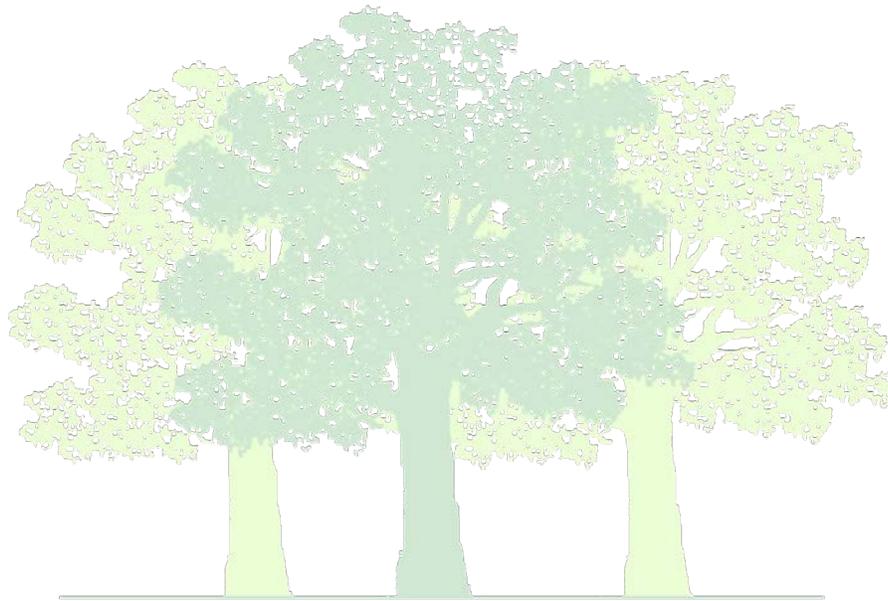


Inventario del Arbolado Urbano en Vialidades Principales del Municipio de Puebla.



Julio, 2018

Foto de la Portada
Vista de Avenida Juárez y Monumento a Benito Juárez.
Tomada el 11 de Julio, 2018.
Por Horacio de la Concha
19°3'8.268" N 98°13'10.104" W



Agrinet
tecnología forestal

Estudio Financiado por el IMPLAN según Memorandum IMPLAN/C.A./085/2018 con cargo al fondo 10050, centro Gestor 219000000,3320-1.

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO	7
OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
3. METODOLOGÍA	8
4. REPORTE GENERAL DE LA ACTIVIDAD	10
5. RESULTADOS	12
COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA.....	12
6. SERVICIOS AMBIENTALES	24
CARBONO	25
INCREMENTO EN INFILTRACIÓN.....	28
PRODUCCIÓN DE OXÍGENO	30
REMOCIÓN DE CONTAMINANTES.....	30
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)	32
7. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	34
MANTENIMIENTO Y SITUACIÓN.....	34
METAS POTENCIALES PARA ESTABLECER	36
RECOMENDACIONES	37
9. ANEXOS	42
ANEXO I CLAVES UTILIZADAS EN LA CAPTURA.....	43
ANEXO II LISTADO DE ESPECIES, FAMILIA Y CLAVE DE I-TREE	45
ANEXO III. MODELO ECO Y MEDICIONES DE CAMPO PARA I-TREE	46
ANEXO IV. REPORTE DE I-TREE SPECIES	49
10. CITAS BIBLIOGRÁFICAS	51
GLOSARIO ÍNDICE DE PALABRAS	53

Índice de Cuadros

<i>Cuadro 3-1 Vialidades censadas y sus características,</i>	<i>8</i>
<i>Cuadro 3-2 Variables dasométricas evaluadas.</i>	<i>9</i>
<i>Cuadro 4-1 Orden de inicio en la toma de datos de las vialidades.</i>	<i>10</i>
<i>Cuadro 5-1 Especies mas importantes en la población, porcentaje y acumulado.</i>	<i>12</i>
<i>Cuadro 5-2 Densidad de arboles por vialidad.</i>	<i>14</i>
<i>Cuadro 5-3 Estadísticos de los árboles censados en las vialidades.</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 6-1 Características del follaje de las principales especies.</i>	<i>25</i>
<i>Cuadro 6-2 Carbono almacenado en el arbolado por vialidad.</i>	<i>26</i>
<i>Cuadro 6-3 Datos de la capacidad de secuestro de carbono por vialidad.</i>	<i>28</i>
<i>Cuadro 6-4 Relaciones hídricas de las vialidades y su arbolado.</i>	<i>29</i>
<i>Cuadro 6-5 Producción de oxígeno por vialidad, en rojo las que se encuentran arriba del promedio</i>	<i>30</i>
<i>Cuadro 6-6 Remoción de contaminantes por especie.</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro 6-7 COV emitidos por los arbolados de las vialidades.</i>	<i>33</i>
<i>Cuadro 7-1 Labores y mantenimiento requerido por el arbolado.</i>	<i>34</i>
<i>Cuadro 7-2 Conflictos de los árboles en las vialidades.</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro 7-3 Condición general de los árboles censados.</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro 7-4 Situación fitosanitaria de los árboles en las vialidades.</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 7-5 Beneficios sociales potenciales con áreas urbanas forestadas.</i>	<i>40</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 3-1 Variables dasométricas evaluadas.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4-1 Ejemplo de opciones en el Web-Link para seleccionar de condición general del árbol y sanidad...</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5-1 Especies más importantes encontradas en el inventario.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5-2 Distribución de la población por vialidad.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5-3 Población por vialidad en orden de densidad de árboles/ha.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5-4 Distribución de géneros mas importantes en las vialidades por su densidad.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5-5 Distribución de clases diamétricas de la población.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5-6 Clases diamétricas de las 11 principales especies.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5-7 Distribución de las alturas de los árboles en las vialidades.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5-8 Valor de importancia de las principales especies.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5-9 IDR de las 15 principales especies.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5-10 Condición de las principales especies en las vialidades.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5-11 Condiciones de copa por vialidad.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6-1 Área foliar y densidad de área foliar por vialidad.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6-2 C almacenado y capacidad de secuestro y su equivalente de las especies mas importantes.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6-3 Reducción de escorrentía de las principales especies.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6-4 Remoción mensual (kg) de contaminantes por el arbolado de la vialidades.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6-5 Emisión de COV por las principales especies de las vialidades.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7-1 Familias presentes en la población por cantidad de individuos.....</i>	<i>38</i>

Autor

Fecha de Publicación: julio 30, 2018

M.Sc. Horacio de la Concha Duprat, Director General de Agrinet SA de CV, quien fue responsable de la definición del perfil del proyecto, capacitación a cuadrillas en la toma de datos, integridad de la información, proceso y elaboración del reporte.



Carr. Federal Pue-Tehuacán y Av. Unidad Deportiva 21/07/18

Abstract

EL censo realizado para realizar el inventario del arbolado urbano de vialidades principales del municipio de Puebla permite tener información detallada para la programación, manejo y principalmente la mejora del arbolado en las 11 vialidades seleccionadas. Este esfuerzo de mejora incrementará notablemente la resiliencia de la ciudad a los riesgos de un crecimiento acelerado y del cambio climático, cada vez más notorio en Puebla. El objetivo central del proyecto fue la medición de las variables dasométricas de los árboles en las 11 vialidades seleccionadas con el propósito de conocer la composición y estructura de su población para tener la información base para la planeación a corto, mediano y largo plazo de su manejo y mantenimiento en general. Los principales resultados obtenidos del programa i-Tree Eco V 6.1.22 desarrollado por el USDA-Forest Service son:

1. Población de Árboles: 6,928
2. Cobertura arbórea: 12.3%
3. Principales especies: trueno (*Ligustrum lucidum*), fresno (*Fraxinus uhdei*), y laurel de la india (*Ficus benjamina*) representan el 50% de la población.
4. Porcentaje de árboles de DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) menor a 15.2¹ cm: 12.5%
5. Remoción de contaminantes: 2.248 toneladas/año (Mex\$710,000/año)
6. Almacenamiento de Carbono: 2.043 t (Mex\$5,730,000.00)
7. Secuestro de carbono: 19.48 t/año (Mex\$54,600/año)
8. Producción de oxígeno: 51.93 t/año.
9. Incremento en Infiltración: 57.13 m³/año (Mex\$2,570/año)
10. Valor Estructural: \$ 87,700,000.00 Mxn

Se identificaron un total de 54 especies de las cuales 3 especies (6 %) representan al 50% de la población y 11 especies (20%) el 92%, es decir 43 especies solo tienen uno o pocos individuos y son el 8% únicamente. La densidad de árboles promedio para las vialidades es de 28 árboles/ha pero el rango es de 48 a 17 árboles/ha en las vialidades menos densas. Las condiciones de las copas de los árboles son en su mayoría de crítica y muriendo (86%). El promedio de tamaño de árboles DAP fue de 33 cm. y en referencia a la altura el promedio fue de 10.3 m con un área foliar promedio de 217 m²/árbol.

Con esta estructura del arbolado se tienen servicios ambientales por concepto de secuestro de carbono anual de 19.5 t/año, con 8 especies fijando el 91% del total. De los 2,248 kg/año de contaminantes 1,003 kg son de ozono, 523 de SO₂, 488 de NO₂, 215 de CO y 18 de PM_{2.5}. Estos niveles se deben a la mala condición de los canopes y el grado de madurez o senescencia de los árboles en varias vialidades. El reporte presenta la información por especie y vialidad para analizarla a detalle y de aquí se desprende que se requiere un programa de rejuvenecimiento de árboles con carácter urgente con individuos de talla, especie y en calidad óptima para condiciones urbanas dando preferencia a otras especies para aumentar la biodiversidad y reducir riesgos de ataques que mermen fuertemente la población. Es claro que hay que realizar mantenimiento de poda, mejora de sitio y nutrición en los árboles para lograr tener el máximo beneficio con el arbolado existente. Los problemas fitosanitarios no son graves pero se tienen que atender para evitar la proliferación de las plantas parásitas que ya son problema muy grave en varias ciudades del país.

¹ Equivale a 6" y es la medida que define i-Tree para árboles chicos de poco servicio ambiental.



Av. 31 Ote. Entre Av. 2. Sur y 16 de Sept. 21/07/18.

1. Introducción

La elaboración de inventarios de arbolados es muy común en el sector forestal, debido a la información que genera con relación a la toma de decisiones de mantenimiento, manejo y expectativas de producción entre otras. Los arbolados urbanos no son excepción en cuanto a la utilidad que tiene un inventario. Un problema común es que las autoridades municipales difícilmente tienen recursos económicos o personal capacitado para realizarlo debido a que es un trabajo técnico con normas y metodologías muy específicas. En este sentido el software *i-Tree* desarrollado por el USDA-FS y un grupo de consultores, como Davey y la ISA, entre otros; facilita y guía el trabajo de campo para la elaboración de un inventario urbano. Adicionalmente el *i-Tree* tiene la facultad de integrar la información de contaminación de las ciudades para estimar el servicio ECOSISTEMICO y AMBIENTAL del arbolado en lo que se refiere a fijación de $PM_{2.5}$, CO, NO_2 y SO_2 y O_3 . Lo anterior permite calcular un valor económico o monetario de los beneficios que proporcionan los árboles, lo que se traduce en justificación en la inversión de su cuidado y manejo así como el incrementar la plantación de árboles y sobretodo de mayor talla y calidad que lo que se ha venido haciendo. Los inventarios proveen la línea base para evaluar el estado actual del arbolado y poder a partir de este determinar líneas de acción para su mejora. Específicamente, el *i-Tree Eco V 6.01.22*, que es la herramienta de la Suite de programas en los que consiste el *i-Tree* que se utilizó debido a las siguientes razones:

En primer lugar, es una guía en la elaboración de los inventarios ya que nos permite manejar gran cantidad de información de manera segura, sencilla y ordenada.

En segundo lugar, contiene las ecuaciones que permiten traducir la estructura del arbolado en la capacidad de fijación de contaminantes y de incremento en la infiltración.

En tercer lugar, permite evaluar diferentes escenarios de desarrollo de poblaciones en condiciones locales específicas bajo diferentes supuestos de deforestación y reforestación para determinar el mejor curso de acción a seguir.

Con estas funciones es posible determinar todos los beneficios, ecológicos y económicos de los árboles al calcular la absorción de contaminantes y gases de efecto invernadero así como al incremento de la infiltración de agua y consecuente reducción de escurrimientos y por lo tanto de drenaje. Y como lo mencionara el físico británico William Thomson Kelvin (Lord Kelvin 1824-1907) "Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora se degrada siempre."

2. Objetivo

Realizar un levantamiento del arbolado de las principales vialidades de la ciudad de Puebla, para conocer su composición y estructura, y que sirva de información base para la planeación a corto, mediano y largo plazo de su manejo, solución a problemas actuales y planificación de su mantenimiento y programas de rejuvenecimiento y reforestación en general.

Objetivos Particulares

- 🌳 Conocer la diversidad de especies arbóreas con las que cuentan las vialidades.
- 🌳 Conocer las condiciones fitosanitarias actuales del arbolado en las vialidades.
- 🌳 Cuantificar los beneficios ambientales y económicos del arbolado.
- 🌳 Conformar una línea base del arbolado en vialidades.
- 🌳 Conformar una metodología base para el levantamiento de arbolado.
- 🌳 Determinar el servicio ambiental que proveen los árboles en cuanto a fijación de CO₂, SO₂, NO₂, PM_{2.5}, ozono y monóxido de carbono que son los principales contaminantes emitidos por el parque vehicular de la ciudad

3. Metodología

El trabajo se llevo a cabo en los 63.1 km totales de longitud de las principales vialidades de la ciudad, de acuerdo a la información proporcionada por el Instituto Municipal de Planeación IMPLAN. Se midieron los árboles en los camellones y en las banquetas a los costados de las vialidades. El sistema de medición fue de un censo completo, es decir se identificó cada vialidad como un estrato dentro del programa i-Tree, y se tomaron los datos de todos los árboles mayores a 10 cm de DAP, ya que árboles de menor diámetro no contribuyen al servicio ambiental y están en riesgo de no sobrevivir. Las 11 vialidades medidas con su longitud y áreas se muestran en el cuadro 3-1:

Cuadro 3-1 Vialidades censadas y sus características,

Description	Área (ha)	Long km	Ancho Prom (m)
4 Poniente	4.19	1.2	34.92
Av. Juarez	9.35	2.2	42.50
Av. 15 de Mayo	14.19	4.5	31.53
Prolongacion Reforma	15.17	5.9	25.71
31 Pte-Ote	16.91	5.1	33.16
Blvd Norte	20.59	4.4	46.80
Carr. Fed. a Tehuacan	24.54	4.3	57.07
Diag. Defensores de la Rep.	26.88	6.65	40.42
Blvd Valsequillo	27.27	6.85	39.81
Blvd Heroes 5 Mayo	32.82	5.8	56.59
11 Norte-Sur	57.38	16.2	35.42
TOTALES Y PROMEDIO	249.29	63.1	40.36

La superficie total estimada es de aproximadamente 249 hectáreas de los 63.1 km de vialidades que muestran un promedio de ancho de 40 m. Para el trabajo de medición de datos dasométricos las cuadrillas contaron con los siguientes equipos:

- 🌳 Clinómetro Haglof EC II D, para la medición de altura del árbol electrónicamente.
- 🌳 GPS e-Trex 10 de Garmin, para la georefenciación del árbol.
- 🌳 Cinta Diamétrica en centímetros para medir el diámetro del árbol directamente sin cálculos.

Las cuadrillas de toma de datos estuvieron formadas por las mismas personas que participaron en otros inventarios de ciudades en México que ya contaban con experiencia en la toma de datos, conocimiento de las especies y procedimiento de captura. Sin embargo, se dio una capacitación para el presente trabajo donde se re-enfizaron los temas de: manejo de los equipos, organización y metodología para el levantamiento del arbolado en las vialidades y descripción de las variables a medir para cada árbol.

La figura 3-1 resume los parámetros evaluados y en el anexo se encuentra la descripción de los significados y niveles que aparecieron en el móvil o tablet para la toma de datos. En la memoria de cálculo se encuentra el reporte de Metadatos del Proyecto donde se puede ver tanto la información que se incluyó (base de datos de contaminantes del 2015² y los datos climatológicos de la estación del Aeropuerto Internacional de Puebla) así como los reportes disponibles.

