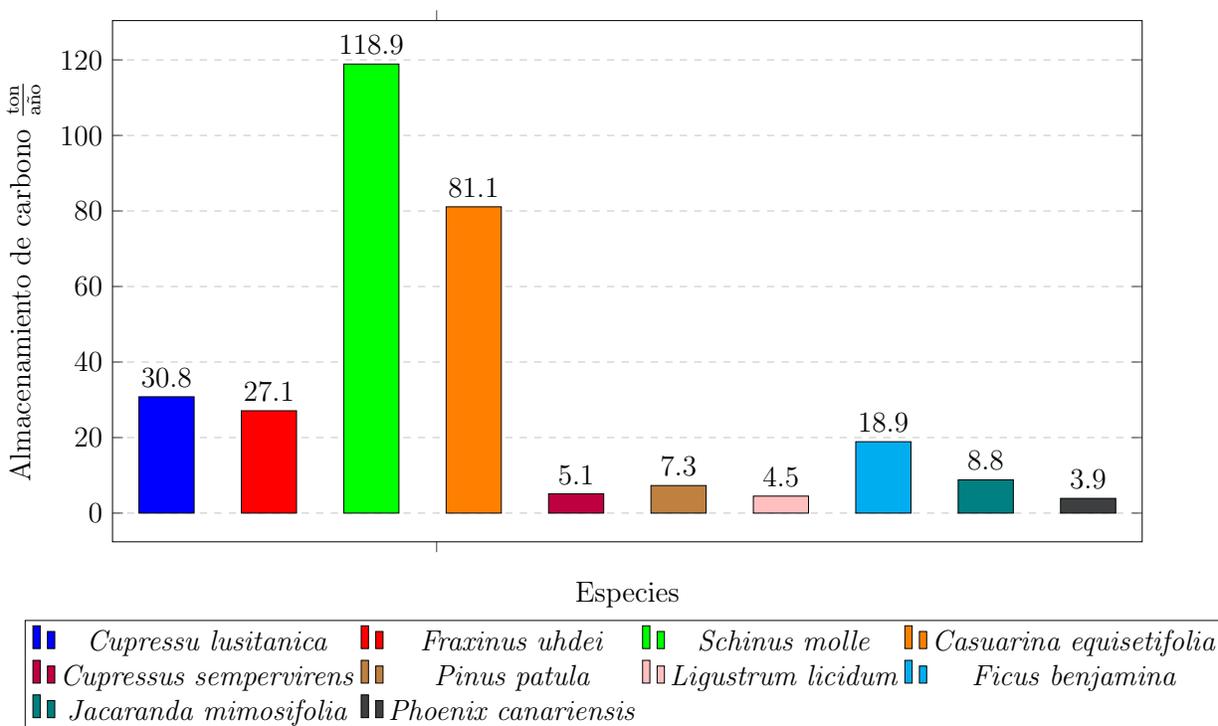


Figura 5.10: Almacenamiento de carbono.

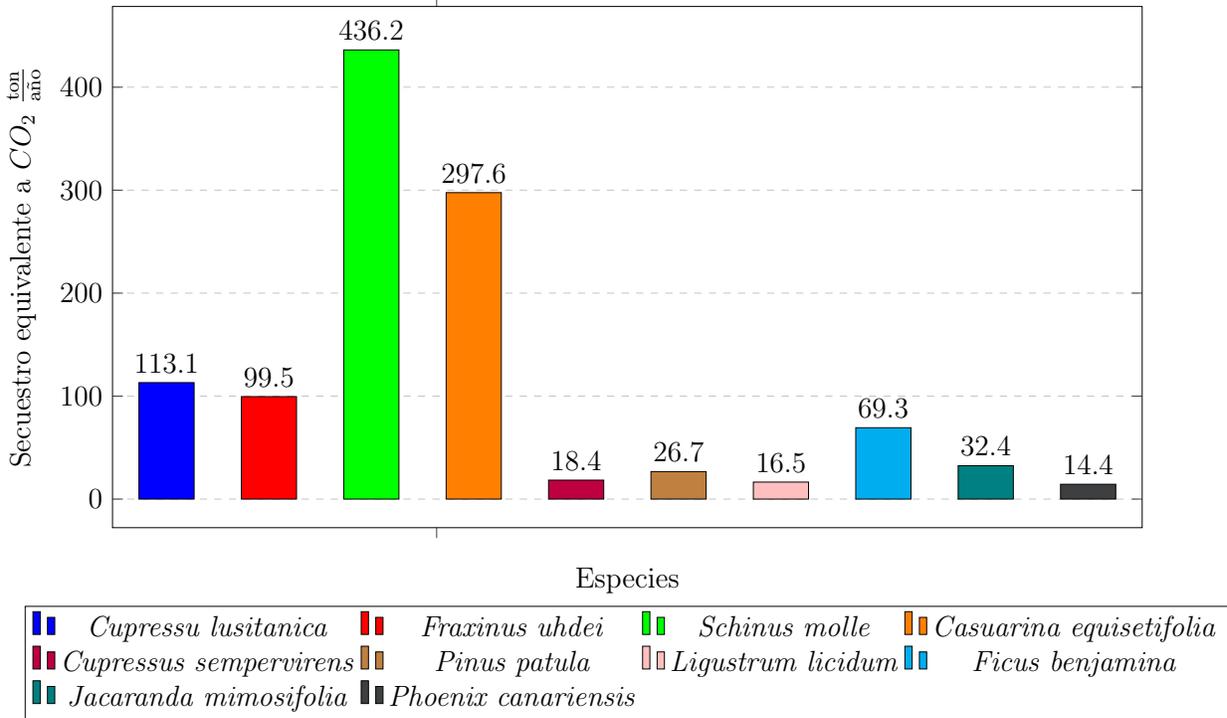


Figura 5.11: Secuestro equivalente a  $CO_2$ .

### 5.3. Emisión de COVs por los árboles

En el año 2023, se registra que los árboles del Campus II de la FES Zaragoza emiten una cantidad aproximada de 33.91 kilogramos por año de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). Esta emisión se desglosa en 13.54 kilogramos por año de isopreno y 20.37 kilogramos por año de monoterpenos. Es fundamental reconocer que estas emisiones varían significativamente entre las especies de árboles, y esto se debe a las particularidades de cada especie, como la biomasa de sus hojas, su capacidad para emitir compuestos aromáticos, los incentivos forestales y los procesos bióticos anaerobios. Es importante destacar que los COVs desempeñan un papel en la formación de ozono troposférico, por lo que se recomienda priorizar la plantación de árboles con bajas emisiones de COVs o, en su defecto, reducir la cantidad de árboles que presenten esta característica.

En este contexto, se han identificado las 10 especies con las mayores emisiones per cápita de COVs. La especie que destaca como la mayor emisora de COVs en esta área institucional es *Populus deltoides*, con una emisión de 403 gramos por año, como se ilustra en la figura 5.12. De estas 10 especies, únicamente 3 son originarias de México, siendo la primera en esta clasificación la *Ipomoea murucoides*, que ocupa la sexta posición en términos de emisiones per cápita.

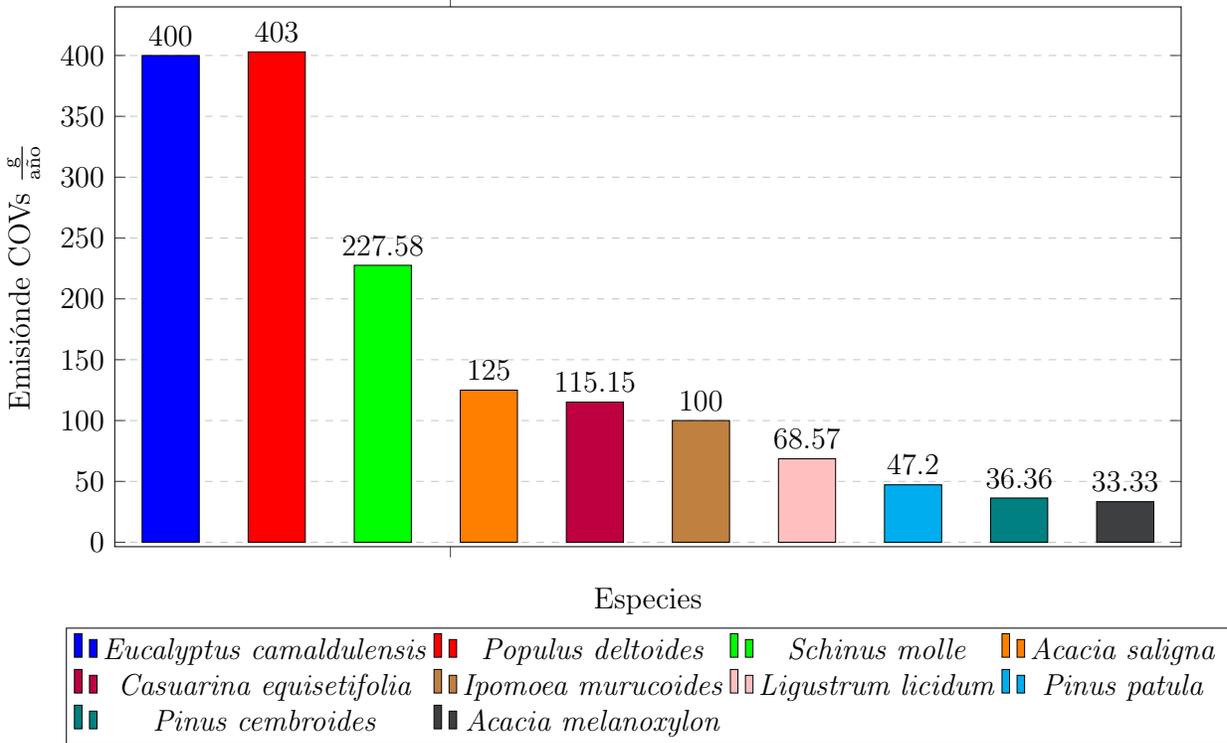


Figura 5.12: Emisión de COVs por especie.

Este estudio se llevó a cabo exclusivamente en la población de árboles que se encuentra dentro del Campus 2. En este entorno, existe una diversidad de edades diamétricas entre los árboles y una variabilidad en la densidad de su distribución. Es importante enfatizar que las propuestas para fomentar la plantación de individuos de ciertas especies no implican la eliminación de otras especies presentes en el campus.

Es fundamental tener en cuenta que los Servicios Ecosistémicos (SE) de regulación y soporte se calcularon para algunas especies de árboles en etapas juveniles. Por lo tanto, no es apropiado generalizar los resultados obtenidos, ya que cada especie puede experimentar un cambio significativo en su capacidad para brindar estos servicios a medida que crece. Un ejemplo de esta variabilidad se ilustra en el caso de la especie *Spathodea campanulata*, la cual, en la Ciudad de México, se ha observado que puede alcanzar alturas de hasta 20 metros. En el Campus, las alturas registradas para esta especie oscilan entre 3 y 6 metros. Por tanto, aunque hemos calculado los SE que proporciona esta especie en el presente, es probable que, a medida que crezca, contribuirá con una mayor cantidad de estos servicios ecosistémicos.

## 5.4. Servicios Ecosistémicos en áreas verdes de la Ciudad de México

Según los estudios realizados por Calva y Sánchez en 2019, se observó la eliminación de contaminantes en cinco bosques de la Ciudad de México (como se muestra en la Tabla 4.3). Estos resultados se compararon con la población de árboles en el Campus II, donde se muestrearon 651 árboles y se determinó que remueven 213.9 kilogramos de contaminantes al año. Sin embargo, al examinar el bosque Ajusco, se encontró una densidad de individuos superior, con 2,595 árboles muestreados, pero la eliminación de contaminantes no alcanza los niveles observados en el Campus 2. En este sentido, la Facultad supera en más del doble la eliminación de contaminantes en comparación con el bosque Ajusco.

Este fenómeno se atribuye a la diversidad de especies presentes en ambas áreas, así como a las especies predominantes. En el Campus 2, se informó de una mayor cantidad de especies, con *Cupressus lusitanica*, *Schinus molle* y *Fraxinus uhdei* como las más comunes. Por otro lado, en el bosque Ajusco, las especies predominantes son *Pinus teocote*, *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*. Notablemente, se observa que en el Campus 2, las especies predominantes tienen una mayor capacidad de eliminación de contaminantes.

Al considerar la población de muestra en el Campus 2 y reducirla a 316 individuos, similar a la del bosque San Juan de Aragón (SJA), se estima que se eliminarían 103.3 kilogramos de contaminación al año. Esta diferencia es significativa en comparación con los resultados del bosque Ajusco.