La toma de datos se realizó con cuadrillas de 3 personas. Una persona fue la que capturó la información mientras las otras realizaron la toma de datos de DAP, altura y en conjunto estimaron la condición de copa, de esta manera se consensó esta variable debido a su importancia. Se incluyó dentro de los integrantes de cada cuadrilla a un biólogo con capacidad de identificación de especies y con el conocimiento básico para determinar situaciones particulares de características del árbol, incluyendo e identificando un posible daños y enfermedades. La metodología es muy clara y en el cuadro 3-2 se listan las variables a medir, y su explicación se encuentra en el manual de la herramienta en el sitio web de i-Tree. En el anexo 1 se encuentran directamente del i-Tree los cuadros de las variables medidas y la hoja que explica las categorías de los campos personalizados utilizados.

Figura 3-1 Variables dasométricas evaluadas.



Cuadro 3-2 Variables dasométricas evaluadas.

1	ESPECIE	Id.	Nombre científico o clave del i-Tree
2	Condición de Copa	%	CONDICIÓN DE LA COPA, ver el manual.
3	Altura TOTAL	m	En metros del árbol hasta su parte más alta.
4	Altura de COPA	m	En metros del follaje vivo del árbol.
5	Altura BASE DE COPA	m	Del piso a la hoja más baja de la copa.
6	% de COPA Faltante	%	Porcentaje de la copa que no se encuentre.
7	Exposición a la luz	entero	1 al 5 ver manual para las opciones
8	% impermeable	%	Área cubierta por cualquier elemento impermeable al agua.
9	DAP 1 hasta 6	cm	Diámetro medido con cinta métrica.
10	Altura de DAP	m	Altura a la que se midió el diámetro
11	Campos personalizados		Mantenimiento, tareas, condición y estado fitosanitario, en el anexo 1 se incluye la explicación de todas las categorías en cada campo.

² Consistente en datos precargados en el programa de una estación seleccionada durante la adaptación al uso de la herramienta para México y no es posible modificarla.

4. Reporte general de la actividad

Las cuadrillas incluyeron técnicos locales para la toma de datos por lo que fue necesaria su capacitación en los conceptos, metodologías y reglas de captura. El curso de capacitación tuvo una duración de 2 días de 9 a 15 hr. (12 hr. en total) y se impartió los días 5 y 6 Julio en las instalaciones del IMPLAN en Puebla. Asistieron las 7 personas contratadas para el trabajo durante los dos días y el curso se compuso por 3 componentes principales:

- 🌳 Comprensión conceptual de la importancia de la evaluación del servicio ambiental de los árboles.
- 🌳 Descripción del i-Tree como una herramienta para la evaluación de arbolados urbanos.
- 🌳 Práctica de campo en el uso de clinómetro, cinta diamétrica, evaluación de copa de árboles y uso del Web-Link de captura en celulares.

La secuencia de levantamiento de la información básicamente fue de iniciar con vialidades mas cortas para ir desarrollando práctica entre las brigadas y al mismo tiempo al terminar una vialidad poder procesarla para detectar cualquier problema de captura por lo que las fechas de inicio y el orden en cada vialidad fueron:

Cuadro 4-1 Orden de inicio en la toma de datos de las vialidades.

Vialidad	Fecha de inicio
4 Poniente	10/07/18
Av. Juárez	10/07/18
Prolongación Reforma	11/07/18
Diag. Defensores de la Rep.	12/07/18
Carr. Fed. a Tehuacán	13/07/18
Blvd Héroes 5 Mayo	15/07/18
Blvd Norte	16/07/18
Blvd Valsequillo	17/07/18
Av. 15 de Mayo	19/07/18
31 Pte-Ote	20/07/18
11 Norte-Sur	23/07/18

Para evitar algún sesgo en la de toma de datos, todas las cuadrillas participaron en la toma de datos de todas las vialidades. De esta manera, al participar varios grupos por vialidad, se homogenizó la toma de datos lo cual reduce la probabilidad de imparcialidad por algún equipo en las variables tomadas. La toma de datos se realizó en todas las vialidades por todas las cuadrillas y se realizaron revisiones de calidad intercambiando cuadrillas en zonas de las vialidades para validar la información.

Se procuró que durante la toma de datos se complementaran todos los campos establecidos en el formulario del web link, únicamente cuando un árbol estaba en condiciones que no se pudiera categorizar en la lista de

categorías, este dato se dejó vacío. La lógica establecida para dejar este concepto vacío es, que significaba una categoría superior a la máxima, es decir, todos los conceptos o categorías se definieron de Menor, más malo o poco (valor 1) hacia Mayor, mejor, o alto valor (valor 5) y en caso de no contestarse o seleccionarse – No especificado—se debe a que el árbol tiene un valor 6 (figura 4-1).

Figura 4-1 Ejemplo de opciones en el Web-Link para seleccionar de condición general del árbol y sanidad.



De los 6,928 árboles más de 5,000 fueron evaluados al 100% con los criterios antes descritos lo que permite desarrollar programas de manejo, mantenimiento y cuidado de los árboles en las vialidades.

5. Resultados

Los resultados se presentan en dos partes, la primera se refiere a la estructura del arbolado que explica y define el tamaño, la situación, las especies, y su ubicación. La segunda se refiere a los servicios ambientales que nos ofrecen los árboles. El programa i-Tree tiene la capacidad de generar reportes de la base de datos que procesa y genera con los datos dasométricos de los árboles. Algunos de estos reportes están incluidos en este trabajo como memoria de cálculo y se presentan para su análisis particular por parte de la dependencia. A continuación, se presentan algunos reportes gráficos que explican y describen de manera resumida la estructura del arbolado de las vialidades.

Composición y Estructura

Se encontraron 54 especies de árboles en los 6,928 individuos censados, de los cuales únicamente 7 individuos (0.1%) no se encontraban registradas en el i-Tree por lo que se caracterizaron por la categoría de clasificación botánica de especies de tercer nivel que es la CLASE³ (latifoliadas maderable-Maclass o Magnolopsida). En el anexo 2 se listan las especies encontradas, su clave del programa, su nombre común de la región y aquellas que no están en la base de datos del programa y que se clasificaron como latifoliadas clase Magnoliopsida, asignándole la clave Maclass.

Basado en la información que se presenta en la figura 5-1 y el cuadro 5-1 se concluye que:

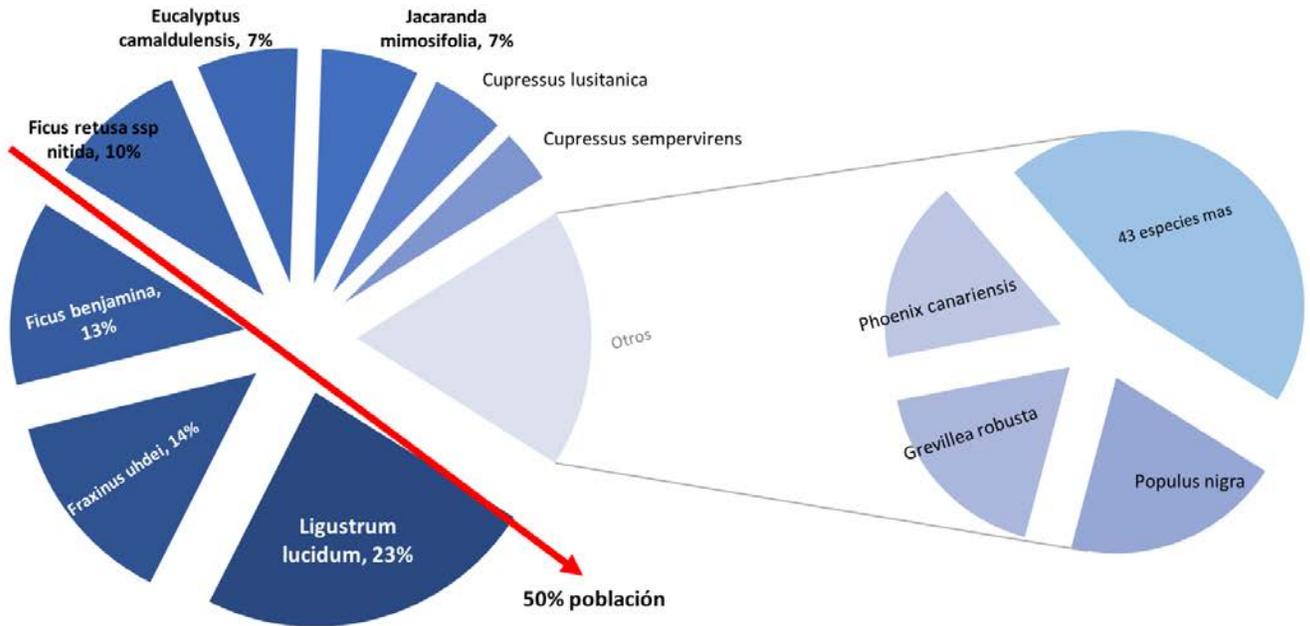
-  3 especies conforman el 50% de la población.
-  8 especies conforman el 80% de la población.
-  11 especies conforman el 92% de la población.

Cuadro 5-1 Especies mas importantes en la población, porcentaje y acumulado.

No.	Especie	Árboles	%	Acum.
1	Ligustrum lucidum	1,629	24%	24%
2	Fraxinus uhdei	950	14%	37%
3	Ficus benjamina	883	13%	50%
4	Ficus retusa ssp nitida	670	10%	60%
5	Eucalyptus camaldulensis	481	7%	67%
6	Jacaranda mimosifolia	467	7%	73%
7	Cupressus lusitanica	355	5%	78%
8	Cupressus sempervirens	254	4%	82%
9	Populus nigra	250	4%	86%
10	Grevillea robusta	221	3%	89%
11	Phoenix canariensis	208	3%	92%
	43 especies mas	560	8%	100%
	Área de estudio	6,928		

³ Véase la definición de Magnolopsida

Figura 5-1 Especies más importantes encontradas en el inventario.

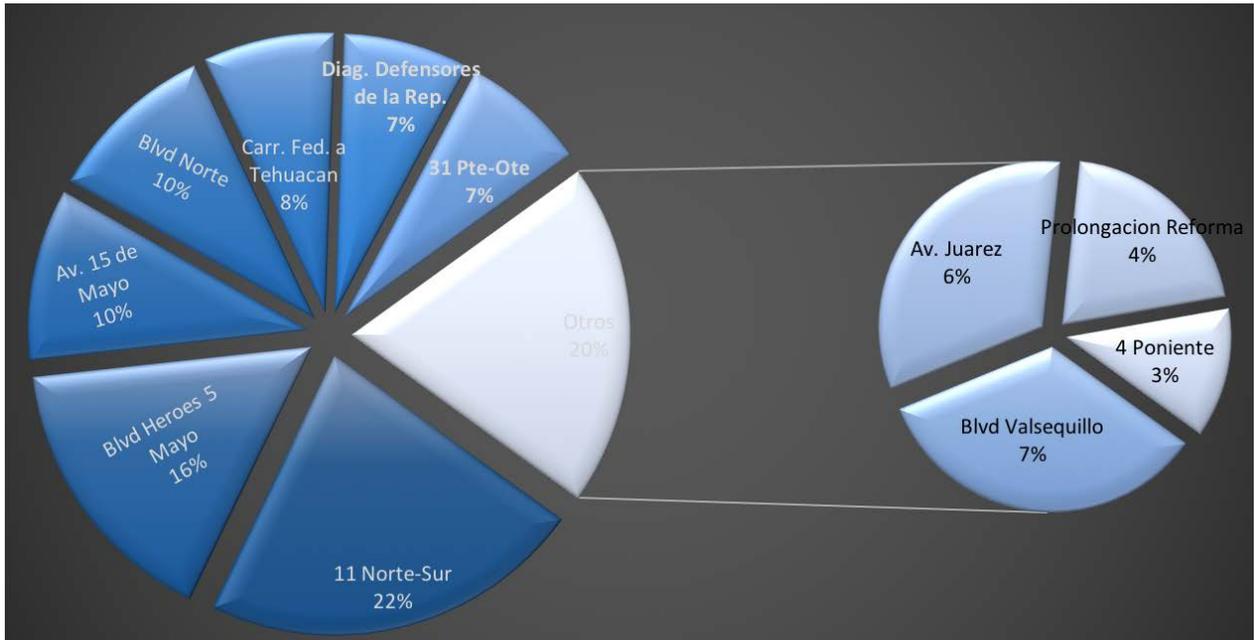


De la figura 5-1 se ve que la biodiversidad de la población es relativa ya que si bien se tienen en total 54 especies la población está concentrada en tan solo 11 especies, y de éstas, las dos especies de ficus y de cedro se consideran como si fueran una misma en términos de biodiversidad, ya que normalmente la susceptibilidad a plagas y enfermedades es igual entre individuos del mismo género. La información anterior significa que son 9 especies las que representan al 92% población. Este factor es importante en las recomendaciones y sugerencias para la mejora del arbolado ya que la baja biodiversidad constituye un grado de riesgo alto por una eventual catástrofe en alguna especie ya que esto afectaría considerablemente a toda la población. Un caso ejemplo de lo anterior es lo que con los eucaliptos debido a *Glycaspis brimblecombei* o psilido del eucalipto que primero daña el follaje y después le provoca un manchado oscuro del mismo.

Cantidades y densidad de árboles

La densidad de árboles por unidad de área, en este caso hectárea, es un parámetro muy práctico ya que permite realizar comparaciones sobre una misma base y nos permite agrupar zonas que se pueden manejar de manera similar. Por ejemplo si nos basáramos en la cantidad de individuos por vialidad (fig. 5-2) el criterio de manejo del arbolado para plantaciones por número de individuos indicaría que en la 4 poniente y en Av. Juárez es urgente aumentar la población, sin embargo observando con detenimiento la figura 5-3 vemos que éstas dos vialidades son las que más densamente pobladas se encuentran, mientras que la vialidad con más población tiene una densidad de prácticamente la mitad que las más densas. Esta situación tiene implicaciones importantes en la estrategia de mejora ya que en casos de baja densidad de población la plantación se convierte en crítica mientras que en las más densas el mantenimiento preventivo y sustitución de árboles viejos se vuelve una decisión más importante.

Figura 5-2 Distribución de la población por vialidad.

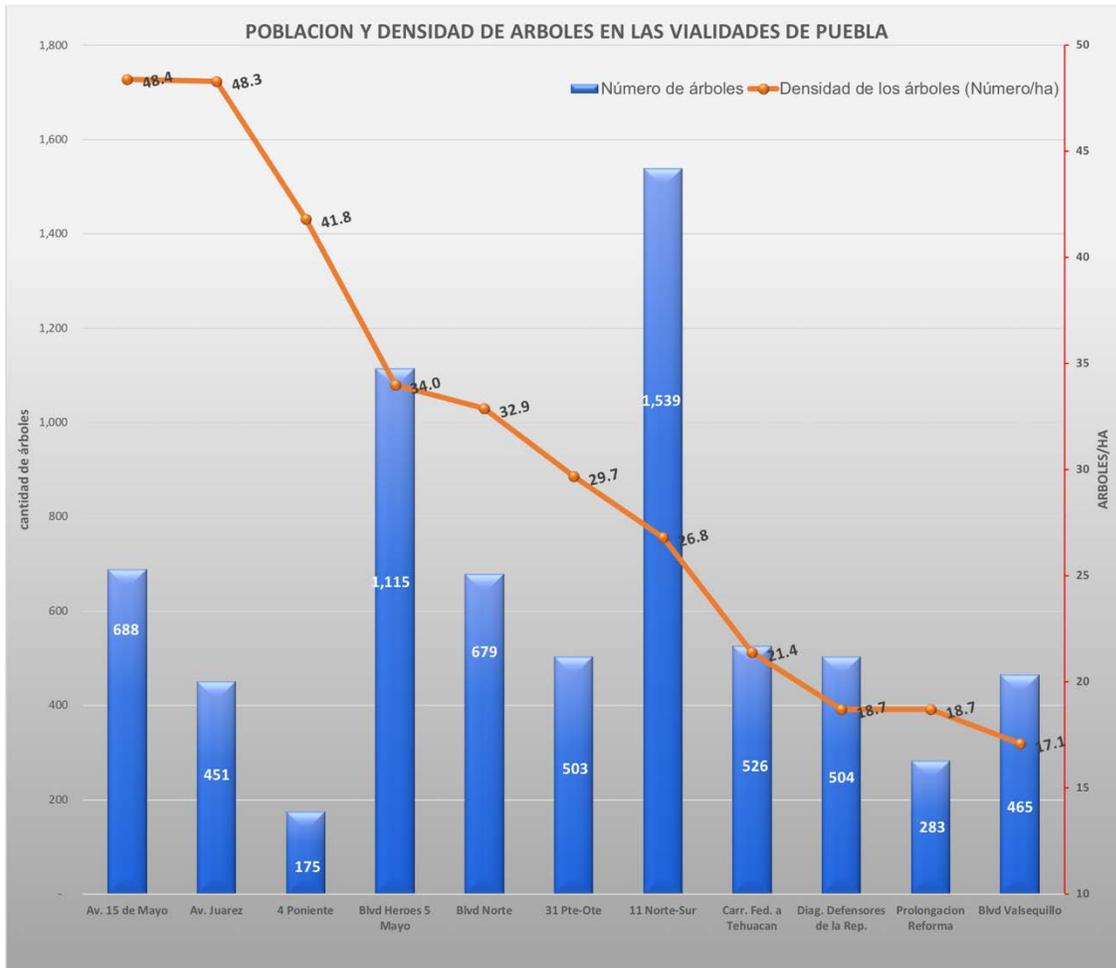


Por lo anterior, la discusión y comparación entre vialidades se hará entre tres grupos, las más densas que serían la Av. 15 de Mayo, Juárez y 4 Poniente, con Vialidades con Densidad Alta (VDA) con más de 40 árboles por hectárea. Seguido de los Boulevares Héroes de 5 de mayo, Norte y las calles 31 Pte-Ote y 11 Norte-Sur que son Vialidades de Densidades Medias (VDM) de 25 a 40 árboles por hectárea y finalmente las demás Vialidades con Densidad Baja (VDB) menores a 25 árboles/ha (Figura 5-3).

Cuadro 5-2 Densidad de arboles por vialidad.

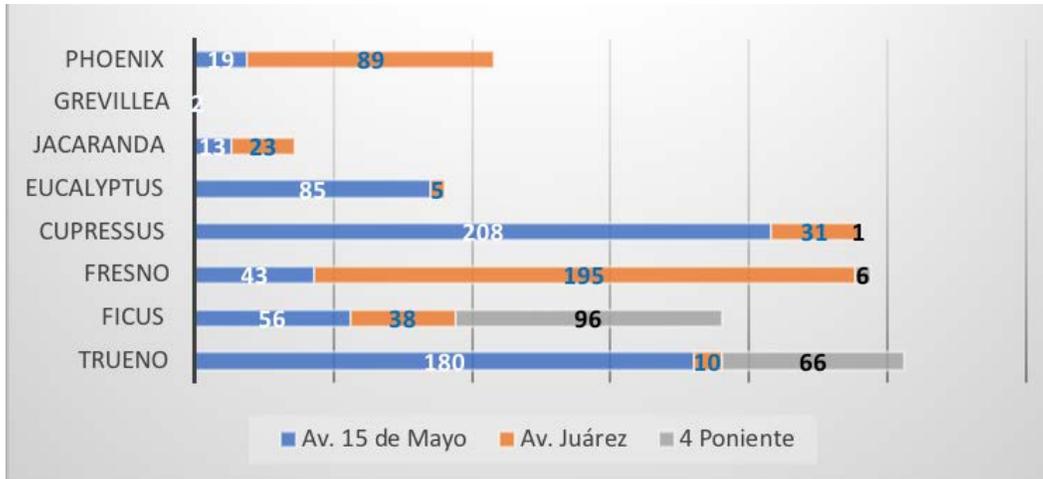
Description	Área (ha)	# de Árboles	Densidad de los árboles (Número/ha)
Av. 15 de Mayo	14.19	688	48.40
Av. Juárez	9.35	451	48.30
4 Poniente	4.19	175	41.80
Blvd Héroes 5 Mayo	32.82	1,115	34.00
Blvd Norte	20.59	679	32.90
31 Pte-Ote	16.91	503	29.70
11 Norte-Sur	57.38	1,539	26.80
Carr. Fed. a Tehuacán	24.54	526	21.40
Diag. Defensores de la Rep.	26.88	504	18.70
Prolongación Reforma	15.17	283	18.70
Blvd Valsequillo	27.27	465	17.10
	249.29	6,928	27.80

Figura 5-3 Población por vialidad en orden de densidad de árboles/ha.

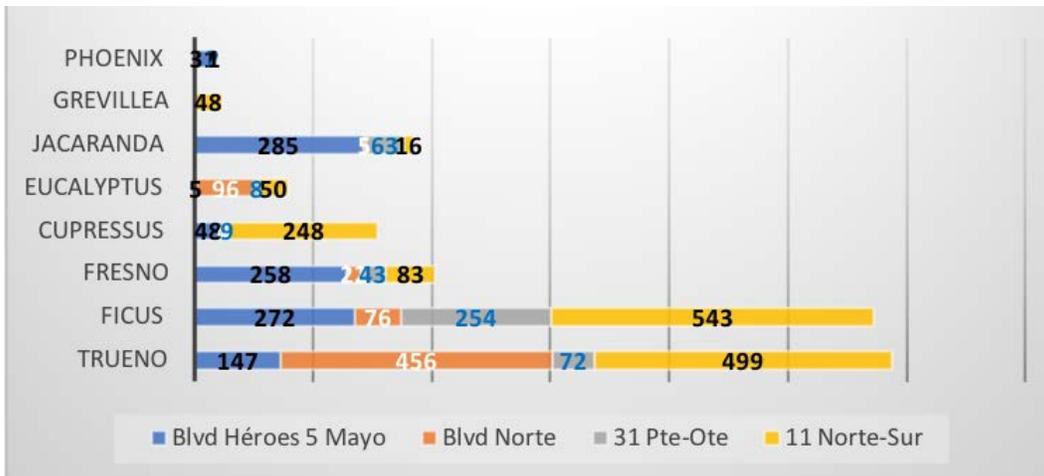


Un efecto que conviene señalar, por su impacto en la biodiversidad, en las vialidades medidas es que además de que el número de especies en general es bajo, de acuerdo a la experiencia en otros inventarios en otras ciudades donde hay 150-170 especies por inventario, hay concentración de ciertas especies en ciertas vialidades lo que hace aun más baja la diversidad. Es decir, hay vialidades donde se concentran cierto tipo de especies como se puede ver en la figura 5-4 donde utilizando la división de las vialidades según la densidad de árboles, se muestran las especies que son más preponderantes y cuales incluso no se encuentran presentes. Por ejemplo, en las vialidades con mayor número de árboles por hectárea no hay ni gravilleas ni eucaliptos. Hay también que aclarar que para facilidad de comprensión, todas las especies de ficus, eucaliptos y cedros se resumieron y se presentan como género, ya que para efectos de biodiversidad dentro de una vialidad el nivel de especie no aporta una diferencia significativa. En vialidades de densidad media los ficus y truenos dominan fuertemente la población por lo que tienen un alto riesgo de estabilidad poblacional en caso de eventos catastróficos (plaga, enfermedad o climatológico). Por otro lado, la palma Phoenix canariensis prácticamente no existe en las vialidades de densidad media (VDM) que es el estrato con más kilómetros lineales de vialidad y por lo tanto se concentra en las demás.

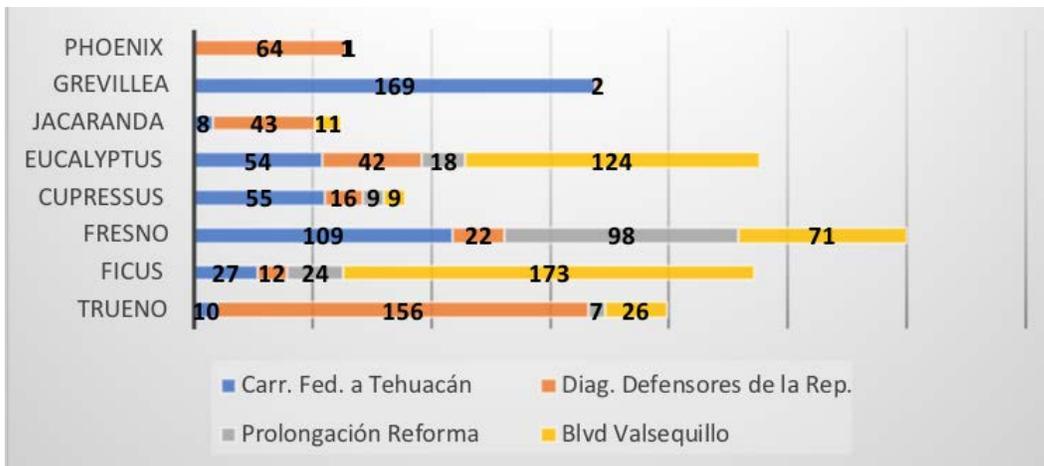
Figura 5-4 Distribución de géneros mas importantes en las vialidades por su densidad.



Principales géneros en vialidades de densidad alta (por número de arboles).



Principales géneros en vialidades de densidad media (por número de arboles).



Principales géneros en vialidades poco densas (por número de arboles).

Tamaño

El tamaño de los árboles es muy importante ya que junto con la especie es la variable que determina en las ecuaciones alométricas del programa, los beneficios ambientales y en las características morfológicas que el i-Tree calcula. Dentro de los dos posibles parámetros para indicar el tamaño de un árbol, el diámetro medido a la altura del pecho o DAP (altura 1.3 m del suelo) es el que más se utiliza.

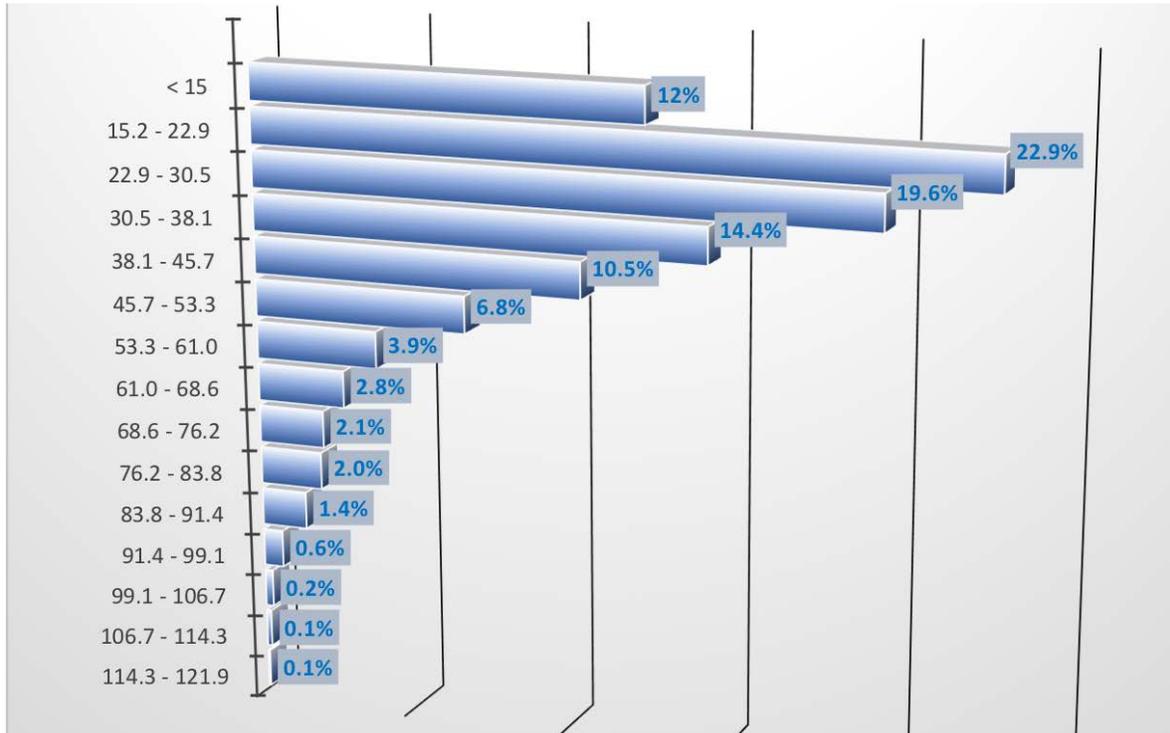
Cabe mencionar que se midieron árboles a partir de los 10 cm de circunferencia, en el caso donde había varios tallos en un árbol se medían todos, aunque fueran menores a los 10 cm para sumarlos después, estos tallos se midieron a una altura de 0.90 m del suelo. El promedio de diámetro para la población fue de 33.4 cm con una variación del 57% o 19 cm, de tal manera que estadísticamente se puede afirmar que el grueso de la población está entre 14 y 52 cm. En el cuadro 5.1 se presenta el resumen de los estadísticos de la población censada. Se puede ver que los árboles son grandes de altura y diámetro, lo que concuerda con la edad, es decir son árboles ya maduros.

Cuadro 5-3 Estadísticos de los árboles censados en las vialidades.

Estadístico	DAP (cm)	Altura (m)	Cubierta del dosel (m ²)	Condición de copa	Área foliar (m ²)	Biomasa foliar (kg)	Índice del área foliar	Área basal(m ²)
Promedio	33.4	10.3	44.3	1.7	217	20.3	5.3	0.1
Mínimo	4.2	1.0	-	-	-	-	-	-
Máximo	145.0	36.6	1,069.4	6.0	4,200	581.2	14.9	1.7
Desviación Estándar	19.0	4.9	39.0	1.0	190	23.1	2.2	0.2
%	57%	48%	88%	62%	88%	113%	43%	138%
Mediana	28.5	9.4	38.5	1.0	175	15.9	4.7	0.1

En la figura 5-5 se muestra la distribución de la población por DAP o clase diamétrica donde se aprecia que la pirámide de datos está repartida entre varias clases y que éstas cuentan con bastantes individuos. El conocimiento de esta cifra y su comportamiento es importante para la evaluación de árboles, la jerarquización de labores de mantenimiento, la toma de decisiones sobre reemplazos, o cualquier otra labor de manejo. En la figura 5-6 se muestran las clases diamétricas de las principales especies que conforman la mayoría de la población.

Figura 5-5 Distribución de clases diamétricas de la población.



Los truenos son la especie más numerosa en la población y la mayoría de los árboles se encuentran con diámetros entre los 15 a 30 cm lo cual es normal por ser típico de la especie. Los fresnos y las especies de ficus tienen sus diámetros más distribuidos entre todas las categorías y por su parte los eucaliptos y las palmas canarias e incluso la Gravellea y Jacaranda casi no presentan diámetros pequeños lo que indica que no ha existido más plantación con estas especies y por lo tanto no existen árboles pequeños y jóvenes. Los dos cedros, por ser una especie de bajo a medio crecimiento tiene su población en menos de 30 cm de diámetro. Los datos obtenidos de las poblaciones de las diferentes especies indican claramente que no hay un programa de replantación o rejuvenecimiento que mantenga una distribución de edades adecuada para prevenir los decesos naturales y por lo tanto hay que considerarlo como una necesidad urgente. Es importante establecer e iniciar el establecimiento de árboles jóvenes que eventualmente sustituyan a los que están en proceso de fenecer.