Atributo	REPSA Tlalpan	San Juan de Aragón	Chapultepec	FES Zaragoza CII	Desierto de los Leones	Ajusco
# de árboles	508	316	400	651	1,211	2,595
Cobertura arbórea	59.4 %	39.5 %	63.5 %	73.12 %	100 %	53 %
Especies más comunes	<i>Fraginus udhei</i> <i>Cupressus lusitanica</i> <i>Eucalipto camaldulensis</i>	<i>Caruarina equisetifolia</i> <i>Cupressus lusitanica</i> <i>Schinus molle</i>	<i>Fraginus udhei</i> <i>Laurus nobilis</i> <i>ligustrum ligidum</i>	<i>Cupressus lusitanica</i> <i>Schinus molle</i> <i>Fraginus udhei</i>	<i>Abies religiosa</i> <i>Pinus patula</i>	<i>Pinus teocote</i> <i>Abies religiosa</i> <i>Pinus hartwegii</i>
Eliminación de la contaminación	63,36 kg/año (\$66,700/año)	80,64 kg/año (\$289,000/año)	77,70 kg/año (\$82,700/año)	213,9 kg/año (\$239,000)	Sin datos no hay registros cont/año	99,29 kg/año (\$58,000/año)
Almacenamiento de carbono	280.9 ton/año (\$940,000/año)	70.15 ton/año (\$235,000/año)	1,056 ton/año (\$3,53 millones/año)	359,6 ton/año (\$1,33 millones/año)	3,955 ton/año (\$13.2 millones/año)	120.06 kg/año (\$886,000/año)
Secuestro de carbono	3.54 ton/año (\$11,800/año)	2.187 ton/año (\$7,320/año)	9.692 ton/año (\$324,000/año)	1.685 ton/año (\$6.21 millones/año)	17,49 ton/año (\$58,500/año)	4.6 ton/año (\$15,400/año)
Produccion de oxigeno	7.629 ton/año	5,408 ton/año	9,401 ton/año	4.49 ton/año	1.031 ton/año	1.5 ton/año
Escurreminto evitado	96.956,88 m3/año (\$4,350/año)	15,29 m3/año (\$4,350/año)	145,756.8 m3/año (\$6,550/año)	159,6 m3/año (\$7,17 millones/año)	667,994.41 m3/año (\$30,000/año)	179,500,5 m3/año (\$8,060/año)
Valores estructurales	27,6 millones	11,4 millones	65.5 millones	4,15 millones	201 millones	42.6 millones

Comparación de SE entre los Bosques REPSA Tlalpan, San Juan Aragón, Chapultepec, Desierto de los Leones, Ajusco y la FES Zaragoza CII.

Tabla 5.3: SE entre bosques.

## 5.5. Beneficios sociales del arbolado

Martínez y sus colegas, en su investigación de 2021, destacan la significativa importancia de los Servicios Ecosistémicos (SE) en un entorno institucional. Estos servicios desempeñan un papel crucial en los sistemas de gestión ambiental en áreas urbanas, especialmente en contextos de alta densidad poblacional. Permiten orientar la planificación hacia alternativas que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia, considerando la relación directa entre el entorno urbano y la calidad de vida de sus habitantes.

Las áreas verdes de la facultad proporcionan beneficios tangibles para estudiantes, personal docente y trabajadores. Estos espacios contribuyen a la mejora de la calidad del aire al reducir la presencia de contaminantes, promoviendo un ambiente más saludable. Además, la presencia de áreas verdes propicia un aumento de la humedad en el aire, lo que facilita la ventilación respiratoria y mejora la oxigenación de la sangre. En consecuencia, estos factores pueden predisponer a un mejor ambiente de aprendizaje y adquisición de conocimiento.

No obstante, también existen aspectos menos perceptibles pero igualmente significativos. Entre ellos, se encuentra el disfrute del paisaje estético que brindan las áreas verdes, lo que puede generar una sensación de tranquilidad. Además, estos entornos pueden estimular la producción de hormonas como la serotonina, que está relacionada con el proceso de aprendizaje, tal como indican los estudios realizados por Gareca y Villarpando en 2017.



Figura 5.13: Población estudiantil.



Figura 5.14: Sombra que proporciona los árboles.

## 6. | Conclusiones

Se determinó una desproporción entre la cantidad de individuos y las especies. De las 65 especies y 859 árboles presentes en el campus (100 %), tan solo 10 especies representan el 68.91 % de la población arbórea. De la caracterización se obtuvieron dos grupos gimnoespermas y angiospermas; con 7 y 58 fichas respectivamente donde se describen los rasgos biológicos, lo que indica que esas 58 especies están aportando en SE de Regulación.

El análisis de georreferencia nos indicó que la zona sur-oeste tiene espacios idóneos para incentivar plantaciones de copas extendidas y alturas de más de 10 metros, como *Ipomoea murucoides*, *Taxodium mucronatum*, *Schinus molle* y *Fraxinus uhdei*, siendo estas dos últimas las más densas en el campus.

El resultado del análisis epidiométrico concluye que nuestra área verde institucional es de gran importancia para la alcaldía, ya que remueve 213.8764 kg/año de contaminantes, produce 4,494.2 kg/año de oxígeno, secuestra 1.864 toneladas de carbono al año y emite 33.4 kg/año de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) totales.

De la selección de especies con mayor densidad sólo 5 corresponden al criterio de mayor remoción de contaminates, estas son; *Schinus molle*, *Fraxinus uhdei*, *Jacaranda mimosifolia*, *Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*.

Para ambos SE se incentivan a través de *Ipomoea murucoides*, *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Fraxinus uhdei*, *Jacaranda mimosifolia* y *Prosopis laevigata*.

El manejo del arbolado del Campus II ha tenido un buen desempeño al compararse con diferentes bosques, ha excepción de la poda en figuras y al riego que se pierde con la evaporación.

El paisaje fomenta una convivencia entre las diferentes carreras y semestres fomentando un tejido social favorecedor para el aprendizaje.

i-Tree Eco es una herramienta eficaz para el cálculo de SE al comparar los resultados con bases de datos globales de manejo y conservación forestal.

## 6.1. Recomendaciones

En el trabajo desarrollado en el último par de años se observaron ciertas problemáticas relacionadas a la densidad de árboles, la biodiversidad y el área en la que se encuentra el campus por lo que se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Iniciar la plantación de nuevos ejemplares a fines de la primavera, aprovechando la temporada de lluvias en verano, teniendo en cuenta que el mes más lluvioso del año es septiembre.
2. El riego de los árboles debe llevarse a cabo antes de las 10:00 a. m. o después de las 6:00 p. m., dividiendo las zonas por días para gestionar el suministro de agua de manera eficiente.
3. La poda de los árboles debe realizarse de forma sanitaria y orientada al crecimiento, evitando alterar la forma natural de la copa. La extensión de la copa está directamente relacionada con el sistema radicular de los árboles, por lo que es esencial considerar la especie al planificar nuevos espacios de crecimiento.
4. La planificación de futuras plantaciones debe tener en cuenta las categorías de diámetro de las especies para mantener el potencial de los ejemplares y garantizar una remoción constante de contaminantes y producción de oxígeno. Es fundamental mantener un registro de la población arbórea para garantizar una gestión forestal adecuada.
5. Dada la concentración de biodiversidad en el área, se sugiere fomentar especies que aporten significativamente a los servicios ecosistémicos y que tengan poblaciones escasas, como la plantación de ejemplares de *Ipomoea murucoides* o *Taxodium mucronatum* en el espacio verde detrás del edificio de Gobierno.
6. Como institución, la UNAM debería promover la actualización de las bases de datos de contaminantes de la RAMA para que estén disponibles para los estudiantes.
7. El control de especies de insectos parásitos puede llevarse a cabo mediante la utilización de trampas con hormonas femeninas.
8. Como parte del muestreo, se evaluaron los frutos comestibles recolectados de los árboles, concluyendo que las especies del género *Citrus* requieren un mayor suministro de agua para que la comunidad pueda aprovechar sus frutos.

# Referencias

- Abdollahi, M., Ranjbar, A., Shadnia, S., Nikfar, S., and Rezaie, A. (2004). Pesticides and oxidative stress: a review. *Med Sci Monit*, 10(6):141–147.
- Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Ortega, J., Quintana, C., and Holguin, C. (2008). Especies arbóreas evaluadas como bioacumuladoras de azufre en la ciudad de chihuahua, méxico. *Ecología Aplicada*, 7(1-2):17–21.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2).
- Barcelona, U. (2020). <https://web.ub.edu/es/web/actualitat/w/los-escarabajos-fueron-los-primeros-polinizadores-de-plantas-gimnospermas-y-angiospermas>: :text=En
- Bell, J., Power, S. A., Jarraud, N., Agrawal, M., and Davies, C. (2011). The effects of air pollution on urban ecosystems and agriculture. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 18(3):226–235.
- Benavides Meza, H. M. and Fernández Grandizo, D. Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del bosque de chapultepec. *Madera y bosques*, 18(2):51–71.
- Biederman, J. A., Scott, R. L., Bell, T. W., Bowling, D. R., Dore, S., Garatuza-Payan, J., Kolb, T. E., Krishnan, P., Krofcheck, D. J., Litvak, M. E., et al. (2017). Co<sub>2</sub> exchange and evapotranspiration across dryland ecosystems of southwestern north america. *Global Change Biology*, 23(10):4204–4221.
- Broecker, W. S. (1997). Thermohaline circulation, the achilles heel of our climate system: Will man-made co<sub>2</sub> upset the current balance. *Science*, 278(5343):1582–1588.
- Caicedo, Y. C., Ortiz, T. R. B., and Mancilla, A. Á. (2010). Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico y su contribución a la dinámica atmosférica. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 5(1):77–86.
- Calva and Corona (1990). La vegetacion potencialmente utiles para el registro de los niveles

de contaminación. *D.F.*

Calva, G. (2019). *Ecología urbana: La ciudad de México como elemento de estudio*. Académica Española.

Cereceda-Balic, F., Toledo, M., Vidal, V., Guerrero, F., Diaz-Robles, L. A., Petit-Breuilh, X., and Lapuerta, M. (2017). Emission factors for pm<sub>2</sub>, pm<sub>5</sub>, co, co<sub>2</sub>, nox, so<sub>2</sub> and particle size distributions from the combustion of wood species using a new controlled combustion chamber 3ce. *Science of the Total Environment*, 584:901–910.

Chacalo, A., Corona, V., and Nava, E. (2009a). Árboles y arbustos para ciudades. *Universidad Autónoma. Metropolitana*, page 600.

Chacalo, A., Corona, V., and Nava, E. (2009b). Árboles y arbustos para ciudades. *Universidad Autónoma. Metropolitana*, page 600.

Chanes, R. (2000). Deodendron: Arboles y arbustos de jardín en clima templado. *Blume*.

COCODA (1986). *Manual de planeación, diseño y manejo de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal*. Ecoguarda.

CONABIO (2021). [https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee\\_cdmx](https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_cdmx).

Corzo, G. T. (2007). Manejo del arbolado urbano en bogotá. *territorios*, 2(16-17):149–173.

De La Concha, H. and Roche, M. (2018). Estudio-diagnóstico del arbolado urbano en parques públicos de mérida. *Tecnología forestal*, pages 19–20.

DGGCARETC and DCA (2019). *Manual para Determinar las emisiones biogénicas utilizando "GLOBEIS"*. SEMARNAT.

Dobbs, C., Escobedo, F. J., Clerici, N., de la Barrera, F., Eleuterio, A. A., MacGregor-Fors, I., Reyes-Paecke, S., Vásquez, A., Zea Camaño, J. D., and Hernández, H. J. (2019). Urban ecosystem services in latin america: mismatch between global concepts and regional realities. *Urban ecosystems*, 22:173–187.

DOF (2016). *Referencias de reforestacion o restauracion y su mantenimiento ambiental*.

SEMARNAT.

Dwyer, J. F., Nowak, D. J., Noble, M. H., and Sisinni, S. M. (2000). Connecting people with ecosystems in the 21st century. *USDA Forest Service, RPA Assessment*.

EPA (2022). <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>.

Escobedo, F. and Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1):29–32.

FAO (2016). Beneficio de los árboles urbanos. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*.

Flores, L. y Romero, D. (2022). *Catálogo de especies arbóreas con proyección a servicios ecosistémicos de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza CII*. FES Zaragoza UNAM.

Gareca, M. and Villarpando, H. (2017). Impacto de las áreas verdes en el proceso de enseñanza aprendizaje. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 14(15):877–892.

GOB (2010). Norma oficial mexicana nom-059-semarnat-2010, protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres. *DOF*.

GOB (2018). Programa de manejo del área de valor ambiental con categoría de bosque urbano “bosque de San Juan de Aragón”. *Gaceta Oficial*.

GOB and SMA (2003). <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26id=112>.

Granados Sánchez, D., López Ríos, G., and Hernández García, M. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 16(2):187–206.

Guenther, A., Geron, C., Pierce, T., Lamb, B., Harley, P., and Fall, R. (2000). Natural emissions of non-methane volatile organic compounds, carbon monoxide, and oxides of nitrogen from North America. *Atmospheric Environment*, 34(12-14):2205–2230.

Gómez, B. (2022). *Cámaras experimentales y su aporte al estudio del efecto de la contaminación del aire en la fisiología de árboles urbanos: un estado del arte*. UNAM.

- Haase, D., Frantzeskaki, N., and Elmqvist, T. (2014). Ecosystem services in urban landscapes: practical applications and governance implications. *Ambio*, 43(4):407–412.
- Hernandez, M. L. O., Salinas, E. S., and Godínez, M. L. C. (2018). Contaminación urbana del aire: Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales. *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*.
- Hidalgo-Sanchez, M., Angeles-Perez, G., Yopez, E. A., Ofelia Plascencia-Escalante, F., Delgado-Balbuena, J., and Margarita Gonzalez-Martinez, T. (2021). Evapotranspiration and energy exchange in a temperate forest in Mexico. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2):490–537.
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., and Nowak, D. J. (2012a). i-tree eco dry deposition model descriptions. *Citeseer: Princeton, NJ, USA*.
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., and Nowak, D. J. (2012b). i-tree eco dry deposition model descriptions. *Citeseer: Princeton, NJ, USA*.
- i Tree (2016). <https://www.itreetools.org/documents/196/EcoV6UsersManual.es.pdf>.
- Iztapalapa, G.-D. (2011). Atlas de riesgos naturales de la delegación iztapalapa.
- Jáuregui, E. (2000). *El clima de la ciudad de México*, volume 1. Plaza y Valdés.
- Jiménez, B. (2021). *Registro de clorofila total como reflejo de la Vitalidad de Fraxinus Uhdei con el medidor SPAD-502 PLUS en los bosques urbanos: Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón*. UNAM.
- Katz, E., Lammel, A., and Goloubinoff, M. (2008). Clima, meteorología y cultura en México. *Ciencias*, 90:61–67.
- Kesselmeier, J., Kuhn, U., Wolf, A., Andreae, M., Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Frattoni, M., Guenther, A., Greenberg, J., Vasconcellos, P. D. C., et al. (2000). Atmospheric volatile organic compounds (VOC) at a remote tropical forest site in central Amazonia. *Atmospheric Environment*, 34(24):4063–4072.
- Kulshrestha, U. and Saxena, P. (2016). *Plant responses to air pollution*. Springer.

- Leautaud Valenzuela, P. and López-García, J. (2017). Detection of trees damaged by pests in abies religiosa forests in the monarch butterfly biosphere reserve using infrared aerial photography. *Investigaciones geográficas*, 2(92):0–0.
- López López, S. F. and Benavides Meza, 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):24–39.
- López Torres, I., Ortuño Pérez, S. F., Martín Fernández, Á. J., and Fullana Belda, C. (2008). Estimación del aprovechamiento máximo sostenible y distribución diamétrica estable de masas irregulares de pinus nigra mediante modelos matriciales. *Interciencia*, 33(11):789–794.
- Maass, J., Vose, J. M., Swank, W. T., and Martínez-Yrizar, A. (1995). Seasonal changes of leaf area index (lai) in a tropical deciduous forest in west mexico. *Forest Ecology and Management*, 74(1-3):171–180.
- Marroquín, H. (2012). *Valoración física y fitosanitaria del arbolado del Campus Zaragoza*. UNAM.
- Martínez, G. (2008). Árboles y áreas verdes urbanas de la ciudad de México y su zona metropolitana. *Fundación Xochitla, AC México DF, México*.
- Martínez, P. C., González, P. C., Montoya, F. J. E., Schwab, J., and Corzo, G. T. (2018). Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. *Unasyuva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 69(250):11–21.
- Martínez González, L. and Tenorio Lezama, P. (2008). *Árboles y áreas verdes urbanas: de la Ciudad de México y su zona metropolitana*. Universidad Autónoma de México.
- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., and Mohedano Caballero, L. (2021). Diversity, structure and ecosystem services of trees in four parks in texcoco using i-tree eco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(67):202–223.
- Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Skea, J., Zhai, P., Roberts, D., Shukla, P. R., Pirani, A., Pidcock, R., Chen, Y., Lonnoy, E., et al. (2019). Calentamiento global de 1, 5° c: informe especial del ipcc sobre los impactos del calentamiento global de 1, 5 °c con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir

abdollaciones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza: resumen para responsables de políticas: resumen técnico: preguntas frecuentes.

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., et al. (2022). *Global Warming of 1.5° C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5° C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. Cambridge University Press.

Moraes, R., Furlan, C. M., Bulbovas, P., Domingos, M., Meirelles, S. T., Salatino, A., Delitti, W. B. C., and Sanz, M. (2004). Photosynthetic responses of tropical trees to short-term exposure to ozone. *Photosynthetica*, 42:291–293.

Narsilio, G. A. and Santamarina, C. (2016). Clasificación de suelos: fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones. *Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA-Guillermo. narsilio@ ce. gatech. edu y carlos. santamarina@ ce. gatech. edu*.

Nishina, K., Takenaka, C., and Ishizuka, S. (2009). Spatiotemporal variation in n<sub>2</sub> o flux within a slope in a japanese cedar (*cryptomeria japonica*) forest. *Biogeochemistry*, 96:163–175.

Nowak, D. J. (2021). *Understanding i-Tree: 2021 summary of programs and methods*. US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.

Nowak, D. J., Crane, D. E., and Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the united states. *Urban forestry & urban greening*, 4(3-4):115–123.

Nowak, D. J., Hoehn, R., and Crane, D. E. (2007a). Oxygen production by urban trees in the united states. *Arboriculture and Urban Forestry*, 33(3):220.

Nowak, D. J., Hoehn, R., and Crane, D. E. (2007b). Oxygen production by urban trees in the united states. *Arboriculture and Urban Forestry*, 33(3):220.

Nowak, M. A. and May, R. M. (1994). Superinfection and the evolution of parasite virulence. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 255(1342):81–89.

- Nowak, R. M. (2002). The original status of wolves in eastern north america. *Southeastern Naturalist*, 1(2):95–130.
- Ortiz Núñez, F. A. (2020). Servicios ecosistémicos y gestión del arbolado urbano en santo domingo, república dominicana. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*.
- Osorio, B. B. G., Zambrano, C. E., Ochoa, L. F. S., and Zambrano, J. A. R. (2021). Servicios ecosistémicos de espacios verdes urbanos y su contribucion a la calidad del aire: un estudio de caso. *Centro Sur*.
- PAOT (2010). Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la ciudad de méxico. *México, DF, México*.
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al. (2022). Ipcc, 2022: Summary for policymakers. *IPCC Sixth Assessment Report*.
- Potts, S. G., Ngo, H. T., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., and Vanbergen, A. (2016). The assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. *USDA*.
- Razo-Zárate, R., Gordillo-Martínez, A. J., Rodríguez-Laguna, R., Maycotte-Morales, C. C., and Acevedo-Sandoval, O. A. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el parque nacional. "el chico", hidalgo, méxico. *Madera y bosques*, 19(2):73–86.
- Ribas, A., Penuelas, J., Elvira, S., and Gimeno, B. S. (2005). Ozone exposure induces the activation of leaf senescence-related processes and morphological and growth changes in seedlings of mediterranean tree species. *Environmental Pollution*, 134(2):291–300.
- Rodríguez Barba, F. (2016). México y la agenda para el desarrollo sostenible 2030 de la onu. *Chroniques des Amériques*, 16(1).
- Rodríguez, M. (2018). *Efecto de la lluvia ácida simulada sobre la anatomía foliar de Liquidambar styraciflua (altingiaceae) y Fraxinus Udhei (Oleaceae)*. UNAM.

- Rojas, F. (2004). Contenido y captura potencial de carbono en el bosque de pinus hartwegii del parque nacional la malinche: Tlaxcala-puebla. *Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.*
- Rojas Carreón, M. F. et al. (2022). Conflictos socioambientales suscitados en el área circundante y dentro del parque nacional desierto de los leones y su relación con el marco regulatorio aplicable a su gestión. *Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco . . . .*
- Rzedowski, G. C. d. and Rzedowski, J. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Salisbury, F. (1981). Responses to photoperiod. *Physiological Plant Ecology I: Responses to the Physical Environment*, pages 135–167.
- Sandoval, L. (2019). *Selección de las especies arbóreas apropiadas para los servicios ecosistémicos de los bosques urbanos de la Ciudad de México.* UNAM.
- Sarmad, O. (2018). La convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (unfccc). *United Nations Climate change.*
- SMARNAT (2013). *Inventario Nacional de Emisiones 2008.* Direccion General de Gestion de la Calidad del Aire.
- Smith, J. N. and Levy, E. M. (1990). Geochronology for polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in sediments of the saguenay fjord. *Environmental science & technology*, 24(6):874–879.
- Smith, W. H. (1990). The atmosphere and the rhizosphere: Linkages with potential significance for forest tree health. In *Mechanisms of forest response to acidic deposition*, pages 188–241. Springer.
- SUMARIO (1988). Estudios de medidas contra la contmainacion atmosferica en la ciudad de mexico. Technical report, Agencia de cooperación internacional del Japon.
- UMH (2023). <https://www.umhsostenible.com/biodiversidad/flora/catalogo-flora/angiospermas/376-jacaranda-mimosifolia-d-don>.

- Vilchis Mata, I. (2019). Tradeoffs evaluation among urban ecosystem services at the metropolitan scale. *Economía, sociedad y territorio*, 19(61):339–371.
- Villanueva Díaz, J., Pérez Evangelista, E. R., Beramendi Orozco, L., and Cerano Paredes, J. (2015). Annual radial growth of tropical ash (*fraxinus udhei* (wenz.) lingelsh.) in two parks of the la laguna region. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31):40–57.
- Wohlleben, P. (2016). *La vida secreta de los árboles*. Ediciones Obelisco.
- Wolf, K. L. (2017). Social aspects of urban forestry and metro nature. In *Routledge handbook of urban forestry*, pages 65–81. Routledge.
- Zamora Martínez, M. C. (2015). Cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31):04–07.

# 7. | Hand Book

## SIMBOLOGÍA

	Altura del árbol		
	Ancho del árbol		
	Forma de la hoja		
	Hábito caducifolio		
	Hábito perennifolio		
	Tiempo de crecimiento		
	Periodo de poda		
	País de origen		
COVs	Producción		
NO2	Eliminación dióxido de nitrógeno		
SO2	Eliminación dióxido de azufre		
PM 2.5	Eliminación de PM 2.5		
PM 10	Eliminación de PM 10		
CO	Eliminación monóxido de carbono		
O3	Eliminación de ozono		
O	Producción de oxígeno		
		Forma de copa	
			Esférica
			Extendida
			Parasol
			Irregular
			Columnar
			Cónica
			Ovoidal
			Evapotranspiración producción.

## 7.1. Gimnospermas

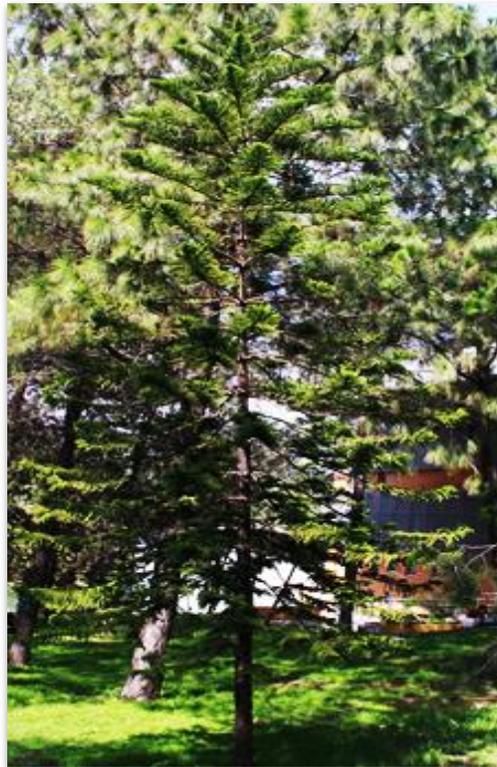
G  
I  
M  
N  
O  
S  
P  
E  
R  
M  
A  
S



7.1.1. *Araucaria heterophylla*.

Araucariaceae

Perfil	
	15- 30 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Ovado triangular
	Cónica
	Lento
	Verano
	Australia
COVs	0.0 g/año
NO2	24.93 g/año
SO2	8.47 g/año
PM 2.5	2.80 g/año
PM 10	32.43 g/año
CO	8.43 g/año
O3	56.30 g/año
O	2.6 kg/año
	8.19 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> pardo oscura, agrietada y rugosa. <b>Hojas</b> ovado triangulares, delgadas y recurvadas, de color verde intenso, duras y 0.6 mm de largo. <b>Conos masculinos</b> alargados de aprox 5 cm de largo, <b>conos femeninos</b> de 10 a 13 cm de largo de forma subglobosa.</p>

7.1.2. *Cupressus lusitanica*.

Pinaceae

Perfil	
	20 - 30 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Escuamiformes
	Cónica
	Medio
	Verano
	Mesoamérica
COVs	27.7 g/año
NO2	69.02 g/año
SO2	23.41 g/año
PM 2.5	7.73 g/año
PM 10	89.89 g/año
CO	23.35 g/año
O3	156.06 kg/año
O	6.6 kg/año
	22.69 m <sup>3</sup> /año



Estructura reproductiva



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> café rojiza, delgada, fisurada longitudinalmente; ramas no arregladas en un plano, extendidas o ascendentes. <b>Hojas</b> agudas o subagudas, escuamiformes, adpresas-ascendentes, color verde, de 3 a 6 cm de largo. <b>Estróbilos masculinos</b> forma de elipsoides, amarillos. <b>Estróbilos femeninos</b> maduros de 1.5 a 2 cm de diámetro, cafés, globosos.