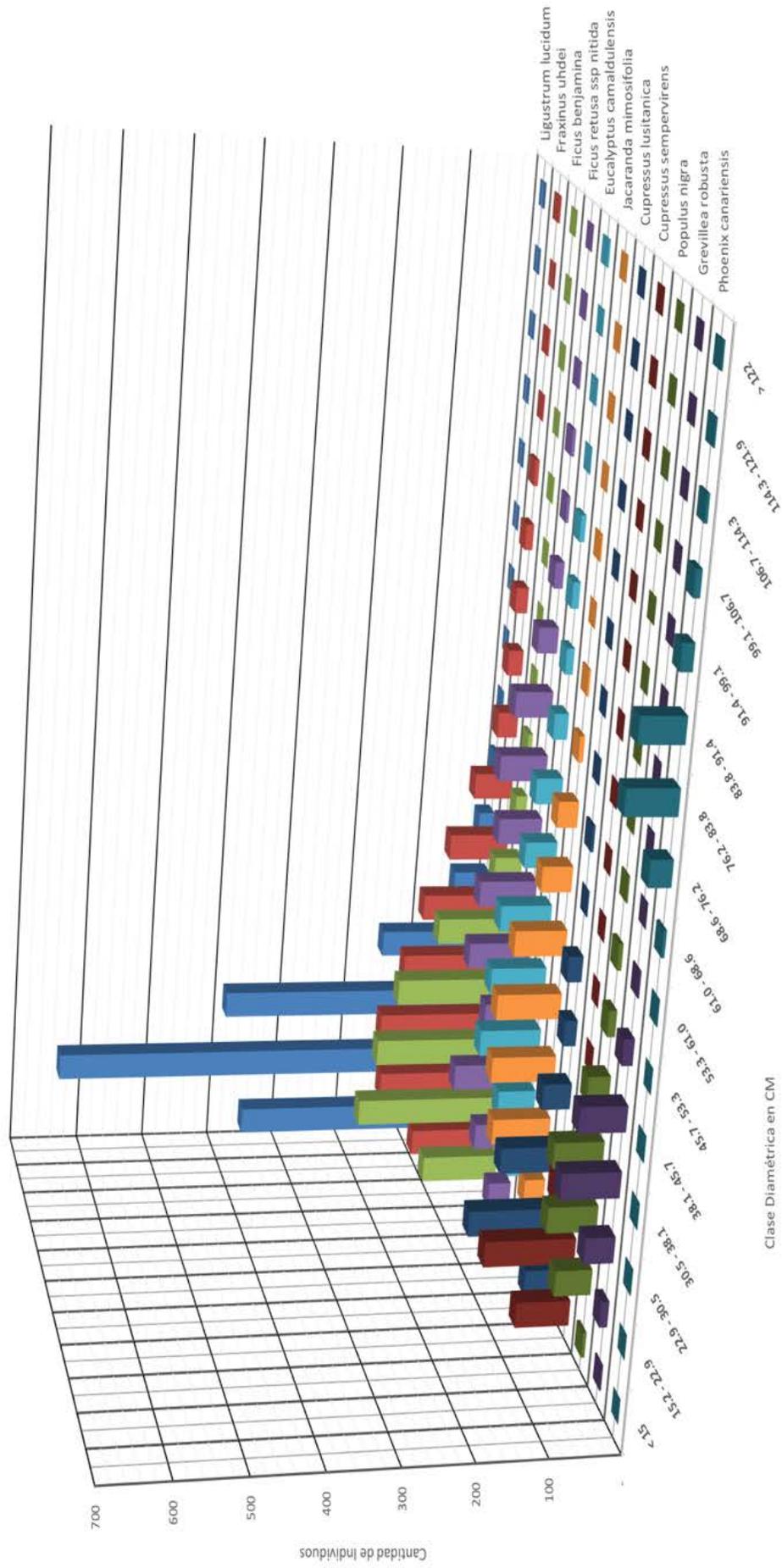
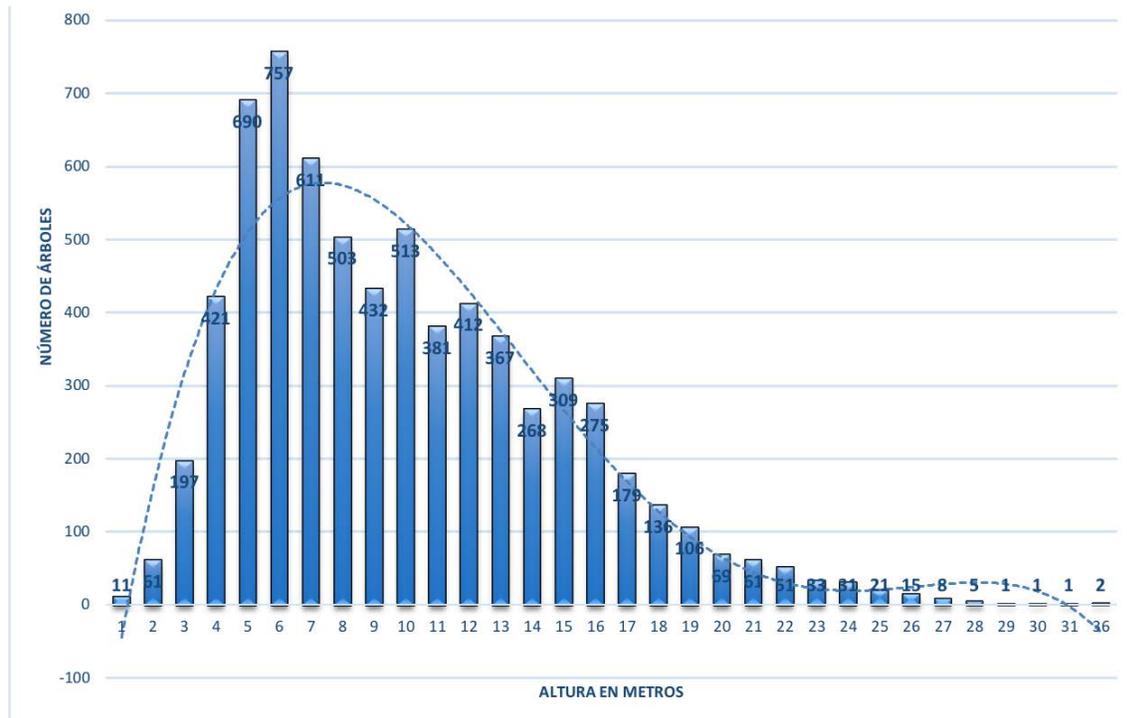


Figura 5-6 Clases diamétricas de las 11 principales especies.

En referencia a la altura, el promedio se encuentra en 10 m considerando a todas las especies y la curva de distribución al igual que la de DAP tiene una forma de campana con bastantes árboles en el extremo derecho que indica la edad avanzada en esos individuos.

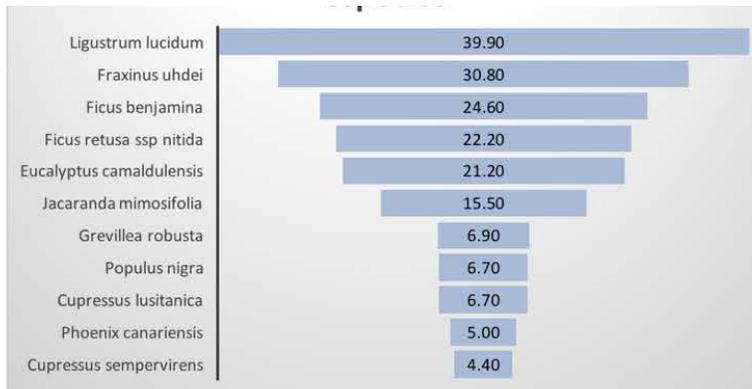
Figura 5-7 Distribución de las alturas de los árboles en las vialidades.



Indicis Biológicos

Los índices biológicos que calcula el i-Tree a partir de los parámetros dasométricos son el Valor de Importancia (VI) y el Índice de Desempeño Relativo (IDR, o Relative Performance Index o RPI) que sirven para analizar y comparar especies entre ellas. Estos índices son útiles en la selección de especies.

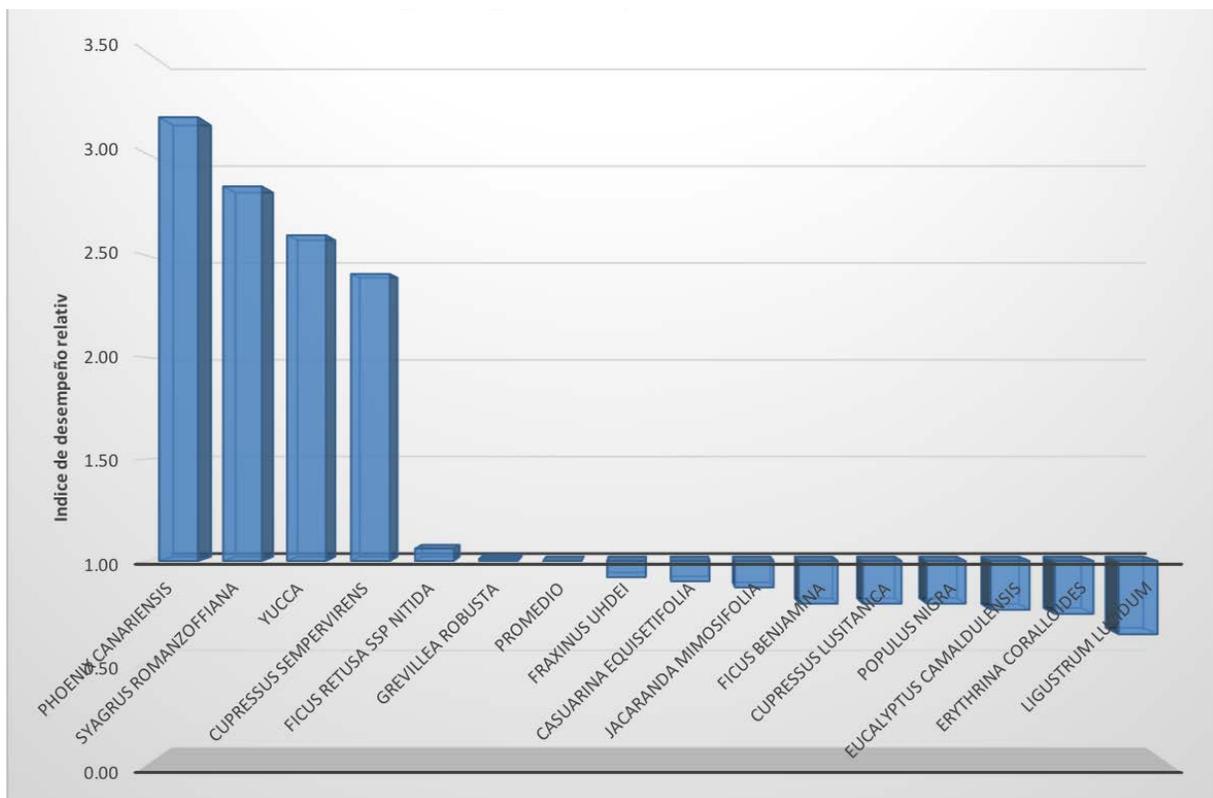
Figura 5-8 Valor de importancia de las principales especies



El Valor de Importancia se calcula simplemente sumando el % de la población de la especie al % del área foliar de la especie del total de todo el inventario, de tal manera que el follaje se convierte en un factor importante. En la figura 5-8 se puede ver que el único cambio con respecto a la lista original por población es el del álamo que sube posiciones por su tipo de follaje con respecto a los Cupressus.

El Índice de Desempeño Relativo (IDR) es un índice que compara especies bajo unas mismas condiciones y básicamente divide el % de la especie en buenas condiciones entre el promedio de toda la población. En otras palabras, si las condiciones son mejores que el promedio, el índice es mayor a uno y viceversa si son menores el índice es menor que la unidad, la lógica detrás de esto es que se comparan todas las especies entre sí y se señalan las que están por arriba de la media (Freilicher, M. 2010). Por su parte el IDR se muestra en la figura 5-9 y únicamente las especies de palmas y el cedro salieron sobre el valor de 1 por su tipo de follaje, el ficus retusa también tuvo un valor mayor a 1 debido a que los individuos tienen buen follaje. El resto de las especies por su condición de follaje no pasaron el valor de corte de uno.

Figura 5-9 IDR de las 15 principales especies.

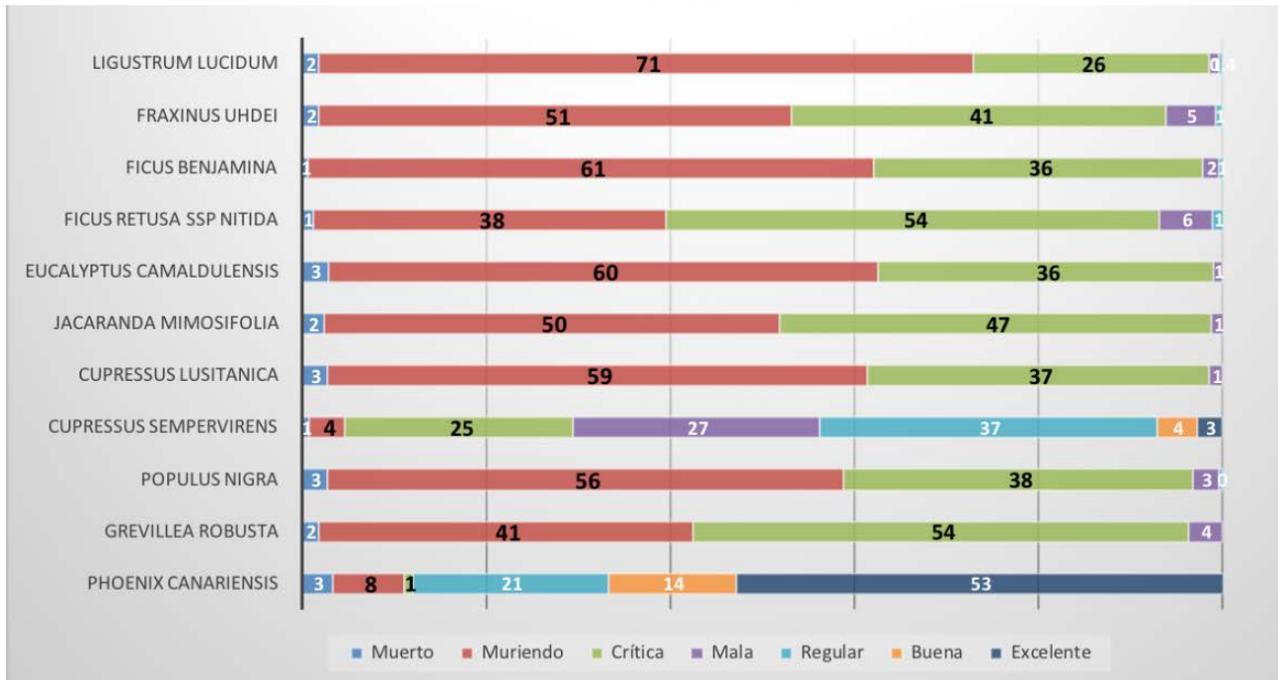


Condición de copa

La condición de copa es una de las variables que le dan mayor precisión al modelo ya que afinan los resultados de las ecuaciones que calculan los servicios ambientales de los árboles. Lo anterior se debe a que son las hojas donde se realiza la fotosíntesis que fija el CO₂ y donde se almacenan las partículas de contaminantes. Las condiciones de la copa que se evalúan siguiendo la metodología descrita en el manual de toma de datos de campo de la herramienta i-Tree. Básicamente existen 7 niveles, del 1 (copa en perfectas condiciones) al 7 (copa muerta) dejando entonces 5 categorías con diferentes rangos para calificar la copa. Estas categorías son muy claras en cuanto a niveles de follaje; de 0-25% i-Tree considera que el árbol se está *Muriendo* porque la cantidad de follaje no alcanza a satisfacer las necesidades de productos de la fotosíntesis del árbol y el árbol se considera que sobrevive con sus reservas en una situación no sostenible a mediano plazo. Un porcentaje

de copa entre 25 y 50% se considera *Crítico* porque si no mejora su follaje el árbol puede caer a una situación insostenible fácilmente. Una copa de 50 a 75% se considera *Pobre* aun ya que se requiere de mucho más follaje para tener un buen servicio ecosistémico. Finalmente, arriba de 90% se considera *Regular* y de 95% *Buen* follaje (Anexo 1). En la discusión de servicio ambiental va a ser muy importante tener lo anterior en mente por las implicaciones que la condición de copa tiene.