### 7.1.3. *Cupressus sempervirens*.

Pinaceae

Perfil	
	10 - 20 m
	1 - 3 m
	Perennifolio
	Escuamiformes
	Columnar
	Medio
	Verano
	Chipre
COVs	4.34 g/año
NO2	8.91 g/año
SO2	3.01 g/año
PM 2.5	0.99 g/año
PM 10	11.59 g/año
CO	3.01 g/año
O3	20.12 g/año
O	2.8 kg/año
	2.93 m <sup>3</sup> /año



Estructura reproductiva



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> grisácea, rugosa con ligeras grietas. <b>Hojas</b> escuamiformes, delgadas, aplanadas, con punta obtusa, color verde oscuro, de 1 a 3 cm de largo. <b>Cono</b> alargado y ovalado de color verde pasando a grisáceo al madurar de 3 cm de diametro aprox.

7.1.4. *Pinus cembroides*.

Pinaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Acicular
	Cónica
	Lento
	Primavera
	Estados Unidos
COVs	36.36 g/año
NO2	54.13 g/año
SO2	18.35 g/año
PM 2.5	6.06 g/año
PM 10	70.50 g/año
CO	18.29 g/año
O3	122.38 g/año
O	1.3 kg/año
	17.80 m <sup>3</sup> /año



Estructura reproductiva



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café rojizo a casi negro, se rompe en laminas gruesas con pequeñas escamas delgadas y fisuras profundas. <b>Hojas</b> aciculares verde oscuro azulado, miden de 2.5 a 7cm de largo. <b>Conos</b> subglobosos, de 5 a 6 cm de ancho y casi sin pedúnculo, están aislados o en grupos de 5, con escamas grandes gruesas y carnosas, color verde, posteriormente se tornan café rojizo irregularmente piramidales quilladas y resinosas.</p>

7.1.5. *Pinus montezumae*.

Pinaceae

Perfil	
	8 - 15 m
	4 - 8 m
	Perennifolio
	Acicular
	Cónica
	Medio
	Primavera
	México
COVs	16.66 g/año
NO2	17.45 g/año
SO2	5.92 g/año
PM 2.5	1.97 g/año
PM 10	22.75 g/año
CO	5.92 g/año
O3	39.50 g/año
O	0.8 kg/año
	5.74 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café rojizo, rugosa, se desprende en placas. <b>Hojas</b> aciculares verde brillante a verde oscuro de 15 a 40 cm y sus conos semilleros son muy grandes. <b>Cono</b> de forma ariñonada café oscuro.</p>

7.1.6. *Pinus patula*.

Pinaceae

Perfil	
	15 - 35 m
	3 - 8 m
	Perennifolio
	Acicular
	Esférica asimétrica
	Rápido
	Primavera
	México
COVs	47.22 g/año
NO2	78.70 g/año
SO2	26.71 g/año
PM 2.5	8.82 g/año
PM 10	102.53 g/año
CO	26.64 g/año
O3	177.97 g/año
O	5.5 kg/año
	25.88 m <sup>3</sup> /año



Estructura reproductiva



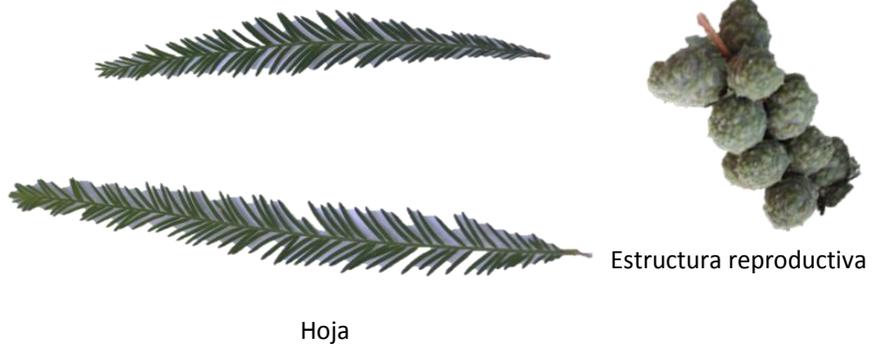
Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café rojizo papirácea escamosa, fisurada, con placas grandes y alargadas que se desprenden con facilidad. <b>Hojas</b> aciculares color verde oscuro brillante, de 3 a 4 por fascículo, de 15 a 25 cm de longitud, laxas anchas y colgantes. <b>Conos masculinos</b> se presentan en racimos de color amarillo, los <b>conos femeninos</b> son solitarios o en grupos, seróticos, brillantes, de color gris claro a marrón.</p>

7.1.7. *Taxodium mucronatum*.

Taxodiaceae

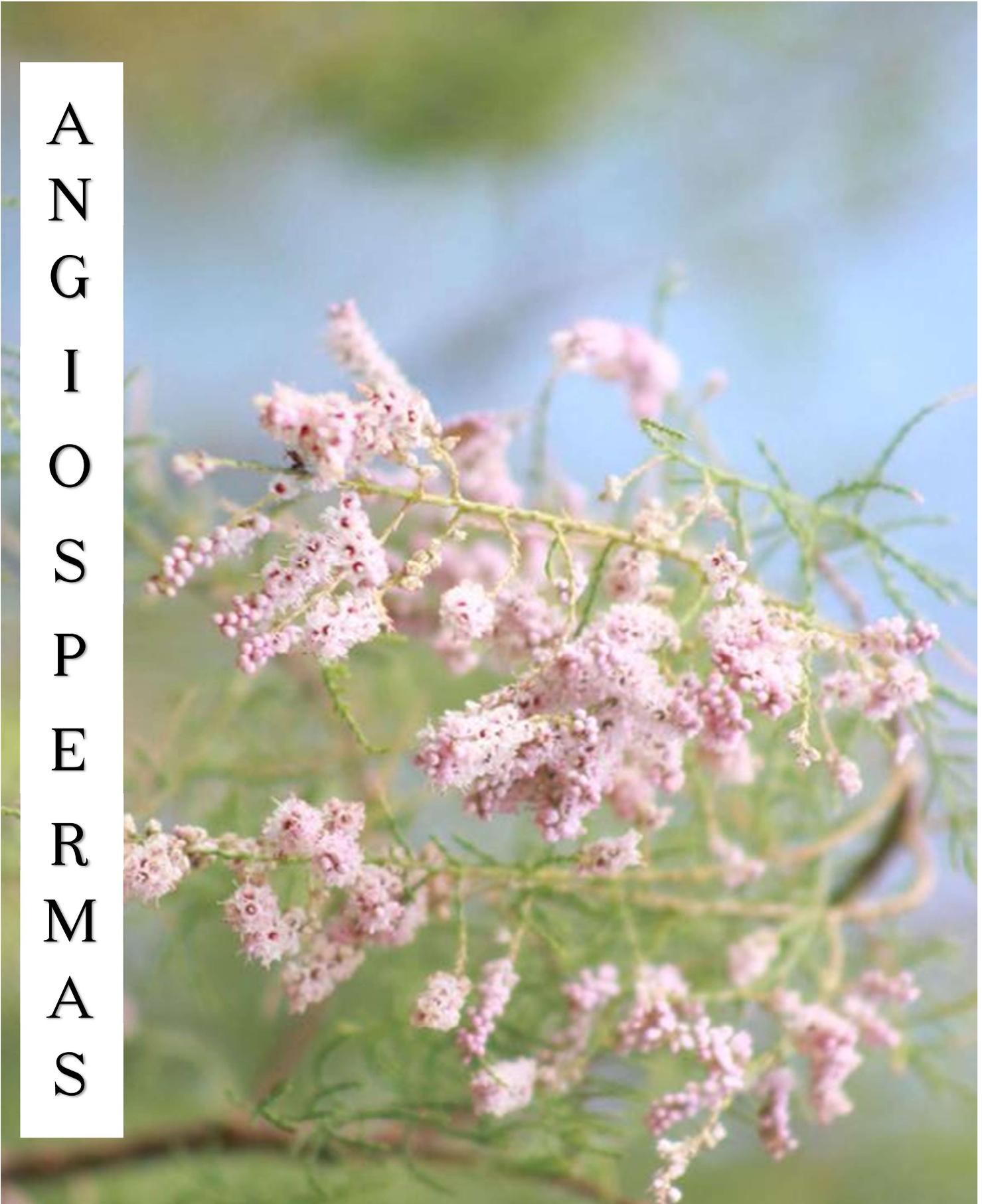
Perfil	
	15 - 35 m
	10 - 15 m
	Perennifolio
	Linear
	Cónica
	Medio
	Verano
	México
COVs	0 g/año
NO2	19.83 g/año
SO2	6.75 g/año
PM 2.5	2.23 g/año
PM 10	25.83 g/año
CO	6.73 g/año
O3	44.88 g/año
O	2.7 kg/año
	6.52 m³/año



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café oscuro, agrietada, rugosa, se desprende en tiras longitudinales de estructura fibrosa. <b>Hojas</b> lineares pequeñas y alargadas, color verde oscuro, acomodadas de manera alterna en 2 hileras opuestas, de 2 cm de largo. <b>Conos</b> subglobosos, color verde-azulado a café, están formados entre 20 y 28 escamas rugosas de 2 cm de diámetro.</p>

## 7.2. Angiospermas

A  
N  
G  
I  
O  
S  
P  
E  
R  
M  
A  
S



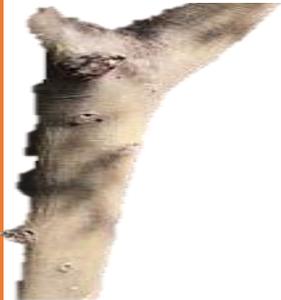
7.2.1. *Acacia farnesiana*.

Fabaceae

Perfil	
	2 - 10 m
	2 - 5 m
	Semicaduca
	Bipinada
	Ovoidal
	Medio
	Primavera
	Colombia
COVs	0 g/año
NO2	2.47 g/año
SO2	0.83 g/año
PM 2.5	0.27 g/año
PM 10	3.20 g/año
CO	0.83 g/año
O3	5.57 g/año
O	0.4 kg/año
	0.81 m <sup>3</sup> /año



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> gris a gris parda oscura lisa etapa juvenil y fisurada etapa senil, con abundantes lenticelas dispuestas en líneas transversales.</p> <p><b>Hojas</b> bipinadas color verde intenso, folíolos 30 a 50 pares por pinna, ápice agudo, base truncada, con una glándula entre los pares de pinnas, de 11.5 a 15 cm de largo, pinnas de 2 a 3 cm de largo.</p> <p><b>Inflorescencias</b> se agrupan en cabezas globosas, de color amarillo.</p>

7.2.2. *Acacia melanoxylon*.

Fabaceae

Perfil	
	10 - 20 m
	3 - 8 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Cónica
	Rápido
	Verano
	Australia
COVs	33.3 g/año
NO2	47.66 g/año
SO3	16.19 g/año
PM 2.5	5.33 g/año
PM 10	62.10 g/año
CO	16.13 g/año
O3	107.81 kg/año
O	2.1 kg/año
	15.64 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> color pardo oscura, agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> elípticas o lanceoladas, más o menos curvas y falciformes, color verde pálido, de 4 a 13 cm de largo y 0.7 a 2.5 cm de ancho. <b>Inflorescencia</b> globosa de color crema o blanquecino de 1 cm de diámetro, solitarias o en racimos en las axilas de las hojas.</p>

7.2.3. *Acacia saligna*.

Fabaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	8 - 10 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Esférica
	Lento
	Primavera
	Australia
COVs	166.6 g/año
NO <sub>2</sub>	39.57 g/año
SO <sub>2</sub>	13.43 g/año
PM 2.5	4.40 g/año
PM 10	51.57 g/año
CO	13.40 g/año
O <sub>3</sub>	89.47 kg/año
O	1.3 kg/año
	50.77 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> grisácea, lisa, agrietándose ligera y longitudinalmente con el tiempo. <b>Hojas</b> lanceoladas a elípticas, estrechándose hacia el ápice, color verde brillante, de 5 a 8 cm de largo. <b>Inflorescencia</b> globosa de color amarillo intenso o amarillo-anaranjado, de 1.5 cm de diámetro en racimos axilares de 2 a 10 glomérulos.

7.2.4. *Alnus acuminata*.

Betulaceae

Perfil	
	10 - 20 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovada
	Cónica
	Lento
	Primavera
	México
COVs	33.3 g/año
NO2	32 g/año
SO2	10.87 g/año
PM 2.5	3.57 g/año
PM 10	41.63 g/año
CO	10.83 g/año
O3	72.33 g/año
O	4.7 kg/año
	10.52 m <sup>3</sup> /año



Estructura reproductiva



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> gris a café grisáceo, con arrugas transversales, lisa a ligeramente rugosa. <b>Hojas</b> ovadas a oblonga, simples, alternas, ápice agudo, color verde intenso, , nervadura marcada, de 3.5 a 17 cm de largo y 3 a 9 de ancho. <b>Infrutescencia</b> ovoide o cilíndrica, color verde y después café claro, de 2 a 6 cm de largo, leñoso.</p>

7.2.5. *Bauhinia variegata*.

Fabaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	8 - 10 m
	Perennifolio
	Bilobulada
	Esférica
	Lento
	Primavera
	Brasil Argentina
COVs	9.09 g/año
NO2	10.91 g/año
SO2	3.71 g/año
PM 2.5	1.22 g/año
PM 10	14.21 g/año
CO	3.71 g/año
O3	24.65 g/año
O	5 kg/año
	3.59 m <sup>3</sup> /año



Inflorescencia



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café, ligeramente agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> redondeadas bilobuladas en la base y el ápice, color verde, de 10 a 20 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> como vaina de 15-30 cm de largo, con semillas rojizas, planas y redondas. <b>Inflorescencia</b> conspicuas, de color rosa brillante o blanco, de 8-12 cm de diámetro, con cinco pétalos, crecen en racimos con pocas flores.</p>

7.2.6. *Bocconia arborea*.

Papaveraceae

Perfil	
	8 - 13 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Elíptica
	Irregular
	Rápido
	Verano
	Centroaméri ca
COVs	0 g/año
NO2	23.55 g/año
SO2	8 g/año
PM 2.5	2.65 g/año
PM 10	30.65 g/año
CO	8 g/año
O3	53.25 g/año
O	1.5 kg/año
	7.74 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café claro, con tejido suberoso con surcos y grietas longitudinales profundamente marcadas, esponjoso. <b>Hojas</b> oblongas a elípticas, color verde oscuro por el haz y verde claro por el envés, peciolo de 1.5 a 8 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> elipsoide de 7 a 8mm de largo. <b>Inflorescencia</b> en forma de panícula ramificada de hasta 40 cm de largo.</p>

7.2.7. *Callistemon citrinus*.

Myrtaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Lanceolada a simple
	Irregular
	Media
	Verano
	Australia
COVs	0 g/año
NO2	1.97 g/año
SO2	0.67 g/año
PM 2.5	0.20 g/año
PM 10	2.60 g/año
CO	0.67 g/año
O3	4.50 g/año
O	4.2 kg/año
	0.65 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Inflorescencia



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> gris oscuro, fisurada, rugosa, se desprende en placas longitudinales. <b>Hojas</b> simples, alternas, lanceoladas, color verde, rígidas de aproximadamente 6cm de largo. <b>Infrutescencia</b> cápsulas redondas con hendiduras. <b>Inflorescencia</b> tubulares, crecen agrupadas formando escobillones, color rojo, de aprox 10 cm.</p>

7.2.8. *Casimiroa edulis*.

Rutaceae

Perfil	
	8 - 15 m
	3 - 8 m
	Perennifolio
	Elíptica
	Esférica
	Medio
	Primavera
	México
COVs	0 g/año
NO2	8.44 g/año
SO2	2.88 g/año
PM 2.5	0.94 g/año
PM 10	11 g/año
CO	2.88 g/año
O3	19.08 g/año
O	2.8 kg/año
	2.78 m³/año



Fruto



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> gris con puntos claros, fisurada, con numerosas lenticelas, lisa. <b>Hojas</b> elípticas u ovales a anchamente ovados, ápice agudo o acuminado, color verde brillante, de 10 a 18 cm de largo.</p> <p><b>Infrutescencia</b> drupácea redondeada, color verde en el exterior y amarillo en el interior, con textura lisa, de 10 cm de diámetro.</p> <p><b>Inflorescencia</b> pentámeras en panículas cortas, de color verde amarillento de 1 a 2 cm de largo.</p>

7.2.9. *Casuarina equisetifolia*.

Casuarinaceae

Perfil	
	20 - 35 m
	6 - 8 m
	Perennifolio
	Escuamiforme
	Irregular
	Medio
	Verano
	Australia
COVs	114.5 g/año
NO2	31.95 g/año
SO2	10.84 g/año
PM 2.5	3.58 g/año
PM 10	41.62 g/año
CO	10.81 g/año
O3	72.25 g/año
O	21.4 kg/año
	10.51 m <sup>3</sup> /año



Estructuras reproductivas



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> gris o parduzco, agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> escuamiformes, color verde oscuro a pardo, de 5 a 7 cm de largo. <b>Inflorescencia</b> ovoide con picos, color café oscuro, leñosas, de 1.5 a 2 cm de diámetro.

7.2.10. *Citrus aurantifolia* .

Rutaceae

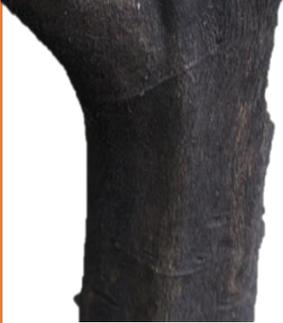
Perfil	
	2 - 6 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Ovadas
	Esférica
	Medio
	Verano
	Asia
COVs	0 g/año
NO2	1.20 g/año
SO2	0.40 g/año
PM 2.5	0.10 g/año
PM 10	1.50 g/año
CO	0.40 kg/año
O3	2.70 kg/año
O	0.7 kg/año
	1.2 m³/año



Fruto



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, lisa. <b>Hojas</b> ovadas a elípticas, color verde brillante ligeramente lustrosas, de 3 a 6 cm de largo.</p> <p><b>Infrutescencia</b> drupáceo verde, rugoso, de 4 a 6 cm de diámetro.</p> <p><b>Inflorescencia</b> de 5 pétalos color blanco amarillento, de 2.5 cm de diámetro.</p>

7.2.11. *Citrus limon.*

Rutaceae

Perfil	
	6 - 12 m
	3 - 6 m
	Perennifolio
	Oblonga
	Esférica
	Medio
	Verano
	Asia
COVs	0 g/año
NO2	1.70 g/año
SO2	0.59 g/año
PM 2.5	0.19 g/año
PM 10	2.21 g/año
CO	0.59 g/año
O3	3.86 g/año
O	0.9 kg/año
	0.39 m <sup>3</sup> /año



Fruto



Inflorescencia



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> verdosa a café, lisa. <b>Hojas</b> oblongas, simples, color verde brillante, de 6 a 12.5 cm de largo y 3 a 6 cm de ancho.</p> <p><b>Infrutescencia</b> globosa, color verde brillante, lisa, rígida y gruesa, de 5 a 7 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> racimozas con 5 pétalos blancos, de 2 a 3 cm de diámetro.</p>

7.2.12. *Citrus reticulata*.

Rutaceae

Perfil	
	3 - 5 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Esférica
	Medio
	Primavera
	China
COVs	0 g/año
NO <sub>2</sub>	3.10 g/año
SO <sub>2</sub>	1.03 g/año
PM 2.5	0.33 g/año
PM 10	4.05 g/año
CO	1.3 ton/año
O <sub>3</sub>	1.30 kg/año
O	2.5 kg/año
	0.20 m <sup>3</sup> /año



Fruto



Inflorescencia



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café oscuro, lisa, con pequeñas protuberancias longitudinales. <b>Hojas</b> lanceoladas, ápice agudo, color verde brillante, de 3 a 5 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color naranja brillante, lisa a levemente rugosa, de 6 a 10 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> con 5 pétalos color blanco, de 2 a 3 cm de diámetro.</p>

7.2.13. *Citrus sinensis*.

Rutaceae

Perfil	
	6 - 10 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Esférica
	Medio
	Verano
	Asia
COVs	0 g/año
NO2	0.60 g/año
SO2	0.20 g/año
PM 2.5	0.10 g/año
PM 10	0.80 g/año
CO	0.20 g/año
O3	1.30 g/año
O	1.2 kg/año
	0.59 m <sup>3</sup> /año



Fruto



Hoja



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café grisáceo, lisa. <b>Hojas</b> lanceoladas, ápice agudo, color verde claro ligeramente lustrosas, de 4 a 6 cm de largo.</p> <p><b>Infrutescencia</b> drupácea, color naranja amarillento, rugosa, de 6 a 9 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> con 5 pétalos blancos de 2 a 3 cm de diámetro.</p>

7.2.14. *Crataegus mexicana.*

Roseaceae

Perfil	
	4 - 10 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovado lanceoladas
	Ovoidal
	Medio
	Verano
	México
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Fruto



Inflorescencia



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café oscuro a gris, agrietada dividida en placas longitudinales, rugosa. <b>Hojas</b> simples, elípticas u ovadas, lanceoladas, margen en forma irregular, haz glabro y envés pubescente, verde oscuro y verde pálido, de 3 a 5 cm de largo . <b>Infrutescencia</b> drupácea, color naranja pálido, lisa y ligeramente lustrosa, de 2 a 3.5 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en forma de umbelas con 2 a 6 flores, 5 pétalos color blanco, de 1 a 2.5 cm de diámetro.</p>

7.2.15. *Eriobotrya japonica*.

Rosaceae

Perfil	
	17 - 18 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Ovoidal
	Medio
	Verano
	China
COVs	0 g/año
NO2	8.13 g/año
SO2	2.78 g/año
PM 2.5	0.90 g/año
PM 10	10.55 g/año
CO	2.73 g/año
O3	18.30 g/año
O	3.6 kg/año
	2.66 m <sup>3</sup> /año



Fruto

Hoja



Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> pardo oscuro a grisáceo, agrietada, se desprende en placas, rugosa. <b>Hojas</b> lanceoladas, color verde oscuro, coriáceas, con nervadura marcada, de 6 a 12 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color naranja amarillento, ligeramente pubescente, de 2 a 3 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en panículas, blanca, con 4 pétalos, de 1 a 4 cm de diámetro.

7.2.16. *Erythrina americana*.

Fabaceae

Perfil	
	6 - 10 m
	2 - 5 m
	Perennifolio
	Trifoliadas
	Esférica
	Rápido
	Primavera
	Centroamérica
COVs	25 g/año
NO2	37.33 g/año
SO2	12.68 g/año
PM 2.5	4.20 g/año
PM 10	48.63 g/año
CO	12.63 g/año
O3	84.40 g/año
O	0.2 kg/año
	12.28 m <sup>3</sup> /año



Estructura reproductiva



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> amarillenta a grisácea, lisa. <b>Hojas</b> compuestas, trifoliadas, alternas, ápice agudo, color verde, de 7 a 14 cm de largo y 5 a 6 cm de ancho. <b>Infrutescencia</b> legumbre dehiscente. <b>Inflorescencia</b> en espigas verticiliadas, zigomorfas, color rojo, de 4 a 7 cm de diámetro.

7.2.17. *Eucalyptus camaldulensis*.

Myrtaceae

Perfil	
	50 - 60 m
	6 - 10 m
	Caducifolio
	Lanceolada
	Irregular
	Medio
	Primavera
	Australia
COVs	400 g/año
NO2	89.80 g/año
SO2	30.48 g/año
PM 2.5	10.08 g/año
PM 10	117 g/año
CO	30.38 g/año
O3	203.10 g/año
O	23.7 kg/año
	29.53 m³/año



Estructuras reproductivas



Hoja



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> blanca con tonos marrones o rojizos, se desprende en placas con los años, lisa. <b>Hojas</b> alternas, lanceoladas, verde grisáceo, levemente coriáceas, de 8 a 15 cm de longitud.</p> <p><b>Infrutescencia</b> en cápsula cupuliforme con opérculo puntiagudo de 5 a 8 mm de longitud.</p>

7.2.18. *Euphorbia triucalli*.

Euphorbiaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Linear
	Extendida
	Medio
	Primavera
	África
COVs	0 g/año
NO2	29.40 g/año
SO2	10 g/año
PM 2.5	3.30 g/año
PM 10	38.20 g/año
CO	9.90 g/año
O3	66.40 g/año
O	12 kg/año
	9.65 m³/año



Hoja

Inflorescencia



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, fracturada longitudinalmente con la edad, rugosa, asurcada; ramillas redondeadas, carnosas, generalmente verticiladas, verdes, con finas estrías longitudinales y pequeñas marcas de las hojas. <b>Hojas</b> simples y enteras, subsésiles, linear lanceoladas, verdosas, de 15 x 2 mm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en panícula, color blanco, de 3 a 6 mm de diámetro.</p>

7.2.19. *Euphorbia umbellata*.

Euphorbiaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovada
	Irregular
	Medio
	Primavera
	África
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea en partes más pálido, lisa ligeramente rugosa. <b>Hojas</b> alternas, ovadas a lanceoladas, verde claro, con nervaduras verde oscuras, de 6 a 10 cm de largo. <b>Inflorescencias</b> pistiladas, con sépalos reducidos, axilares.</p>

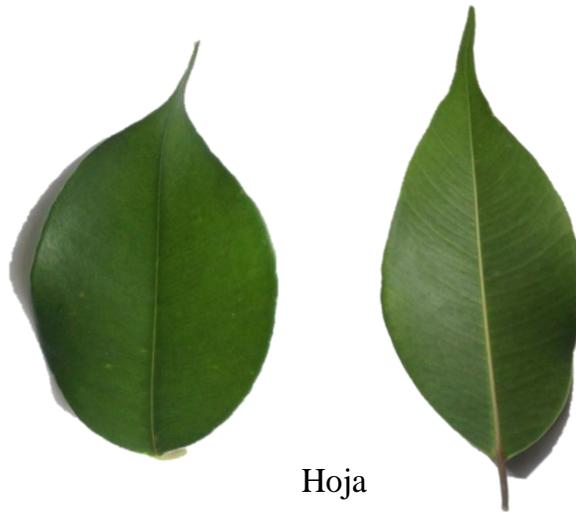
7.2.20. *Ficus benjamina*.

Moraceae

Perfil	
	8 - 10 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Ovada
	Esférica
	Medio
	Primavera
	India
COVs	17.64 g/año
NO2	34.94 g/año
SO2	11.85 g/año
PM 2.5	3.92 g/año
PM 10	42.52 g/año
CO	11.83 g/año
O3	79.01 g/año
O	6.9 kg/año
	11.49 m <sup>3</sup> /año



Estructuras reproductivas



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, lisa con protuberancias, café oscuro. <b>Hojas</b> ovadas a elípticas, ápice acuminado, color verde oscuro, lustrosas, de 4 a 8 cm de largo y de 3 a 4 cm de ancho. <b>Infrutescencia</b> en cíconos esféricos, color rojo a amarillo, lisos, de 1 cm de diámetro.</p>

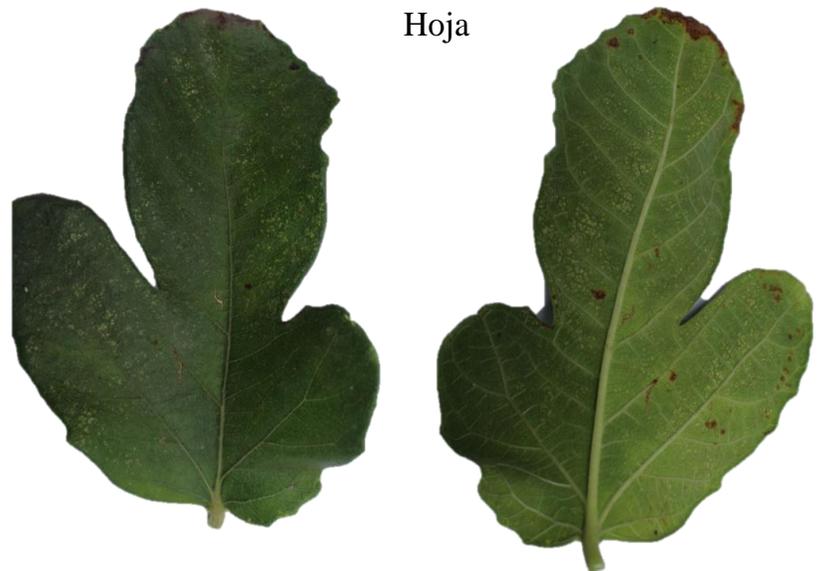
7.2.21. *Ficus carica*.

Moraceae

Perfil	
	5 - 10 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Oval
	Esférica
	Medio
	Primavera
	Asia
COVs	0 g/año
NO2	5.73 g/año
SO2	1.95 g/año
PM 2.5	0.65 g/año
PM 10	7.44 g/año
CO	1.95 g/año
O3	12.93 g/año
O	4.2 kg/año
	1.88 m <sup>3</sup> /año



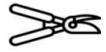
Hoja



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea a blanca, lisa con ligeras protuberancias gris oscuro. <b>Hojas</b> simples, alternas, ovales, color verde oscuro, con envés pubescente, palmadas con 3 a 7 lóbulos, de 10 a 20 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> en cícono ovoide o elipsoide, morado a negro, liso, blando, carnoso, de 3 a 10 cm de largo.</p>

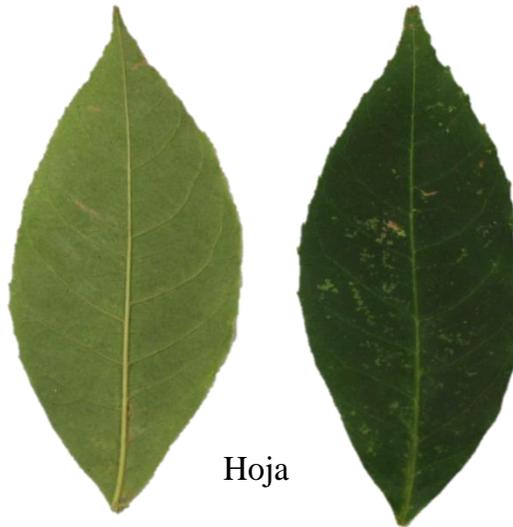
7.2.22. *Fraxinus uhdei*.

Oleaceae

Perfil	
	8 - 15 m
	4 - 7 m
	Caducifolio
	Ovado lanceoladas
	Esférica
	Rápido
	Primavera
	México
COVs	0 g/año
NO2	101.87 g/año
SO2	34.56 g/año
PM 2.5	11.41 g/año
PM 10	132.70 g/año
CO	34.48 g/año
O3	230.36 g/año
O	9.5 kg/año
	33.50 m <sup>3</sup> /año



Estructuras reproductivas



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> color gris a café, agrietada en placas cuadranguladas profundas, rugosa. <b>Hojas</b> pinnaticompuestas, opuestas, ovado lanceoladas, con ápice agudo, cuneadas en la base, con haz verde oscuro y envés verde pálido, glabras, de 8 a 20 cm de largo. <b>Inflorescencia</b> en panículas con numerosas flores de 5 pétalos, amarillas blanquecinas, de 0.5 mm aprox.</p>

7.2.23. *Grevillea robusta*.

Proteaceae

Perfil	
	15 - 30 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Cónica
	Medio
	Primavera
	Australia
COVs	0 g/año
NO2	70.33 g/año
SO2	23.88 g/año
PM 2.5	7.90 g/año
PM 10	91.63 g/año
CO	23.80 g/año
O3	159.07 g/año
O	15.9 kg/año
	23.13 m³/año



Inflorescencia



Hoja



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> gris oscura, fisurada, agrietada. <b>Hojas</b> compuestas, alternas, pinnadas o bipinnadas, lanceoladas, color verde grisáceo en el haz y gris en el envés con pelos sedosos, de 10 a 15 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> cápsula, aplanada, negruzca, coriácea, de 2 cm de largo. <b>Inflorescencia</b> en panículas largas, color anaranjadas a amirillo oscuro, sin pétalos, de 1.5 a 2 cm de largo.</p>

7.2.24. *Hibiscus tiliaceus*.

Malvaceae

Perfil	
	3 - 6 m
	4 - 6 m
	Caducifolio
	Ovada
	Esférica
	Medio
	Primavera
	África
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



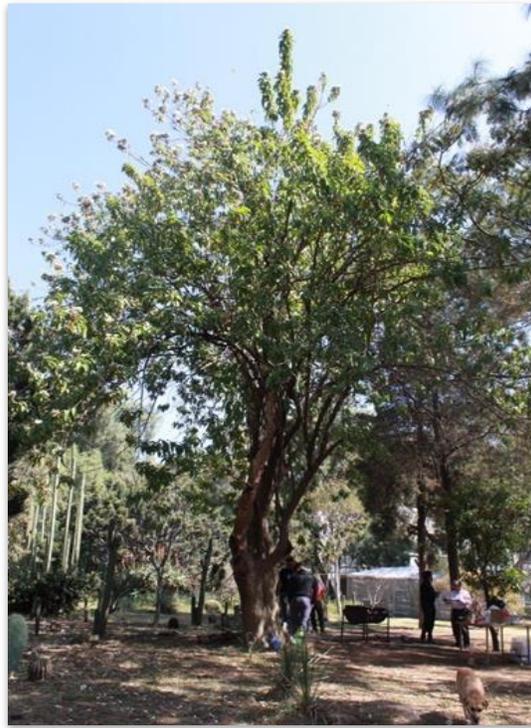
Hoja e Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea o marrón claro, fisurada longitudinalmente.</p> <p><b>Hojas</b> redondeadas, ápice cuspeado, color verde oscuro, ligeramente lustrosa, subcoriácea, de 6 a 12 cm de largo y ancho.</p> <p><b>Inflorescencia</b> axilar, articulada, color rojas o amarillas, de 2 a 4 cm de largo.</p>

7.2.25. *Ipomoea murucoides*.

Convolvulaceae

Perfil	
	4 - 10 m
	5 - 8 m
	Perennifolio o Caducifolio
	Oblonga
	Extendida
	Medio
	Primavera
	México
COVs	100 g/año
NO2	172.10 g/año
SO2	58.40 g/año
PM 2.5	19.30 g/año
PM 10	224.20 g/año
CO	58.20 g/año
O3	389.20 g/año
O	21.7 kg/año
	56.59 m <sup>3</sup> /año



Inflorescencia



Hoja



Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> grisácea a amarillento, áspera y delgada. <b>Hojas</b> oblongas a elípticas lanceoladas, ápice acuminado, color verde brillante, el haz es lustroso y envés mate con venación marcada, de 8 a 17 cm de largo y de 3 a 5 cm de ancho. <b>Infrutescencia</b> en cápsula ovoide, café oscura, de 2.5 cm de longitud. <b>Inflorescencia</b> en forma de campana con corola blanca, de 6 cm de longitud.

7.2.26. *Jacaranda mimosifolia*.

Bignoniaceae

Perfil	
	10 - 20 m
	5 - 8 m
	Caducifolio
	Bipinnadas
	Extendida
	Rápido
	Primavera
	Brasil, Argentina
COVs	0 g/año
NO2	89.37 g/año
SO2	30.30 g/año
PM 2.5	10.01 g/año
PM 10	116.39 g/año
CO	30.23 ton/año
O3	202.05 g/año
O	10.9 kg/año
	29.38 m <sup>3</sup> /año



Inflorescencia



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> verde a café claro cuando joven y de gris claro a gris oscuro en la madurez, fisurada y delgada. <b>Hojas</b> compuestas, opuestas, bipinnadas, color verde, de 15 a 30 cm de largo, cuentan con 16 o más pares de pinnas. <b>Infrutescencia</b> circular, aplanada con bordes ondulados, café claro, dura, lisa, de 5 a 7 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> de campana, color lila, de 3 a 6 cm de largo y 2 a 3 cm de diámetro.</p>

7.2.27. *Junglans cinerea*.

Juglandaceae

Perfil	
	10 - 30 m
	5 - 8 m
	Caducifolio
	Ovadas
	Extendida
	Rápido
	Primavera
	Estados Unidos
COVs	0 g/año
NO2	1.80 g/año
SO2	0.60 g/año
PM 2.5	0.20 g/año
PM 10	2.30 g/año
CO	0.60 g/año
O3	4 g/año
O	0.6 kg/año
	0.59 m <sup>3</sup> /año



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> color café oscuro a grisáceo, fisurada en placas longitudinales, escamosa. <b>Hojas</b> compuestas, con 11 a 15 folíolos, ovados, color verde oscuro en el haz y verde claro en el envés, de 4 a 7 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color verde inmadura y negro en la madurez, lisa, de 2 a 3 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en racimos color verde de 5 a 7 mm de diámetro.</p>

7.2.28. *Leucaena esculenta*

Fabaceae

Perfil	
	10 - 15 m
	5 - 8 m
	Caducifolio
	Bipinadas, escama
	Extendida
	Medio
	Otono
	México
COVs	0 g/año
NO2	28.80 g/año
SO2	9.75 g/año
PM 2.5	3.23 g/año
PM 10	37.50 g/año
CO	9.75 ton/año
O3	65.10 g/año
O	1.1 kg/año
	9.47 m <sup>3</sup> /año



Inflorescencia



Hoja

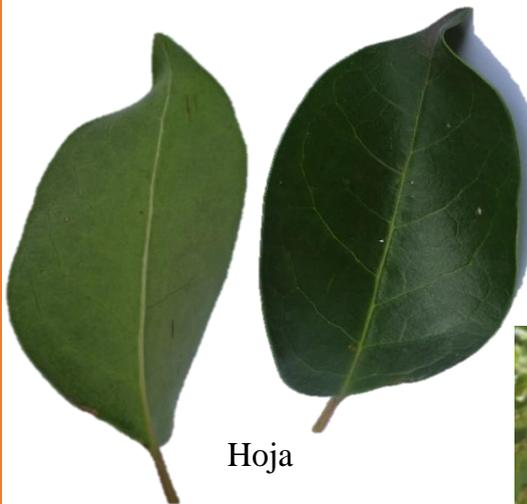
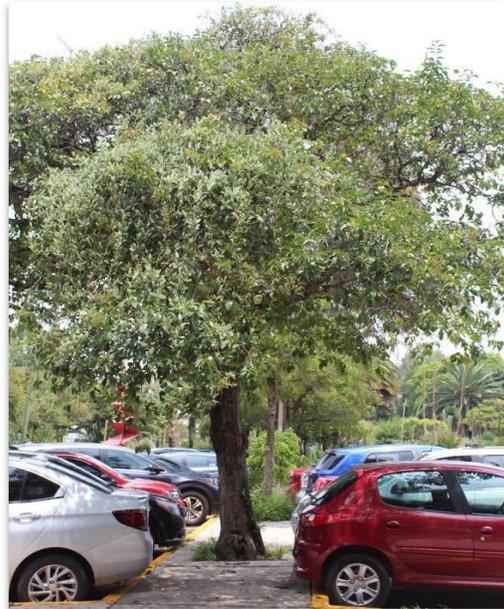


Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> gris claro, lisa con pliegues longitudinales. <b>Hojas</b> compuestas, color verde oscuro, con 64 pares por pinas, de 3.5 a 7 mm cada una. <b>Infrutescencia</b> legumbre en forma de vaina, color rojiza, amarilla a café, de 8 a 24 cm de largo. <b>Inflorescencia</b> axilar, redonda, blancas a amarillentas, de 0.5 a 1.5 cm de diámetro.</p>

7.2.29. *Ligustrum lcidum*.

Oleaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	5 - 7 m
	Perennifolio
	Ovada
	Esférica
	Medio
	Primavera
	China, Corea
COVs	68.57 g/año
NO2	15.99 g/año
SO2	5.43 g/año
PM 2.5	1.79 g/año
PM 10	20.82 g/año
CO	5.41 g/año
O3	36.14 kg/año
O	2.9 kg/año
	5.26 m³/año



Hoja

Inflorescencia



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> gris a pardo oscura, en placas longitudinales, rugosa y dura. <b>Hojas</b> ovadas con ápice acuminado, color verde oscuro, ligeramente lustrosas y gruesas, de 6 a 12 cm de largo.</p> <p><b>Infrutescencia</b> globosa, color negra azulada, lisa, de 1 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en racimos piramidales ergídos de hasta 20 cm, color blancas.</p>

7.2.30. *Macadamia integrifolia*.

Proteceae

Perfil	
	8 - 15 m
	4 - 8 m
	Perennifolio
	Panduriforme
	Esférico
	Medio
	Primavera
	Australia
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Hoja



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> marrón oscuro, lisa tornándose rugosa con el paso de los años. <b>Hojas</b> panduriformes, margen ondulado, color verde oscuro, lustrosas, de 6 a 8 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> globosa, color verde claro, leñosa, de 2 a 3.5 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en racimos blanquecinos, de 8 a 12 cm de largo.</p>

7.2.31. *Macadamia ternifolia*.

Proteceae

Perfil	
	5 -8 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Irregular
	Medio
	Primavera
	Australia
COVs	0 g/año
NO2	2.90 g/año
SO2	1 g/año
PM 2.5	0.30 g/año
PM 10	3.70 g/año
CO	1 g/año
O3	6.50 g7año
O	0.8 kg/año
	0.94 m³/año



Hoja



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisasea, lisa a rugosa. <b>Hojas</b> simples, pecioladas, oblanceolada, margen dentado, color verde brillante, de 9 a 15 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> globoso con ápice puntiagudo, color verde a café, folículo leñoso, duro, de 1 a 2 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> tubular en racimos o a veces en panículas axilares, color blanco, de unos 30 cm de largo.</p>

7.2.32. *Magnolia grandifolia*.

Magnoliaceae

Perfil	
	10 - 25 m
	3 - 5 .
	Perenifolio
	Oblonga
	Extendida
	Lento
	Primavera
	E.U.
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Hoja



Estructura reproductiva

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea a pardo, ligeramente fisurada, rugosa. <b>Hojas</b> alternas, oblongas, margen entero, ápice agudo, color verde claro brillante, glabras y coriáceas, de hasta 20 cm de longitud.</p> <p><b>Infrutescencia</b> ovoide, color rojizo, rugoso, de 3 a 6 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> solitarias, color blanco, con 8 pétalos, de 7 a 17 cm de largo.</p>

7.2.33. *Malus domestica*.

Rosaceae

Perfil	
	3 - 7 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovaladas
	Esférica
	Lento
	Verano
	Asia
COVs	0 g/año
NO2	7.5 g/año
SO2	2.6 g/año
PM 2.5	0.80 g/año
PM 10	9.80 g/año
CO	2.50 g/año
O3	17 g/año
O	3.6 kg/año
	2.47 m <sup>3</sup> /año



Fruto



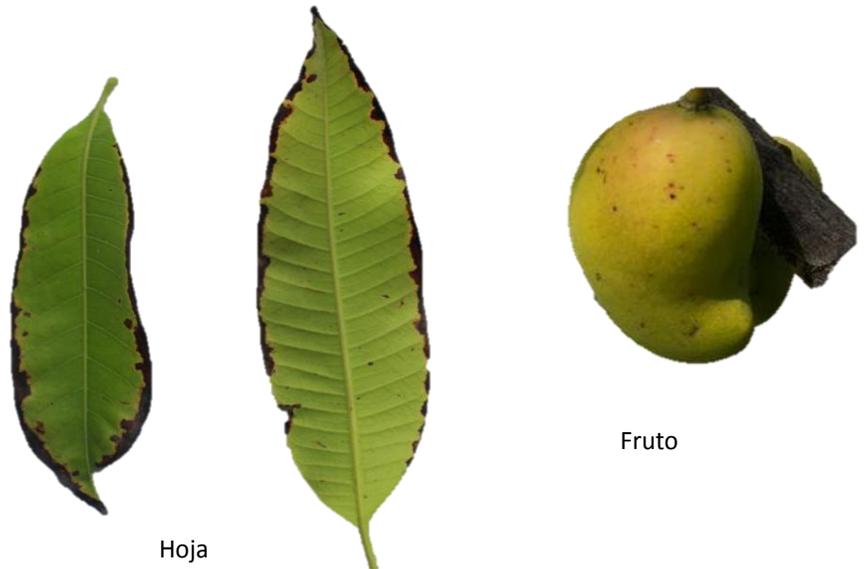
Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, con grietas que se desprenden en placas en la madurez, lisa. <b>Hojas</b> estipuladas y pecioladas, ovaladas, margen aserrado, acuminadas de base cuneada, color verde intenso en el haz y verde claro en el envés, pubescente, de 3 a 6 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color rojo amarillento, liso, opaco, de 5 a 7 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> umbeliforme, blanquecina, de 2 a 3 cm de diámetro.</p>

7.2.34. *Magnifera indica*.

Anacardiaceae

Perfil	
	12 - 25 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Esférica
	Medio
	Verano
	Asia
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Hoja

Fruto

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, agrietada, gruesa y áspera. <b>Hojas</b> lanceoladas, acuminadas, color verde amarillenta, venación marcada, de 8 a 15 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> arriñonada, elíptica, color amarillo brillante, liso, de 7 a 12 cm de longitud. <b>Inflorescencia</b> en panículas, glóbulos marcados de 5 pétalos, color rojo a rosado.</p>

7.2.35. *Morus celtidifolia*.

Moraceae

Perfil	
	10 - 12 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovada
	Esférica
	Medio
	Verano
	México
COVs	0 g/año
NO2	16.33 g/año
SO2	5.53 g/año
PM 2.5	1.83 g/año
PM 10	21.30 g/año
CO	5.53 g/año
O3	36.93 g/año
O	1.7 kg/año
	5.37 m³/año



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> color café grisáceo, fisurada, rugosa. <b>Hojas</b> alternas, ovadas, acuminadas, margen aserrado, haz color verde oscuro opaco envés verde claro y pubescente, de 5 a 8 cm de longitud, cambia la forma de la hoja en su crecimiento. <b>Infrutescencia</b> sincarpo compuesta de numerosas drupas pequeñas, color rojo intenso y morado oscuro al madurar, de 0.6 a 1.2 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en amentos, verdosas, de 2.5 cm a 8 cm.</p>

7.2.36. *Olea europea.*

Oleaceae

Perfil	
	2 - 8 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Lanceolada a simple
	Irregular
	Lento
	Verano
	Mediterraneo
COVs	0 g/año
NO2	0 g/año
SO2	0 g/año
PM 2.5	0 g/año
PM 10	0 g/año
CO	0 g/año
O3	0 g/año
O	0 g/año
	0 m³/año



Hoja



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, fisurada, lisa. <b>Hojas</b> enteras, simples, alternas, lanceoladas, color verde grisáceo, de 6 cm de largo aprox.</p> <p><b>Infrutescencia</b> drupa carnosa, ovoide, color verde inmaduro negro en la madurez, aceitosa, de 2 a 3 cm de largo y 1 a 3 cm de ancho.</p> <p><b>Inflorescencia</b> en racimos cortos ramificados en las axilas, color blanco, con 15 a 20 flores pequeñas.</p>

7.2.37. *Persea americana*.

Lauraceae

Perfil	
	10- 20 m
	5 - 8 m
	Perennifolio Caducifolio
	Oval
	Irregular
	Lento
	Verano
	Centro- américa
COVs	0 g/año
NO2	3.80 g/año
SO2	1.30 g/año
PM 2.5	0.40 g/año
PM 10	5.0 g/año
CO	1.30 g/año
O3	8.60 g/año
O	0 kg/año
	1.25 m³/año



Hoja



Fruto

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> grisácea a parda, agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> ovales, verde pálido, nervadura marcada, de 7 a 10 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> drupacea, color verde oscuro a negro, ligeramnete rugosa, de 8 a 12 cm de longitud. <b>Inflorescencia</b> en panículas, color amarillas a blanquecinas, de 8 a 14 cm de largo.

7.2.38. *Phoenix canariensis*.

Areaceae

Perfil	
	5- 30 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Pinnati- compuestas
	De parasol
	Medio
	Verano
	Islas Canarias
COVs	13.3 g/año
NO2	16.9 g/año
SO2	5.46 g/año
PM 2.5	1.79 g/año
PM 10	20.96 g/año
CO	5.46 g/año
O3	36.37 g/año
O	0.6 kg/año
	5.29 m <sup>3</sup> /año



Estructuras

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café cubierta por la base de las hojas viejas y secas. <b>Hojas</b> pinnaticompuestas, color verde claro, de 0.8 a 1.5 m.</p> <p><b>Infrutescencia</b> en racimos colgantes ovoides, naranja, de hasta 2m de largo.</p>

7.2.39. *Pithecellobium dulce*.

Fabaceae

Perfil	
	8 - 10 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovada
	Irregular
	Medio
	Primavera
	México
COVs	0 g/año
NO2	9.50 g/año
SO2	3.20 g/año
PM 2.5	1.1 g/año
PM 10	12.30 g/año
CO	3.20 g/año
O3	21.40 g/año
O	4 kg/año
	3.11 m³/año



Hoja



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> marrón grisácea, agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> compuestas, imparipinnadas, foliíolos ovalados, color verde, de 2 a 3 cm de longitud. <b>Inflorescencia</b> péndulos en racimos, blancos, de 7 a 15 cm.

7.2.40. *Populus alba*.

Salicaceae

Perfil	
	12 - 25 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovales
	Esférica
	Rápido
	Primavera
	Africa, Asia
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> blanquecina a grisácea amarillenta, agrietada longitudinalmente, lisa. <b>Hojas</b> simples, alternas, ovales a palmeadas, margen dentado, haz verde intenso y envés blanco y pubescente, de 4 a 8 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> en cápsula ovoide, color café, de 1.5 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en amentos colgantes, color rojizos a pardos, de 5 a 15 cm de longitud.</p>

7.2.41. *Populus deltoides*.

Salicaceae

Perfil	
	20 -30 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Deltoide
	Cónica
	Medio
	Verano
	Norteameric ana
COVs	650 g/año
NO2	34.80 g/año
SO2	11.80 g/año
PM 2.5	3.90 g/año
PM 10	45.35 g/año
CO	11.80 g/año
O3	78.65 g/año
O	4.3 kg/año
	88.10 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> gris blanquecina, profundamente agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> deltoides, margen aserrado, ápice acuminado, color verde, de 3 a 6 cm de longitud. <b>Inflorescencia</b> púrpura a rojiza, de 7 a 13 cm de longitud.

7.2.42. *Prosopis laevigata*.

Leguminosae

Perfil	
	8 - 13 m
	3 - 5 m
	Perennifolio
	Pinada
	Irregular
	Medio
	Primavera
	México
COVs	0 g/año
NO2	62.17 g/año
SO2	21.10 g/año
PM 2.5	6.97 g/año
PM 10	81.03 g/año
CO	21.03 g/año
O3	140.63 g/año
O	18.1 kg/año
	20.45 m <sup>3</sup> /año



Estructura reproductiva



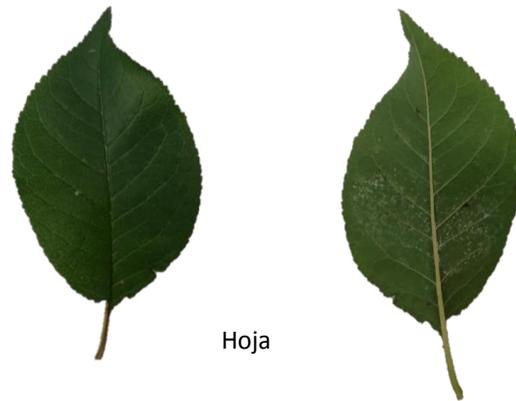
Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café oscuro a negro, agrietada en placas longitudinales, rugosa. <b>Hojas</b> pinnadas, foliolos lineales, oblongos, verde pálido a grisáceo, glabros, de 5 a 10 mm de largo. <b>Infrutescencia</b> tipo vaina, color café oscuro, de 8 a 20 cm de largo. <b>Inflorescencia</b> en racimos amarillentos, tubulares, de 8 a 16 cm de longitud.</p>

7.2.43. *Prunus armeniaca*.

Rosaceae

Perfil	
	4 - 7 m
	3 - 6 m
	Caducifolio
	Oblonga
	Esférica
	Medio
	Primavera
	China
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, fisurada, rugosa. <b>Hojas</b> pecioladas, oblongas, acuminadas, margen aserrado, color verde oscuro, de 3 a 6 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color naranja amarillento, pubescente, de 4 a 8 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en facículos, tubulares, amarillentos a blanquecinos, cada facículo mide 1 cm de diámetro.</p>

7.2.44. *Prunus domestica*.