Figura 5-10 Condición de las principales especies en las vialidades



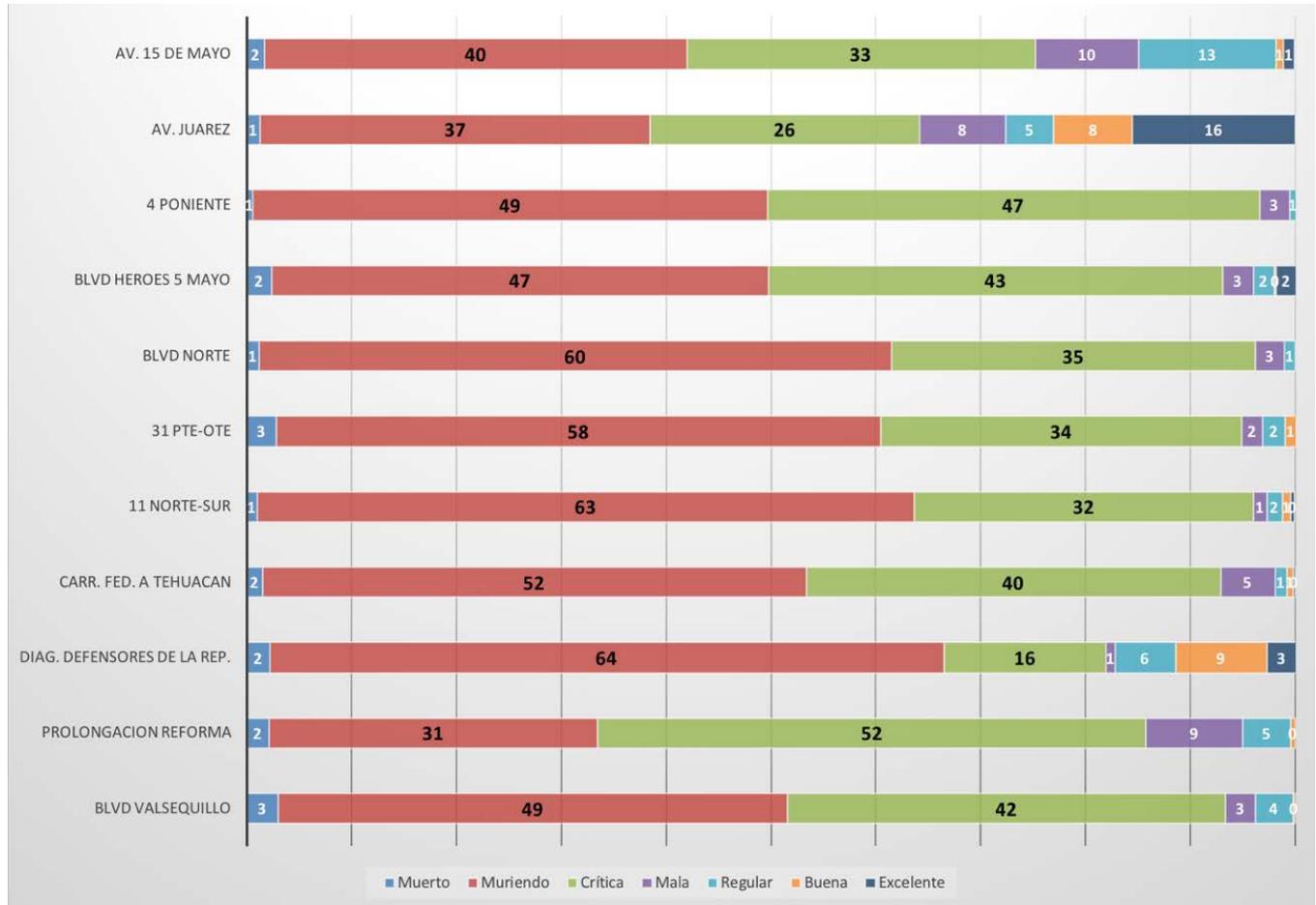
En la figura 5-10 se ve que la condición de copa de la mayoría de las especies se encuentra por debajo de 25-30% de follaje, que son copas que a mediano plazo no son sostenibles y esto es principalmente debido a malas podas, a la edad de los mismos árboles, y en algunos casos defoliaciones por nutrientes, plagas y enfermedades. Esta información se tomará en cuenta en las recomendaciones que se presentarán con respecto a planificación de labores de mantenimiento a corto, mediano y largo plazo. Las hojas también son las que frenan el golpe del agua de lluvia lo que reduce la erosión y aumenta la infiltración y es por esto que es muy importante su correcta estimación. Por ésta misma razón es que se debe de llevar a cabo un buen manejo y mantenimiento en los árboles para que desarrollen el mejor canope⁴ que sea posible.

El análisis de la condición de copas por estrato muestra el nivel de manejo o cuidado que se tiene en cada uno y es un indicador que se tiene que ir modificando hacia la excelencia con el tiempo si se pretenden mejorar las condiciones y los servicios ambientales del arbolado. El reporte *Condición de los árboles por estrato y especie* de la memoria de cálculo tiene la información detallada para cada una de las especies dentro del estrato/vialidad para poder analizar más a fondo las causas y orígenes de la calificación. La figura 5-11 muestra precisamente

⁴ Se refiere al dosel arbóreo, dosel forestal o también llamado en ocasiones canopia o canopeo (del inglés canopy y este del latín Canopus, famosa ciudad egipcia conocida por sus grandes lujos) da nombre al *hábitat* que comprende la región de las copas y regiones superiores de los árboles

para cada vialidad las condiciones de la copa. Las vialidades se ordenaron de mayor densidad a menor en orden descendente y en general las tendencias indican que las vialidades con mayor cantidad de árboles con mejores canopes son la Ave. Juárez y la Diagonal Defensores de la República, aunque esto es debido a la presencia de palmas principalmente, a pesar de que ésta última es la que tiene el mayor porcentaje de árboles con follaje en la peor condición. La Av. 15 de mayo también tiene un 23% de árboles sobre el nivel crítico, que es de los más altos. El resto de vialidades, exceptuando Prolongación Reforma, apenas llegan a un 7% de árboles con copas superiores al nivel crítico.

Figura 5-11 Condiciones de copa por vialidad.

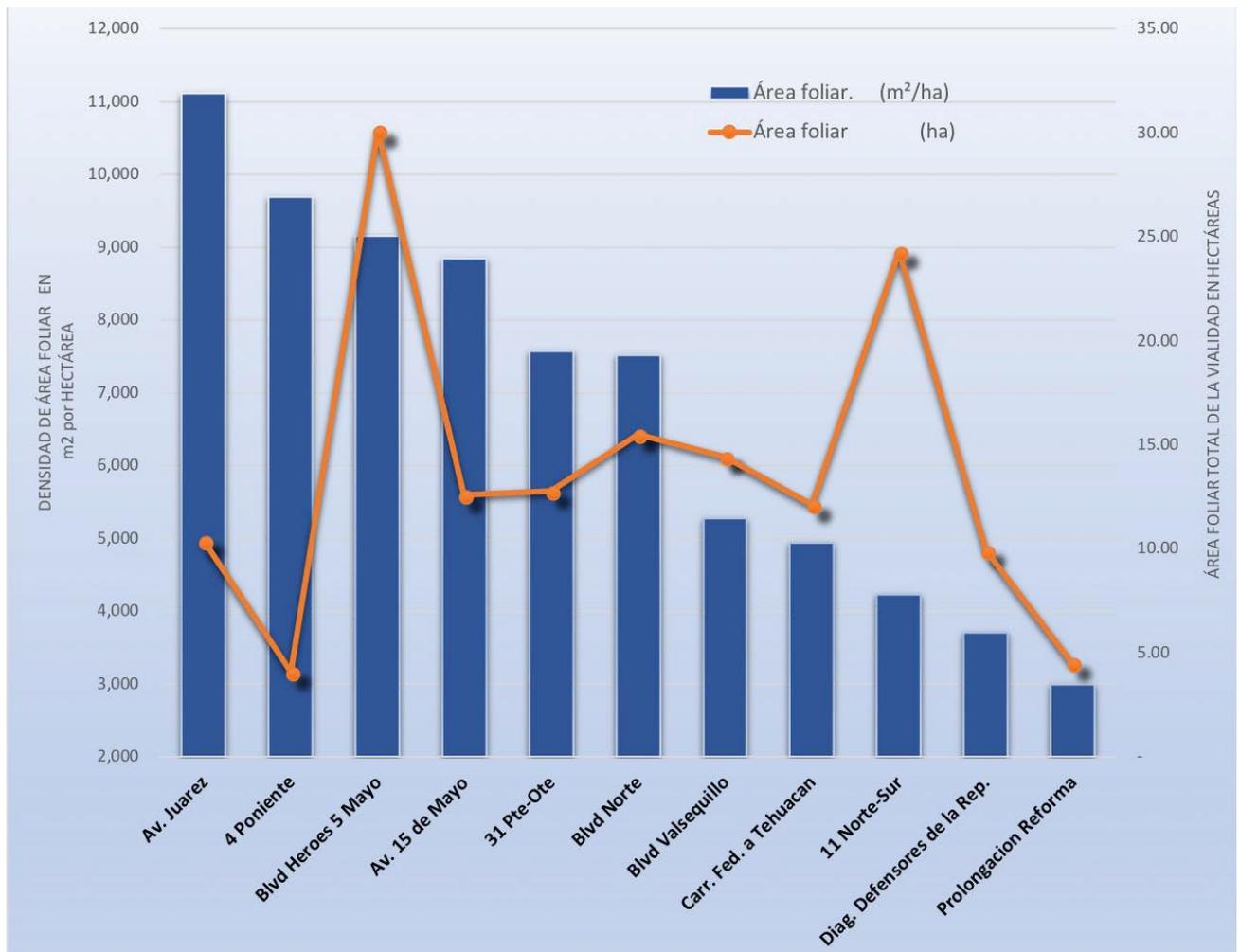


6. Servicios Ambientales

El poder evaluar y conocer el servicio ambiental que provee un arbolado es la manera más eficiente de establecer indicadores de manejo y mejora de los bosques urbanos ya que para lograr optimizar los beneficios es necesario mejorar canopes, follaje, estado sanitario y por supuesto arquitectura. Por ejemplo, el utilizar la capacidad de secuestro de carbono y establecer una cifra como meta implica tener que realizar varias actividades que mejoren el área foliar integralmente y no únicamente un aspecto como sería el porcentaje de cobertura. Es decir, que el aumento únicamente de este parámetro no implica un aumento en beneficio ambiental ya que se pueden utilizar especies que cubran rápido pero con poco volumen de hojas y no se estará incrementando proporcionalmente el beneficio de incremento en secuestro de carbono o remoción de contaminantes.

Debido a la importancia del follaje, copa y canope en el desempeño de los servicios ambientales, por la relación directa que tienen, un análisis del follaje es importante. Para las vialidades, ordenadas de mayor densidad foliar/ha a menor, la figura 6-1 muestra el área foliar en hectáreas y la densidad de área foliar.

Figura 6-1 Área foliar y densidad de área foliar por vialidad.



El área foliar bruta tiene relación con la longitud de la vialidad y por supuesto con la cantidad y calidad de los árboles por eso la línea sube y baja y aparentemente es más relevante la calidad de los árboles que su tamaño. El Blvd. Héroes de 5 Mayo es mucho más corto que la 11 Nte-Sur pero presenta mucho más área foliar bruta lo que indica que los árboles tienen mucho más follaje. La densidad de hojas por otro lado es un valor que, al estar dividido por su superficie total, permite una comparación entre vialidades. Considerando lo anterior vemos en la figura 6-1 que los árboles de la vialidad más densa, la Av. 15 de mayo tienen AF menor que incluso una vialidad de densidad media como lo es el Blvd. Héroes del 5 de Mayo.

Por el contrario, el follaje de la vialidad de menor densidad, el Blvd. Valsequillo, tiene mucho mejor AF que incluso una Avenida como la 11 Nte. -Sur. No hay que perder de vista que también el tipo de especies que tiene

la vialidad influye en el AF ya que no es lo mismo un canope o follaje de un ficus, cualquiera que sea la especie, contra un trueno, cedro o una palma. Como se puede apreciar en el siguiente cuadro (6-1), donde las especies están ordenadas de mayor AF por árbol a menor y la diferencia entre la más grande y la más chica es de 10 veces. En este caso la especie, su copa y forma de hoja juega un papel importante.

Especie	AF (ha)	Biomasa foliar (t)	AF m ² /árbol
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	21.42	29.65	44.5
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	13.25	9.92	28.4
<i>Ficus retusa ssp nitida</i>	18.84	14.11	28.1
<i>Fraxinus uhdei</i>	25.80	18.37	27.2
<i>Grevillea robusta</i>	5.64	6.86	25.5
<i>Ficus benjamina</i>	17.92	13.42	20.3
<i>Populus nigra</i>	4.68	3.37	18.7
<i>Ligustrum lucidum</i>	24.67	22.43	15.1
<i>Phoenix canariensis</i>	2.98	5.00	14.3
<i>Cupressus lusitanica</i>	2.31	3.62	6.5
<i>Cupressus sempervirens</i>	1.07	1.68	4.2

Cuadro 6-1 Características del follaje de las principales especies.

Carbono

La fijación de CO₂ tiene dos componentes; el primero se refiere a la cantidad de Carbono fijo en madera al momento de realizar el inventario y el segundo a la capacidad que tienen los árboles para secuestrar CO₂ durante un periodo de tiempo, que normalmente se contabiliza por un año. El primer valor se determina por la cantidad de madera y es directamente proporcional al tamaño del árbol y muy importante ya que está en función a la especie por la directa relación que tiene ésta sobre la densidad de la madera. Este indicador se utiliza también para calcular el valor estructural del arbolado ya que entre más madera tenga más valor tiene el arbolado.

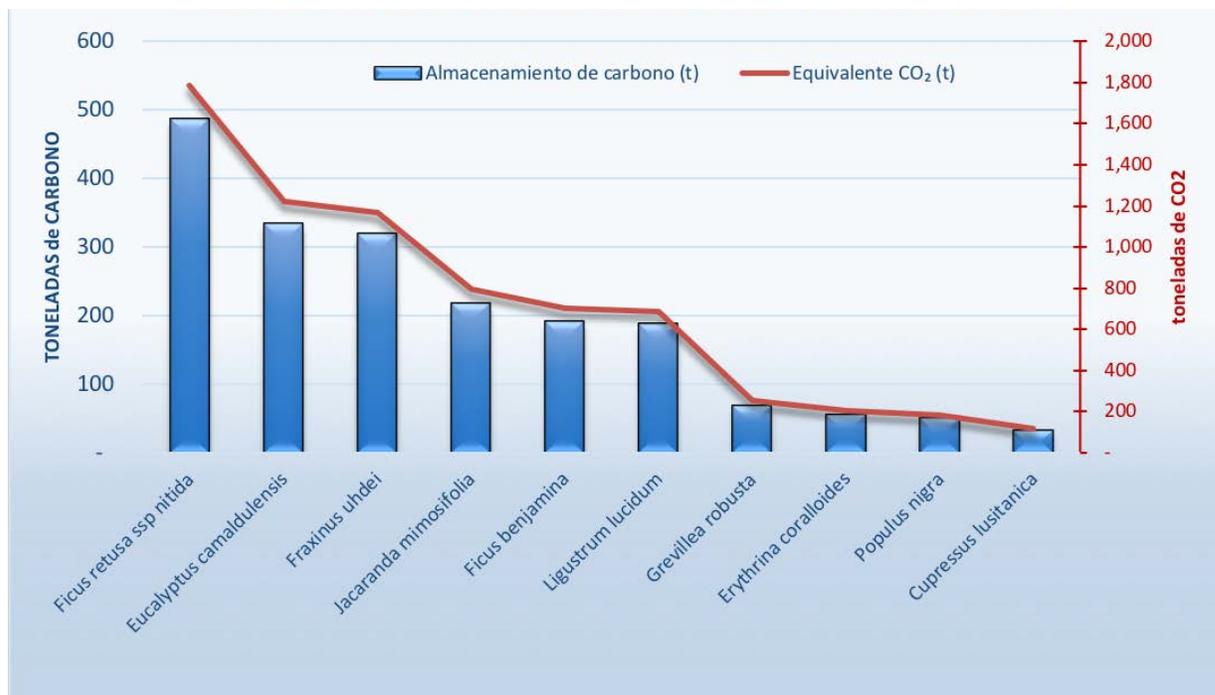
Este parámetro también está influenciado por la cantidad de árboles o población de la vialidad, como el AF, y de la misma manera al calcularlo por unidad de superficie, en este caso Kilogramos de Carbono por hectárea podemos entonces hacer comparaciones sobre una misma base entre las vialidades. El cuadro 6.2 muestra las vialidades con mayor cantidad de Carbono y no es de extrañar que sean las más densas también. Tenemos cambios en las posiciones de las vialidades lo que se deben al tamaño de los árboles que seguramente es diferente en cada vialidad siendo por ejemplo los árboles de la Av. 15 de Mayo los cuales son más chicos que las demás. En el cuadro 6-2 podemos observar que hay 6 vialidades por arriba del promedio y 5 por debajo del promedio.