Rosaceae

Perfil	
	5 - 8 m
	3 - 6 m
	Caducifolio
	Oblonga
	Esferica
	Medio
	Verano
	Francia
COVs	0 g/año
NO <sub>2</sub>	1.70 g/año
SO <sub>2</sub>	0.60 g/año
PM 2.5	0.20 g/año
PM 10	2.20 g/año
CO	0.60 g/año
O <sub>3</sub>	3.85 g/año
O	1.6 g/año
	0.57 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, agrietada en la madurez, rugosa. <b>Hojas</b> oblongas, margen aserrado, base cordada, haz color verde oscuro y envés verde claro, de 3 a 5 cm de longitud. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color verde claro, ligeramente lustroso, liso, de 4 a 8 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> solitarias o en facículos, 5 pétalos blancos, de 1 a 2.5 cm de diámetro.</p>

7.2.45. *Prunus persica*.

Rosaceae

Perfil	
	5 - 8 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Oblonga-lanceolada
	Irregular
	Medio
	Primavera
	China
COVs	0 g/año
NO2	15.53 g/año
SO2	5.27 g/año
PM 2.5	1.74 g/año
PM 10	20.22 g/año
CO	5.26 g/año
O3	35.08 g/año
O	1.6 kg/año
	0.57 m³/año



Hoja

Inflorescencia



Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> café oscuro, agrietada con láminas gruesas, rugosa. <b>Hojas</b> oblongas a lanceoladas, ápice agudo, margen entero, color café oscuro, de 6 a 10 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> drupácea amarillenta, pubescente, de 6 a 8 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> solitarias o geminadas, con numerosas brácteas, color blanco a rosado, de 2 a 4 cm de diámetro.

7.2.46. *Prunus serotina*.

Rosaceae

Perfil	
	8 - 15 m
	4 - 8 m
	Caducifolio
	Lanceolada
	Esférica
	Medio
	Primavera
	América
COVs	0 g/año
NO2	46.10 g/año
SO2	15.60 g/año
PM 2.5	5.25 g/año
PM 10	60 g/año
CO	15.60 g/año
O3	104.20 g/año
O	6.8 kg/año
	8.99 m <sup>3</sup> /año



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café oscuro, segmentada, agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> simples, alternas, ovadas a lanceoladas, ápice acuminado, margen aserrado, color verde oscuro, ligeramente lustrosas en el haz y nervadura marcada en el envés, de 5 a 10 cm de largo.</p> <p><b>Infrutescencia</b> drupácea, globosa, color roja a negra, lisa, 1.5 cm de diámetro aprox. <b>Inflorescencia</b> en racimos axilares colgantes, blancos, tubulares, de 10 a 15 cm de diámetro.</p>

7.2.47. *Pisidium guajava*.

Rosaceae

Perfil	
	5 - 10 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Ovalo- blongas
	Irregular
	Medio
	Primavera
	Meso- américa
COVs	25 g/año
NO2	14.53 g/año
SO2	4.93 g/año
PM 2.5	1.63 g/año
PM 10	18.90 g/año
CO	4.90 g/año
O3	32.83 g/año
O	2.3 kg/año
	4.77 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Inflorescencia



Fruto

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> pardo a blanco, laminar con escamas delgadas e irregulares, lisa. <b>Hojas</b> compuestas, simples, ovaladas a oblongas, verde oscuro, coriáceas, nervadura marcada, de 3 a 13.5 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color amarilla, lisa, de 5 a 8 cm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> solitarias, 6 pétalos blancos, de 1 a 2.5 cm de diámetro.</p>

7.2.48. *Quercus rugosa*.

Fagaceae

Perfil	
	10 - 30 m
	5 - 12 m
	Perennifolio o caducifolio
	Panduriforme
	Extendida
	Medio
	Primavera
	México
COVs	0 g/año
NO2	4.30 g/año
SO2	1.50 g/año
PM 2.5	0.50 g/año
PM 10	5.60 g/año
CO	1.40 g/año
O3	9.70 g/año
O	1 kg/año
	1.41 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Semillas

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café oscuro, agrietada, fisurada profundamente, rugosa. <b>Hojas</b> panduriformes a elípticas, color verde oscuro en haz, glabro y verde grisáceo en el envés, pubescente, nervadura marcada. <b>Infrutescencia</b> solitario o en grupo, ovoide, color verde a pardo, lisas, de 1.5 a 2 cm de longitud. <b>Inflorescencia</b> pedúnculo largo delgado, blanquecino, pubescente, de 3 a 7 cm de largo.</p>

7.2.49. *Salix bonplandiana*.

Salicaceae

Perfil	
	10 - 16 m
	5 - 8 m
	Caducifolio
	Linear-lanceoladas
	Esférico
	Rápido
	Primavera
	México
COVs	0 g/año
NO2	3.30 g/año
SO2	1.10 g/año
PM 2.5	0.40 g/año
PM 10	4.30 g/año
CO	1.10 g/año
O3	7.50 g/año
O	0.9 kg/año
	1.10 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Estructuras reproductivas

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea a café oscuro, fisurada con placas irregulares, gruesa y rugosa. <b>Hojas</b> simples, alternas, linear, lanceolada, ápice acuminado, base cuneada, margen finamente aserrado, color verde oscuro en haz y verde grisáceo en el envés, de 4 a 8 cm.</p> <p><b>Inflorescencia</b> en amentos delgados cilíndricos, verdes a cafés, de 4 a 8 cm de largo.</p>

7.2.50. *Schinus molle*.

Anacardiaceae

Perfil	
	10 - 15 m
	5 - 15
	Perennifolio
	Imparipinadas
	Esférica
	Rápido
	Verano
	Perú
COVs	227.58 g/año
NO2	147.81 g/año
SO2	50.14 g/año
PM 2.5	16.55 g/año
PM 10	192.52 g/año
CO	50.01 g/año
O3	334.22 g/año
O	1.5 kg/año
	29.53 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Estructura reproductiva

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea a café oscuro, fisurada, rugosa. <b>Hojas</b> compuestas, imparipinnadas, de 41 foliólos, margen entero, color verde, de 3 cm. <b>Infrutescencia</b> drupácea, color rojo, carnosa, glabra, de 5 mm de diámetro. <b>Inflorescencia</b> en panículas axilares, amarillas, de 5 a 8 cm de longitud.</p>

7.2.51. *Schinus terebinthifolius*.

Perfil	
	7 - 10 m
	6 - 8 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Extendida
	Mediano
	Verano
	Brasil
COVs	0 g/año
NO2	2.80 g/año
SO2	0.95 g/año
PM 2.5	0.30 g/año
PM 10	3.65 g/año
CO	0.95 g/año
O3	6.35 g/año
O	0.4 kg/año
	0.92 m³/año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<b>Corteza</b> gris oscuro, agrietada, rugosa. <b>Hojas</b> alternas, pinnadas, compuestas, con 3 a 15 folíolos ovales, lanceolados a elípticos, verde oscuro con nervadura marcada, de 10 a 23 cm de longitud, folíolos de 3 a 6 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> drupácea, en racimos, esférica, roja, de 3 a 5 mm de diámetro.

7.2.52. *Spathodea campanulata*.

Bignoniaceae

Perfil	
	10 - 25 m
	5 - 8 m
	Perennifolio
	Ovadas
	Esférica
	Medio
	África
	Verano
COVs	0 g/año
NO2	3.13 g/año
SO2	1.07 g/año
PM 2.5	0.37 g/año
PM 10	4.07 g/año
CO	1.07 g/año
O3	7.07 g/año
O	0.6 kg/año
	1.3 m³/año



Hoja



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café oscura, agrietada, escamosa. <b>Hojas</b> compuestas, ovadas a lanceoladas, color verde oscuro, glabras, de 9 a 17 cm de largo. <b>Inflorescencia</b> en grupo, de 4 a 6 flores, color naranja a rojizo, de 6 a 8 cm de diámetro.</p>

7.2.53. *Tamarix gallica*.

Tamaricaceae

Perfil	
	5 -8 m
	3 - 5 m
	Caducifolio
	Escuamiforme
	Irregular
	Rápido
	Primavera
	Mediterráneo
COVs	0 g/año
NO2	19.83 g/año
SO2	6.73 g/año
PM 2.5	2.22 g/año
PM 10	25.83 g/año
CO	6.72 g/año
O3	44.85 g/año
O	3.26 kg/año
	67.53 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Inflorescencia

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> café cenizo, agrietada, con escamas largas. <b>Hojas</b> escuamiformes, imbricadas, de agudas a acuminadas, color verde, glauco, de 0.5 a 1.3 mm. <b>Infrutescencia</b> en cápsula con 3 valvas, color amarillo blanquecino, plumosas, de 3 a 4 mm de largo. <b>Inflorescencia</b> en racimos en forma de panículas terminales, color rosa, de 5 a 10 cm de largo.</p>

7.2.54. *Thevetia peruviana*.

Apocynaceae

Perfil	
	5 - 8 m
	4 - 6 m
	Perennifolio
	Lanceolada
	Extendida
	Medio
	Verano
	México
COVs	-
NO2	-
SO2	-
PM 2.5	-
PM 10	-
CO	-
O3	-
O	-
	-



Hoja



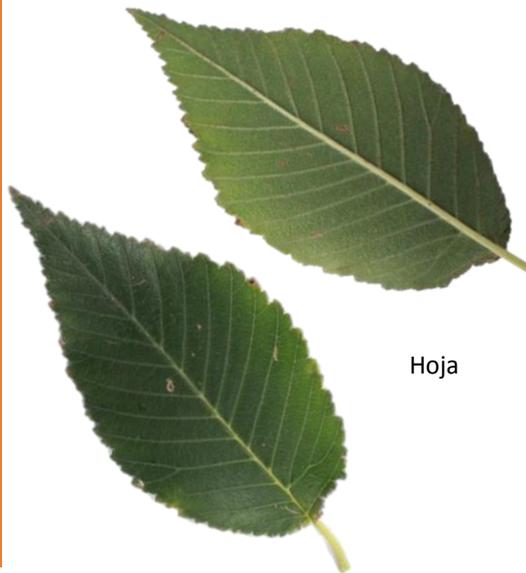
Inflorescencia y fruto

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, simi lisa con ligeras protuberancias longitudinales. <b>Hojas</b> lineales, ápice agudo, verde lustroso de 4 a 16 cm de largo y de 0.2 a 1 cm de ancho. <b>Infrutescencia</b> globosa, triangular, verde claro, carnoso, liso, de 1.2 cm de largo y 3 a 4.5 cm de ancho. <b>Inflorescencia</b> agrupada en racimos, amarillas a narnajas, de 5 cm de largo.</p>

7.2.55. *Ulmus parvifolia*.

Ulmaceae

Perfil	
	10 - 15 m
	5 - 8 m
	Caducifolio
	Elíptica
	Irregular
	Rápido
	Primavera
	Asia
COVs	0 g/año
NO2	31.35 g/año
SO2	10.60 g/año
PM 2.5	3.50 g/año
PM 10	40.80 g/año
CO	10.60 g/año
O3	70.85 g/año
O	8.3 kg/año
	10.31 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Semilla

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> color café oscuro, fisurada, rugosa. <b>Hojas</b> simples, alternas, elípticas a ovadas, ápice agudo, margen aserrado, color verde oscuro, nervadura marcada, subcoriácea, de 5 a 8 cm de largo. <b>Infrutescencia</b> en forma se sámara, aplanada, ovada o elíptica, café oscuro, glabra, de 0.5 a 0.8 mm de diámetro.</p>

7.2.56. *Washingtonia robusta*.

Areaceae

Perfil	
	9 - 15 m
	1 - 3 m
	Perennifolia
	Palmatisectas
	Parasol
	Medio
	Primavera
	México
COVs	20 g/año
NO <sub>2</sub>	0.43 g/año
SO <sub>2</sub>	0.13 g/año
PM 2.5	0.03 g/año
PM 10	0.56 g/año
CO	0.13 g/año
O <sub>3</sub>	0.94 g/año
O	1.1 kg/año
	6.29 m <sup>3</sup> /año



Hoja



Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> marrón, cubierta de hojas viejas cubierta esponjosa y fibrosa. <b>Hojas</b> palmatiséctas, color verde oscuro, de hasta 1.5 m de ancho y 1.5 m de largo. <b>Infrutescencia e inflorescencia</b> no observamos.</p>

7.2.57. *Yucca gigantea*.

Asparagaceae

Perfil	
	5 - 10 m
	1 - 4 m
	Perennifolio
	Lineal
	Parasol
	Medio
	Primavera
	México
COVs	0 g/año
NO2	0.43 g/año
SO2	0.13 g/año
PM 2.5	0.03 g/año
PM 10	0.56 g/año
CO	0.13 g/año
O3	0.94 g/año
O	0.5 kg/año
	0.14 m <sup>3</sup> /año



Hoja

Corteza	Descripción botánica
	<p><b>Corteza</b> grisácea, agrietada, fisurada longitudinalmente. <b>Hojas</b> lineales, color verde oscuro, coriáceas, de hasta 1 m de largo. <b>Inflorescencia</b> en racimos ergidos, color blanco, de hasta 1 m en el centro de las hojas.</p>