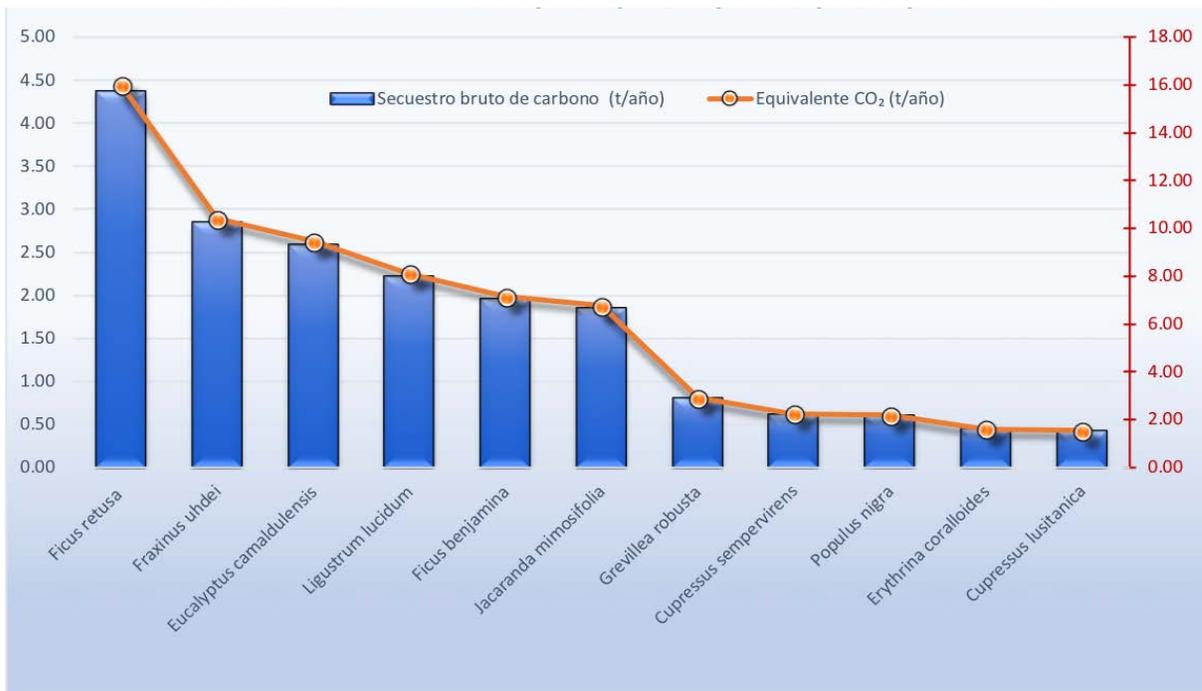
Cuadro 6-2 Carbono almacenado en el arbolado por vialidad.

Vialidad	Bruto (t)	Por Área (kg/ha)
4 Poniente	101.0	24,117
Blvd Heroes 5 Mayo	539.5	16,438
Av. Juarez	149.9	16,030
31 Pte-Ote	237.9	14,070
Av. 15 de Mayo	162.4	11,444
Blvd Norte	192.9	9,371
PROMEDIO		8,194
Blvd Valsequillo	173.2	6,351
Carr. Fed. a Tehuacan	139.8	5,697
11 Norte-Sur	223.7	3,899
Diag. Defensores de la Rep.	87.3	3,248
Prolongacion Reforma	34.9	2,303
TOTAL	2,042.5	

Es importante mencionar para evitar confusiones que cuando se habla de Carbono se habla del átomo de carbono que tiene un peso atómico de 12, mientras que cuando se habla de CO₂ se habla de una molécula que pesa 44 (por los 2 oxígenos de 16). Por lo anterior, las figuras 6-2 indican la equivalencia entre las dos formas de presentación del servicio ambiental en lo relacionado al C, tanto almacenado como secuestrado al año, para las principales especies.

Figura 6-2 C almacenado y capacidad de secuestro y su equivalente de las especies mas importantes.





Hay que recordar que estas 11 especies, solo ellas, representan el 95-96% del total del carbono del total de la población. Ambas gráficas están ordenadas de mayor a menor y es interesante ver un diferente comportamiento de especies debido a sus características propias. El trueno es el mejor ejemplo ya que a pesar de ser la especie más numerosa y por mucho por sobre todas las demás, se encuentra en la media gráfica con únicamente 200 toneladas de Carbono contra las 500 del *Ficus retusa* y 320 t de Carbono del eucalipto y fresno. Lo anterior se debe a que el trueno es una especie de porte medio a bajo y no crece tanto. De hecho, es esta característica la que lo ha hecho atractivo para uso urbano.

Por otro lado, el secuestro de Carbono está muy relacionado al área foliar de las especies en el sentido de que especies con mayor área foliar presentan mejores tasas de secuestro. Regresando al trueno tenemos que aquí sí por sus números en la población presenta la cuarta mayor tasa de secuestro.

En cuanto a la capacidad de secuestro de carbono por unidad de área o Densidad de secuestro por vialidad que se presentan en el cuadro 6-3, tenemos el mismo comportamiento que se ha venido observando. Es decir vialidades con más arbolado, ya sea por su densidad o área foliar, tienen tasas de secuestro/ha más altas al promedio de todas las vialidades, que en este caso es un promedio pesado de 78.12 kg/año/ha. Es interesante que el rango de valores de la densidad de secuestro de C/ha sea hasta de 6.9 veces lo cual indica que las vialidades de escaso beneficio ambiental tienen potencial de aumentarlo considerablemente basándonos en los valores que alcanzan vialidades con mayor densidad, sin que esto signifique que las vialidades con mayor beneficio ambiental estén al 100% de su potencial.

Cuadro 6-3 Datos de la capacidad de secuestro de carbono por vialidad.

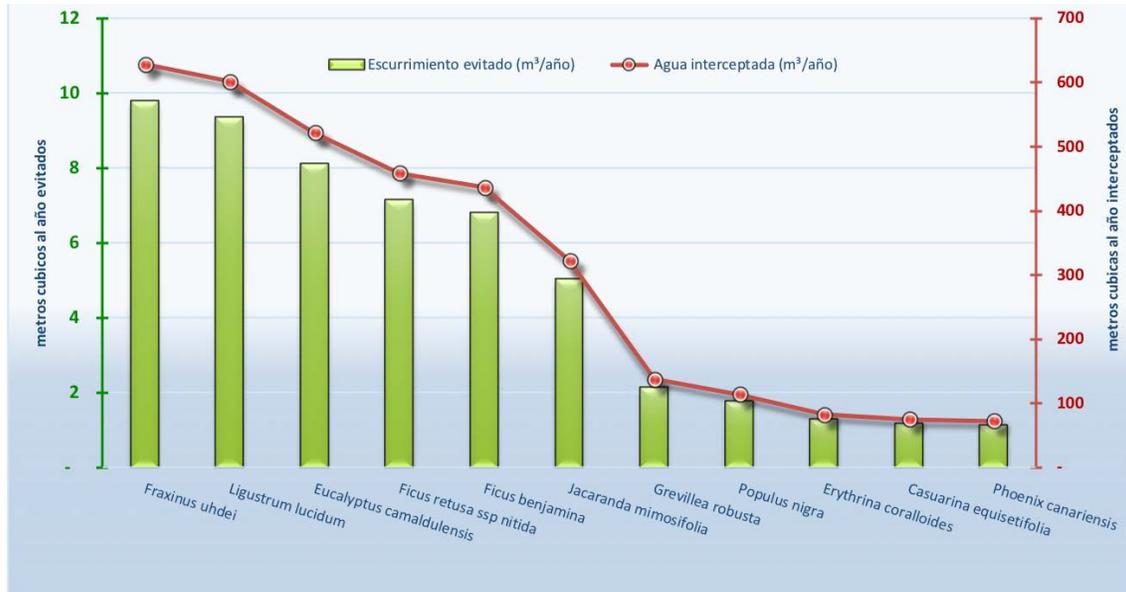
Vialidad	(tonelada métrica/año)		(kg/año/ha)	
	Secuestro bruto de carbono	Equivalente CO ₂	Densidad del secuestro bruto de carbono	Equivalente CO ₂
4 Poniente	0.81	2.97	193.35	709.01
Bldv Héroes 5 Mayo	4.59	16.82	139.77	512.52
Av. Juárez	1.23	4.50	131.34	481.62
Av. 15 de Mayo	1.81	6.64	127.69	468.24
31 Pte-Ote	1.83	6.73	108.51	397.90
Bldv Norte	1.82	6.68	88.49	324.51
Bldv Valsequillo	1.75	6.41	64.12	235.12
Carr. Fed. a Tehuacán	1.50	5.52	61.29	224.75
Prolongación Reforma	0.70	2.58	46.29	169.75
11 Norte-Sur	2.65	9.72	46.22	169.48
Diag. Defensores de la Rep.	0.77	2.84	28.81	105.64
Área de estudio. TOTAL	19.48	71.42		
Promedio pesado			78.12	286.48

Incremento en infiltración

El incremento en infiltración que logran los árboles se debe a dos efectos. El primero, más intuitivo, es por los canales o perforaciones que en el suelo hacen las raíces lo cual acelera la infiltración del agua de lluvia al subsuelo. El segundo se debe al efecto de desaceleración que causan las hojas a las gotas de lluvia, lo que permite que caigan más despacio y/o con menos intensidad lo que a su vez permite su absorción por el suelo, reduciendo la escorrentía y al mismo tiempo reduciendo la erosión por el golpe de las gotas en el suelo. Además, si la lluvia no es torrencial existe una intercepción de agua en la superficie de las hojas y que eventualmente se vuelve a evaporar al medio y que NO llega la suelo y por lo tanto no causa ni erosión ni escorrentía.

Este servicio es totalmente dependiente del tipo de arbolado, especie y las características de raíces y hojas. El cuadro 6-3 muestra los datos para las 11 principales especies que entre ellas acumulan el 94% del incremento en infiltración que proporciona todo el arbolado es decir 54 m³ del total de los 57.13 m³ totales calculados. Sobresalen de la lista la especie de fresno como el mayor promotor de la infiltración, seguido por el trueno (por su cantidad en la población) y el eucalipto, aunque cabe señalar que la población de ficus es mayor que el eucalipto, lo que habla de su gran capacidad de incremento en infiltración.

Figura 6-3 Reducción de escorrentía de las principales especies.



El cuadro 6-4 muestra en orden descendente de escorrentamiento evitado las vialidades censadas, y en virtud de que las demás variables también dependen del follaje y tamaño y cantidad de árboles todas se comportan de la misma manera, es decir están en orden descendente. Esto explica porque al final de la lista están las vialidades con menos árboles.

Cuadro 6-4 Relaciones hídricas de las vialidades y su arbolado.

VIALIDAD	Posible evapotranspiración (m³/año)	Transpiración (m³/año)	Agua interceptada (m³/año)	Escorrentamiento evitado (m³/año)
Blvd Héroes 5 Mayo	32,362	9,831	733	11.40
11 Norte-Sur	26,118	7,934	591	9.20
Blvd Norte	16,674	5,065	377	5.87
Blvd Valsequillo	15,503	4,710	351	5.46
31 Pte-Ote	13,793	4,190	312	4.86
Av. 15 de Mayo	13,522	4,108	306	4.76
Carr. Fed. a Tehuacán	13,051	3,965	295	4.60
Av. Juárez	11,188	3,399	253	3.94
Diag. Defensores de la Rep.	10,709	3,253	242	3.77
Prolongación Reforma	4,881	1,483	110	1.72
4 Poniente	4,373	1,328	99	1.54
Área de estudio	162,173	49,264	3,671	57.13

Producción de oxígeno

Por su metabolismo los árboles producen oxígeno en el proceso de la fotosíntesis, aunque también lo consumen en la noche cuando no hay luz y no se está llevando a cabo ésta y es como en cualquier ser vivo un insumo para la quema de reservas donde se libera CO₂. En términos reales la producción de O₂ de los árboles no llega a constituir un elemento de beneficio ambiental ya que lo que logra aportar para el volumen total y la cantidad que existe naturalmente en el aire no es significativo. Sin embargo, este parámetro tiene su valor en la interpretación de la condición del arbolado ya que como en cualquier ser vivo en etapas juveniles los árboles producen más oxígeno ya que tienen mayor capacidad de fotosíntesis lo que les permite crecer. Cuando un

Vialidad	Producción de oxígeno (t)
Av. 15 de Mayo	4.80
Av. Juárez	3.30
4 Poniente	2.20
Blvd Héroes 5 Mayo	12.20
Blvd Norte	4.90
31 Pte-Ote	4.90
11 Norte-Sur	7.10
Carr. Fed. a Tehuacán	4.00
Diag. Defensores de la Rep.	2.10
Prolongación Reforma	1.90
Blvd Valsequillo	4.70
SUMA	51.90
PROMEDIO	4.74

árbol madura e incluso se hace viejo la capacidad fotosintética baja y por lo tanto la producción de oxígeno, por esto el conocimiento de los niveles de producción de oxígeno son importantes para reconocer cuando un arbolado está maduro o viejo. En este caso el cuadro 6-5 presenta los valores de producción de oxígeno por vialidad ordenadas por densidad de árboles/ha y donde se puede ver que los árboles de la Av. Juárez y la 4 Poniente por su producción por debajo el promedio es muy probable que se deba a la edad de su arbolado y un estado fisiológico avanzado.

Cuadro 6-5 Producción de oxígeno por vialidad, en rojo las que se encuentran arriba del promedio

Remoción de contaminantes

La remoción de contaminantes es uno de los principales beneficios ambientales que proporcionan los árboles ya que tienen efectos directos sobre la salud como es el caso de la remoción de PM_{2.5} que está muy relacionado con afectaciones a las vías respiratorias. Las PM_{2.5}, se remueven cuando se depositan en la superficie de las hojas y pueden volver a ser re-suspendidas a la atmósfera si no se remueven por lluvia o son transferidas al suelo. Una combinación de eventos puede causar valores positivos o negativos dependiendo de factores atmosféricos.

En el caso de los gases de efecto invernadero, el efecto producido por los árboles en la salud es indirecto y sólo ocurre como consecuencia de la reducción de gases que causan el aumento de la temperatura. El arbolado de las vialidades analizadas tiene una capacidad de remoción de contaminantes de 2.248 t/año distribuidos de la siguiente manera a través del año:

Figura 6-4 Remoción mensual (kg) de contaminantes por el arbolado de la vialidades.



Algunos comentarios que se pueden hacer de la figura 6-4 es que la absorción de contaminantes o su remoción por las hojas de la atmosfera es dependiente de la temperatura ambiental, toda vez que en los meses más calientes hay mayor remoción mientras que en los más fríos disminuye. En el caso del Monóxido de carbono, los meses de mayor remoción coinciden mas bien con los más activos del follaje que es la época de lluvias donde las especies caducifolias incrementan su follaje y ciertamente su fisiología. La remoción de PM_{2.5} tiene

ciertos valores negativos en los meses de mayo, junio y agosto que son los meses más calientes (agosto por la canícula) por dos razones principales, la temperatura, alta en este caso que estimula una mayor abundancia de partículas y por otro lado que los estomas de las hojas debido a altas temperaturas sin condiciones de humedad se cierran y no pueden absorber los contaminantes.

	Especie	Remoción de cont.(kg/año)
60% del total	Fraxinus uhdei	380.00
	Ligustrum lucidum	370.00
	Eucalyptus camaldulensis	320.00
	Ficus retusa ssp nitida	280.00
90% del total	Ficus benjamina	270.00
	Jacaranda mimosifolia	200.00
	Grevillea robusta	80.00
	Populus nigra	70.00
95% del total	Erythrina coralloides	50.00
	Casuarina equisetifolia	50.00
	Phoenix canariensis	40.00
	Cupressus lusitanica	30.00
	95% del Total	2,140.00

Cuadro 6-6 Remoción de contaminantes por especie.

En cuanto a las especies, y su capacidad de remoción de contaminantes, el cuadro 6.6 muestra como está muy concentrado en un número pequeño de especies. Solo 4 especies, las más numerosas y que tienen buen follaje prácticamente fijan el 60%, mientras que sumando otras 4 especies más se alcanza el 90% de toda la remoción. Únicamente los cedros, por su tipo de follaje, a pesar de ser más numerosos que la Gravillea apenas fijan menos de

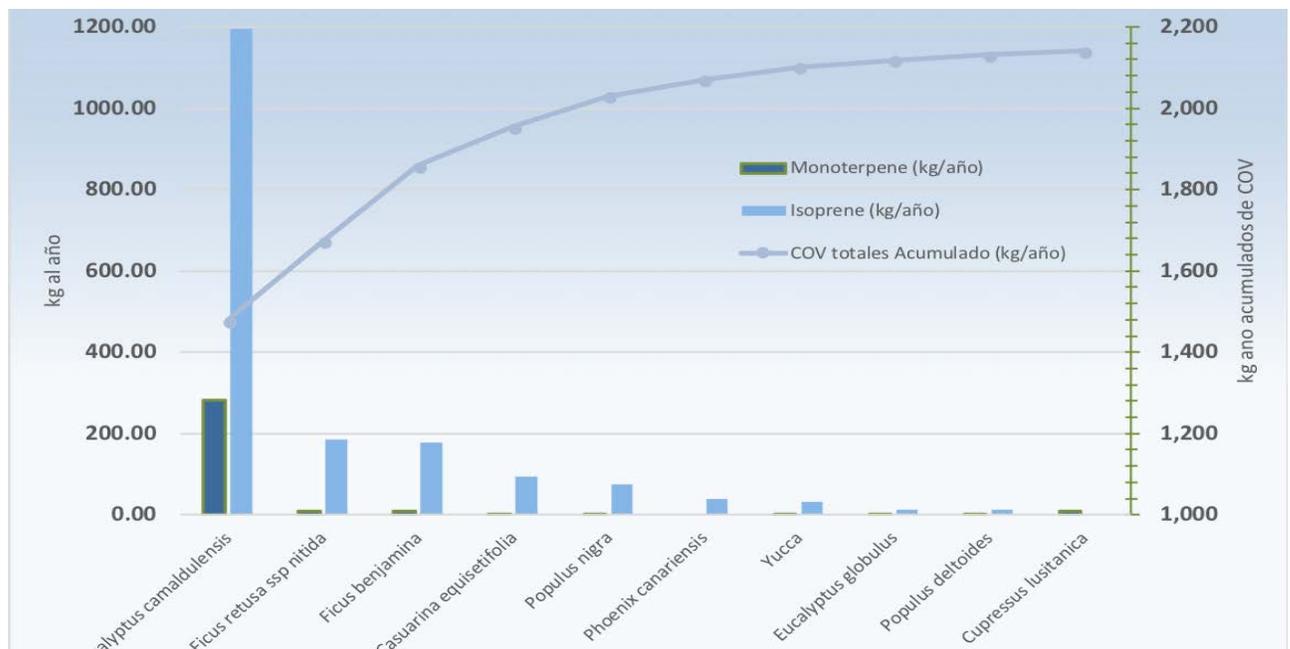
la mitad que ésta. El eucalipto a pesar de tener una población de la mitad que la del laurel de la india remueve más contaminantes por su tipo de hojas y metabolismo.

Dentro de la suite de programas de *i-Tree*, el *i-Tree Species* cuenta con una base de datos para seleccionar especies con criterios muy específicos de capacidad de remoción de contaminantes que se deseé y tolerancia a otros contaminantes, además de poder filtrar el listado de acuerdo a condiciones climáticas y tamaño máximo potencial. Para las recomendaciones se harán corridas (anexo 4) donde se consideren estos factores.

Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

La emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV o VOC del inglés) incluye Monoterpenos e Isopreno, y la suma de ambos contribuyen a la formación de ozono y monóxido de carbono por foto descomposición (ruptura química por efecto de la luz). La cantidad de emisiones depende de la especie, hojas, biomasa, temperatura del aire y otros factores atmosféricos. En la figura 6.5 se presenta la cantidad liberada de COV por las principales especies y el acumulado de la producción total. No es de sorprender que el eucalipto produzca tantos, aunque si es de importancia que produce casi 6 veces más que los ficus que son los siguientes en la lista. Los COV son compuestos de Carbono con alta presión de vapor a temperatura ambientes resultante de su bajo punto de ebullición lo que causa que las moléculas se sublimen del estado líquido al sólido. La mayoría de olores y esencias naturales tienen esta característica precisamente para poder moverse al aire y causar su efecto. En algunos árboles se cree que su función es para atraer a polinizadores, entre otros efectos y a repeler insectos dañinos.

Figura 6-5 Emisión de COV por las principales especies de las vialidades.



Este factor puede también ser determinante para la selección de especies para programas de reforestación y una razón más por ejemplo para descartar especies exóticas, invasivas y con pocos servicios ambientales como lo es la casuarina. Por otro lado, analizando las vialidades tenemos que la presencia de eucaliptos afecta los montos emitidos en la vialidad como es el caso del Blvd Valsequillo el cual cuenta con bastantes eucaliptos

como se puede ver en la figura 5.4 de la discusión de especies y por otro lado vialidades densas como la 4 Pte. y Av. Juárez que tienen niveles muy bajos.

Cuadro 6-7 COV emitidos por los arbolados de las vialidades.

Vialidad	Monoterpenos (kg/año)	Isopreno (kg/año)	COV totales (kg/año)
Blvd Valsequillo	84.4	409.0	493.4
Av. 15 de Mayo	67.5	301.0	368.5
Blvd Norte	52.3	240.3	292.6
11 Norte-Sur	37.8	249.4	287.2
Carr. Fed. a Tehuacán	37.7	166.1	203.8
Blvd Héroes 5 Mayo	14.9	137.1	152.0
31 Pte-Ote	8.4	114.7	123.1
Diag. Defensores de la Rep.	16.1	97.4	113.5
Prolongación Reforma	8.3	55.0	63.2
Av. Juárez	7.4	54.4	61.8
4 Poniente	1.4	29.0	30.4
TOTALES	336.2	1,853.4	2,189.5

7. Conclusión y recomendaciones

Mantenimiento y situación

Como parte de los datos medidos e ingresados a el i-Tree se tienen dos campos para indicar labores a realizar en los árboles censados. En primera instancia el campo "Mantenimiento Recomendado" se refiere a aquél trabajo que es necesario hacer en un mediano plazo (mas de un año) en el árbol para que se desarrolle en buenas condiciones. El segundo campo o el de "labor Prioritaria" se refiere a alguna labor que hay que llevar a cabo con urgencia o en un muy corto plazo (dentro de los siguientes 12 meses) para evitar daños en el árbol. Otro campo que tiene el programa es para identificar conflictos que el árbol tiene en el presente inventario y pueden ser alguno de los siguientes 5 casos, en el anexo 1 se encuentra la explicación de que es cada categoría y que árboles incluye. Hay que mencionar que cuando un árbol no requiere de mantenimiento, labor o presenta conflicto no se captura por lo que la clase predeterminada o default sería árbol sin recomendación y para el caso de estas clasificaciones estaría formado por la diferencia entre la población (6,928) menos los árboles clasificados:

-  Con Banqueta
-  Con otro árbol
-  100% bajo Dosel
-  Con cables
-  De Visibilidad

Esta información es importante para programar trabajos de corrección de conflictos. Existen varias alternativas para resolver estos conflictos que pueden ser desde el trasplante y movimiento de un árbol bajo dosel que está totalmente suprimido hasta la sustitución por otra especie o eliminación en caso de que éste haya alcanzado los cables en una línea de distribución.

Mantenimiento recomendado	Conteo de árboles	Tarea prioritaria	Conteo de árboles
Control Sanitario	138	Airear, fertilizar o regar	2,920
Corrección de Arquitectura	590	Control Fitosanitario	430
Mejora de Sitio	4,057	Derribo/Sustitución	1,235
Riesgo/Remoción	941	Monitoreo de riesgo	212
Sustituir/Rejuvenecer	108	Poda	989
Total general	5,834	Protección	14
		Total general	5,800

Cuadro 7-1 Labores y mantenimiento requerido por el arbolado.

En cuanto a mantenimiento a mediano plazo lo mas necesario a programar es mejorar los sitios. En condiciones urbanas lo mas usual es la compactación de la tierra alrededor de los árboles debido a el paso de personas, vehículos e incluso por la lluvia. La labor de descompactación permite mejor aireación, infiltración de agua y si además se añade materia orgánica se le estará proporcionando al árbol nutrientes y mejor estructura para retención de agua. En segundo lugar, están los 941 árboles que junto con los 108 hay que remover. Finalmente, las podas de corrección de arquitectura que pueden ser de limpieza, de elevación de copa, de raleo que hay que programarlas en los 590 árboles indicados. Hay dos reportes que se deben consultar para determinar qué especie es y su ubicación. El primero es el de "Mantenimiento recomendado" que nos muestra la especie y de que diámetro es el árbol que requiere el trabajo y el segundo el reporte de "Datos de árboles individuales" donde ya se pueden identificar o en su defecto en la hoja de Datos Crudos donde vienen los datos que utilizó el i-Tree

para los cálculos. Hay que dar prioridad a las vialidades que lo requieran para mejorar su servicio ambiental, pero hacerlo con especímenes de las especies adecuadas, de calidad y sobretodo de talla de más de 2.5 m y 4" de diámetro, como ya se está solicitando por norma en otros municipios como el de Guadalajara. Finalmente hay que programar las podas y el control fitosanitario necesario para reducir el deterioro de los árboles actuales.

Un campo propio del programa es para definir si el árbol tiene un conflicto, como ya se mencionó anteriormente y se definieron 5 posibilidades, presentándose los resultados en el cuadro 7-2.

Cuadro 7-2 Conflictos de los árboles en las vialidades.

Conflicto	Conteo de árboles
100% bajo dosel	166
Con Banqueta	1,288
Con cables	616
Con Otro Árbol	2,845
De Visibilidad	58
Total general	4,973

El principal problema encontrado es la siembra sin planeación que se realizó y que en los pocos espacios que se tienen se plantaron demasiados árboles y por lo tanto están en competencia. Este problema hace que los árboles tomen formas buscando la luz y no crezcan derechos lo que provoca que crezcan hacia edificios o bloqueando otras estructuras y que muchas de las veces se hagan desmoches, generando más problemas por el efecto de cola de león que genera muchas ramas con problemas de inserción y por lo tanto más fácil que se rompan con vientos fuertes y que además reducen considerablemente los canopes de los árboles. En este caso se debe seleccionar el mejor espécimen y dejar uno solo, si el árbol no es muy grande se puede re-transplantar a un mejor sitio. Posteriormente el segundo caso de conflictos es en banquetas como es de esperarse y las principales especies que lo muestran son: Trueno (317), Laurel (256), Fresno (151), Ficus (141), Cedro (112), Eucalipto (99), Álamo (75). En este caso hay que analizar caso por caso y determinar si es posible un derribo y sustitución o una adaptación en la banqueta como romper correctamente e instalar una recubierta de algún tipo para no dejar expuesta el área de goteo. Para identificar los árboles con este problema se puede generar un reporte con los datos crudos tomados, que nos indica las coordenadas y ubicación del árbol. Previo a esto se recomienda establecer un diagrama de flujo de toma de decisiones que indique las acciones a tomar y bajo que condiciones se debe realizar alguna acción particular.

La condición general del árbol es el primer campo personalizado que se utilizó en el i-Tree para definir no solo por copa sino por toda la apariencia, es decir tronco, situación de sitio, e incluso estética. Básicamente es una escala del 1 al 5 donde uno es muy mal y 5 muy bien con la categoría 6 (default o predeterminada) no capturada de árboles en excelentes condiciones que en este caso solo fueron 141 arboles (1%), que son los faltantes para el total de la población. Prácticamente el 35% (21 +14%) de los árboles están en malas condiciones, otro 41% en regular y el resto en buenas condiciones, es decir el solo el 24%. Esta cantidad de árboles en malas condiciones es alto pues durante la realización del inventario, a los árboles de varios tallos se les consideró como "mal de forma". Y lo anterior es porque además de tener riesgo por mala inserción cuando la división está muy abajo, las ramas se

Cuadro 7-3 Condición general de los árboles censados.

Condición General	Conteo de árboles
1. Mal de forma, sanidad, etc.	1,413 (21%)
2. Pobre y desahuciado	997 (14%)
3. Regular en malas condiciones	2,795 (41%)
4. Regular y mejorable	1,414 (21%)
5. Bien de forma y estructura	168 (2%)
Total general	6,787 (99%)

comportan como dos árboles y compiten, ocasionando que se vayan hacia los lados opuestos y son los árboles que eventualmente se desmochan generando individuos en malas condiciones. Esto puede ser consecuencia de una deficiente planeación, selección de individuos provenientes de vivero y plantación.

El i-Tree tiene una metodología de evaluación fitosanitaria que incluso toma en cuenta el estrés en el que pueden estar los árboles; sin embargo, para el uso de ésta se requiere mucha experiencia y conocimiento de plagas, además las plagas que se encuentran precargadas en el programa no necesariamente se encuentran en México. Por este motivo se utilizaron los dos últimos campos personalizados para definir la situación fitosanitaria y se evaluó en primera instancia el estado o grado del daño y en segunda instancia el agente causal. Al igual que la condición general, básicamente la escala es del 1 al 5 donde 1 es muy baja presencia o daño y 5 muy alto y por otro lado se identificaron 4 posibles agentes causales, 3 por organismos y un cuarto por el hombre. En este sentido solo un 6% de los árboles mostró daño y afortunadamente el nivel de daño no fue muy alto en promedio. Sin embargo, el agente causal más común fueron las plantas parásitas o muérdagos, que si bien fue en un porcentaje bajo, hay que programar su poda de limpieza a la brevedad para evitar que se convierta en plaga como en otras ciudades; León, Gto. o la misma CDMX donde los niveles de infestación ya son bastante graves. La razón por la que no coinciden los árboles con daño (414) con los agentes causales es que en algunos casos se apreciaba el daño pero ya no existía el agente causal y no se podía determinar como se había hecho el daño y además dentro de agentes causales se incluyó una categoría (Cal, daño mecánico, etc.) para referirse a daños causados por el hombre que no se evaluaban en el estado fitosanitario.

Estado Fitosanitario	Conteo de árboles
INCIPIENTE plaga, enfermedades, parásitos	130
Infestación baja plaga, enfermedad o parasito	87
Infestación media plaga, enfermedad o parasito	80
Infestación ALTA plaga, enfermedad o parasito	32
Infestación MUY ALTA	85
Total general	414
Sin daño por plaga/enf. /parasito	6,514

Agente Causal	Conteo de árboles
Enfermedad, hongo	112
Otro (cal, mecánico, etc.)	96
Parasito	160
Plaga	89
Total general	457
Sin daño por los conceptos anteriores	6,471

Cuadro 7-4 Situación fitosanitaria de los árboles en las vialidades.

Metas potenciales para establecer

El establecimiento de metas en función a servicios ambientales o a factores que indirectamente miden el desempeño de los árboles es la manera más eficiente y trascendente para mejorar el arbolado. Las cantidades o montos a incluir en las metas deben de considerarse en función al presupuesto disponible para el programa de mejora. Este programa debe de formar parte de un Plan Maestro de Manejo de Arbolado, cuya finalidad es que con base al presente inventario se definan acciones concretas para llegar a las metas específicas en las vialidades de acuerdo a las necesidades detectadas.

Basado en la información del inventario y las condiciones en las que se encuentra el arbolado en las vialidades, se pueden establecer algunas metas que son factibles, alcanzables y con un presupuesto razonable. Como posibles ejemplos podrían ser, y que son necesario establecerlas con las autoridades respectivas en un taller participativo donde se discutan y establezcan alcances factibles con la actualidad presupuestal:

- 🌳 Incrementar la diversidad de especies, y reducir la exóticas.
- 🌳 Reiniciar la plantación de individuos, sobre todo en las vialidades de bajas densidades.
- 🌳 Rejuvenecer el arbolado eliminando los árboles de riesgo
- 🌳 Aumentar en un 2.5%/anual la capacidad de secuestro de CO₂ del arbolado, es decir al menos 500 kg/año.
- 🌳 Aumentar en 250 kg (11%) la remoción de contaminantes por el arbolado.

Con la información del inventario ya se tiene la base y se deben de ir diseñando metas específicas por vialidad en función a las características de cada una de ellas e incluir especificaciones en cuanto a manejo o mantenimiento de especies concretas. Mucho va a depender de la visión que se tenga, de hacia donde se quiere llegar con el arbolado y de los recursos económicos con que se cuente. A partir de lo anterior, se deben sentar las bases para elaborar un presupuesto a corto, mediano y largo plazo que contemple lo necesario en equipamiento, capacitación, personal y gastos de operación (vehículos, gasolina, etc.) para lograr las metas. La elaboración de un presupuesto forma parte de un Plan Maestro de Manejo del Arbolado que se considera la siguiente fase posterior al inventario.

Es muy urgente una revisión de los programas de reforestación que se tienen que considerar en coordinación o asociación con viveristas para proveer diversidad, tamaño, calidad de raíces y sanidad de planta que permita reforestaciones más efectivas que cumplan con metas de servicio ambiental, basados en normas como la ANSI 300. En los Lineamientos Ambientales Municipales y la Norma Técnica de Diseño e Imagen Urbana para el Municipio de Puebla, se establecen de manera muy vaga requisitos para la plantación. En términos de tamaño solamente indican que el arbolado de restitución sea de mínimo 2.5 m de alto con un diámetro mínimo de 6 cm (2.3") y fronda 1-2.5 m³ sin ninguna mención a raíces, relación cuello-altura, bifurcación de tallos ni a la especie y finalidad de la reforestación. La importancia de aumentar la talla en árboles para plantar radica en el hecho, como lo indican varios reportes como el de bosques urbanos de Toronto que señala que árboles grandes proveen mejores servicios ambientales y especifica que un árbol de "75 cm de diámetro intercepta 10 veces mas contaminantes y almacena hasta 90 veces mas carbono, gracias a que contribuye 100 veces mas al área foliar del canopy de la ciudad que un árbol de 15 cm" (Parks forestry and recreation, 2008). Además como indica McPherson et al (2005) en su trabajo en Charlotte, NC plantando árboles relativamente mas grandes 2.5 a 3" se da buen inicio al bosque urbano y se incrementa considerablemente la probabilidad de prendimiento.

Recomendaciones

Las recomendaciones al igual que las metas se deben establecer en función a la visión que se tenga y a la dirección que se le quiera dar al arbolado de las vialidades. Se pueden enumerar algunas recomendaciones generales que se desprenden de los resultados del inventario. Estas recomendaciones son generales, pero es necesario analizar vialidad por vialidad para emitir las específicas para cada una que acompañe a las acciones que se van a realizar. Hay que recordar que el inventario es la Línea Base para que a partir de el se inicien acciones bien dirigidas y con el fundamento necesario para asegurar el éxito.

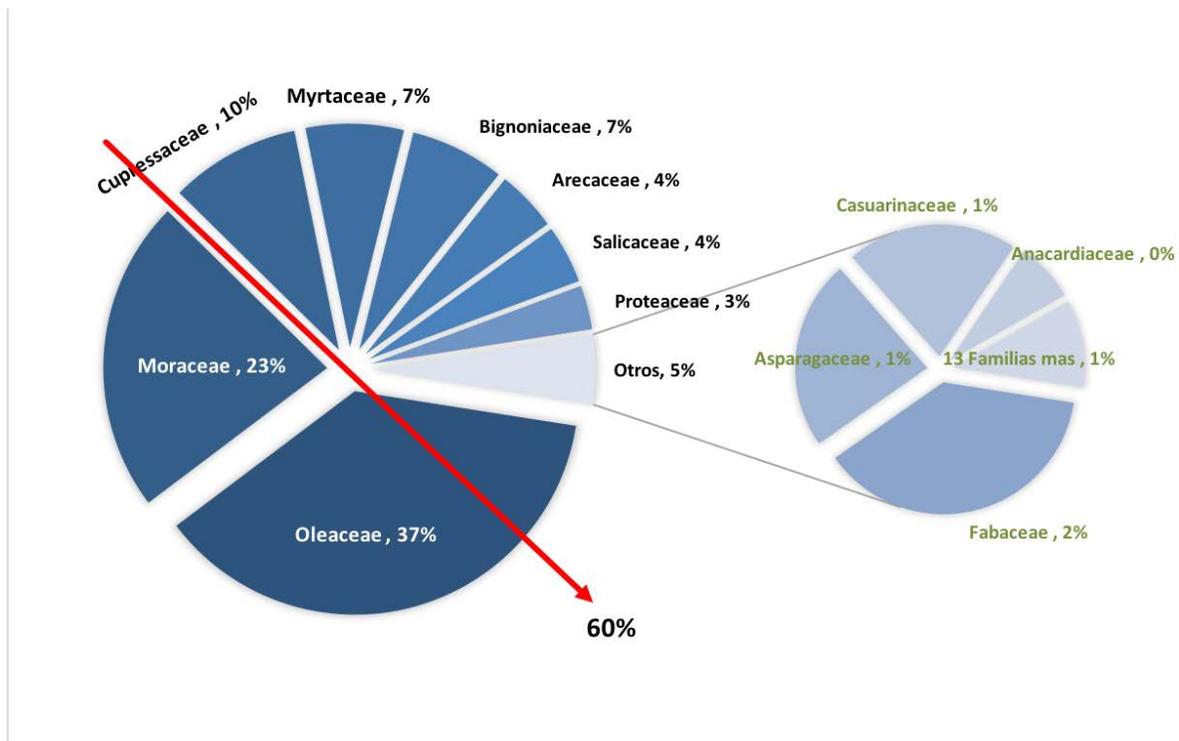
Lineamientos Generales

Con la información presentada queda establecido que hay dos grandes necesidades del arbolado:

1. Trabajar en el mantenimiento y mejora del arbolado de las vialidades para lograr un mejor beneficio ambiental aprovechando el tamaño de los árboles y lo que les queda de vida.
2. Se debe rejuvenecer al arbolado urgentemente y plantar nuevos individuos de una talla razonable para que provean de mayor servicio ambiental lo más pronto posible y que ayuden a aumentar la biodiversidad.

En el anexo 4 se presentan especies que i-Tree recomienda con capacidad alta de reducción de contaminantes como se solicitó, sin sensibilidad y de la zona climática adecuada (Hardiness zone) y se pidieron con límite de altura. Se solicitaron especies altas de más de 10 m y chicas de menos de 12. En el primer caso para camellones por ejemplo donde los árboles tienen más espacio para crecer y las chicas para banquetas. Para las especies de mayor altura se reportan 3 opciones, es decir el programa reporta el mejor 10%, segunda opción hasta el 20% y una tercera opción hasta el 30% para completar 50 especies con potencial. En el anexo se incluye la familia de la especie para evitar que estas se repitan y de esta manera promover la biodiversidad, cabe mencionar que la mayoría de estas especies son exóticas pero su justificación es por el lado de su capacidad de remoción de contaminantes. En las especies chicas por ejemplo sale recomendado el trueno pero no se recomienda sembrar más, o al menos no en las vialidades donde sea especie preponderante. Para ayudar en la selección de especies la siguiente figura (7.1) muestra la población evaluada por familia y la recomendación es tratar de no seleccionar árboles de las familias existentes en alto porcentaje en este caso Oleácea (trueno y Fresno) y Moraceae (Ficus spp.).

Figura 7-1 Familias presentes en la población por cantidad de individuos.



Basándonos en estos dos conceptos anteriores se presentan las siguientes recomendaciones generales.

1. Implementar un programa de cuidado (nutrición, sanidad y mejora de suelo) para mejorar árboles de 10-20 cm de DAP.

- 🌳 Aplicar materia orgánica (mulch) en el área de goteo para mejorar la estructura y calidad de suelo de los árboles y desarrollar la metodología para definir la necesidad de fertilizar un árbol en cuanto a producto y cantidad.
- 🌳 Implementar un programa de fertilización emergente en el arbolado de áreas de suelos pobres donde los árboles muestren deficiencias para estimular el desarrollo de copas más sanas y abundantes.
- 🌳 Llevar a cabo labores de des-compactación de suelo para mejorar infiltración utilizando aire o medios mecánicos a una buena profundidad.

2. Intensificar el programa de reforestación urbana en cantidad, calidad, selección de especies y tamaño de árboles utilizados.

- 🌳 Establecer una norma de calidad de planta para reforestación en términos de calidad de raíz, porte, diámetro y altura para sitios específicos.
- 🌳 Seleccionar y definir la metodología para el trasplante de árboles grandes según el sitio a donde se vaya a trasplantar.
- 🌳 Establecer criterios de selección de especies para aumentar la biodiversidad.
- 🌳 Analizar con viveristas o internamente si con una modernización del vivero municipal, con el cual se puede resolver la urgente necesidad de producir planta de mejor calidad en cuanto a follaje y raíces, así como individuos de mayor tamaño (+ de 15 cm DAP) y con procedencias de semillas locales o certificadas para asegurar las especies necesarias que provean de un mayor servicio ambiental.

Para el seguimiento y mejora constante

Con la finalidad de establecer los avances a los trabajos planteados se pueden llevar a cabo dos acciones de seguimiento. La primera es el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo que son sitios seleccionados dentro de las vialidades, que cuenten con las especies más significativas en condiciones promedio para realizar mediciones 1 o 2 veces por año para detectar cambios en crecimiento, presencia de plagas, anomalías u otras cosas, que afecten el arbolado. Por otro lado, es necesario planificar la actualización de todo el inventario, es decir, establecer como meta el realizarlo con una frecuencia de al menos cada 5 a 8 años para poder evaluar los resultados de las acciones realizadas.

Así mismo es importante realizar un inventario de toda la ciudad para contar con la información relevante del arbolado. Si bien las vialidades tienen importancia para realizar acciones directas, un inventario de toda la ciudad permite una planeación estratégica, determinando zonas con mayores necesidades de atención con la finalidad de aumentar los servicios ambientales que provee el arbolado. Paralelamente, se requiere inventariar árboles monumentales o dignos de preservar, es decir aquellos que sean de diámetros y alturas mayores; por ejemplo, con un DAP de 2 m y altura de 25 m y que se encuentren en buen estado. La selección de los árboles monumentales, su evaluación y la determinación del servicio ambiental que proveen permitirá darles el seguimiento puntal que merecen. En este punto también es importante considerar, como se mencionó anteriormente, la elaboración de un Plan Maestro de Manejo del Arbolado Urbano.

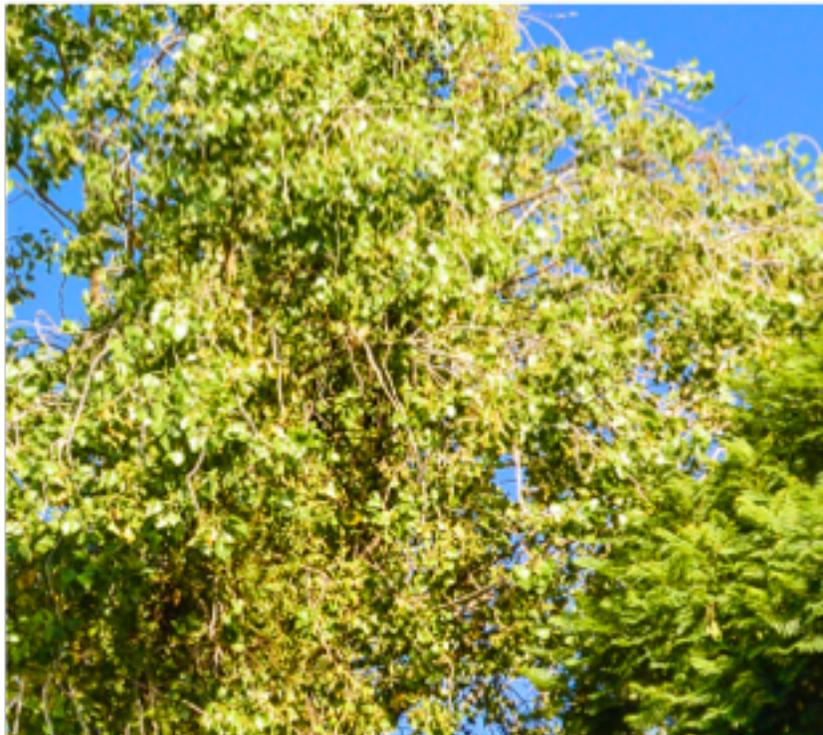
Es también importante realizar un censo total del arbolado de los parques públicos. Los espacios públicos cada vez tienen más importancia en áreas urbanas cuyo impacto en la calidad de vida, salud y bienestar de la población está bien documentado. El ejemplo más reciente en México es el “Estudio diagnóstico del arbolado urbano en parques públicos de Mérida” (De la Concha H y Roche L. 2018) en este trabajo se realiza un análisis a fondo de los parques públicos y se establecen las bases de una metodología para la mejora de un arbolado en un espacio público con el ejemplo de la Plaza Grande. Por otro lado Westphal (2003) resume de manera muy clara los beneficios potenciales en la sociedad en ambientes más arbolados y con buena cobertura arborea.

Cuadro 7-5 Beneficios sociales potenciales con áreas urbanas forestadas.

NIVEL	Experiencia pasiva	Involucramiento activo
Individual	Menores estadías en hospitales, y mejor desempeño cognoscitivo en universidades	Mayor sentimiento de realización
Organización	Distritos comerciales más fuertes, más afluencia de personas en calles más arboladas	Más miembros en organizaciones participativas con ligas con políticos.
Comunidad	Reducción de crimen	Generación de más recursos externos



Árbol mal podado en Carr. Fed. Pue-Tehuacán



Árbol infestado de muérdago en Blvd. Héroes del 5 de mayo entre 23 y 25 Ote.

9. Anexos

Anexo I. Claves utilizadas en la captura.

Anexo II. Especies con familia y clave i-Tree encontradas.

Anexo III. Modelo Eco y Mediciones de Campo para i-Tree

Anexo IV. Reporte de i-Tree Species

Anexo I Claves utilizadas en la captura.

No	Rango	Cond	Categoría	Español
1	100%	100	Excellent	Excelente
2	95% - 99%	97	Good	Bueno
3	90% - 95%	92	Good	
4	85% - 90%	87	Fair	Regular
5	80% - 85%	82	Fair	
6	75% - 80%	77	Fair	
7	70% - 75%	72	Poor	Pobre
8	65% - 70%	67	Poor	
9	60% - 65%	62	Poor	
10	55% - 60%	57	Poor	
11	50% - 55%	52	Poor	Crítico
12	45% - 50%	47	Critical	
13	40% - 45%	42	Critical	
14	35% - 40%	37	Critical	
15	30% - 35%	32	Critical	
16	25% - 30%	27	Critical	
17	20% - 25%	22	Dying	Muriendo
18	15% - 20%	17	Dying	
19	10% - 15%	12	Dying	
20	5% - 10%	7	Dying	
21	1% - 5%	2	Dying	
22	0%	0	Dead	MUERTO

ID	Description
1	Corrección de arquitectura
2	Riesgo Remoción
3	Mejorar Sitio
4	Control Sanitario
5	Sustituir/Rejuvenecer

Mantenimiento

ID	Description
1	Poda
2	Derribo/Sustitución
3	Monitorear riesgo
4	Protección
5	Control fitosanitario
6	Airear Fertilizar y Agregar

Tarea de Mantenimiento

ID	Description
1	Con Banqueta
2	Con otro árbol
3	100% bajo Dosel
4	Con cables
5	De Visibilidad

CONFLICTO

ID	Description	incluye
1	MAL de forma, sanidad, etc.	Riesgo ALTO
2	Pobre y desahuciado	Medio A
3	Regular en malas condiciones	Medio
4	Regular y mejorable	Medio
5	Bien de forma y estructura	Sin riesgo

CONDICION GENERAL.

ID	Description
1	Plaga
2	Enfermedad, hongo.
3	Parasito
4	Otro Cal/mecánico

ID	Description
1	Incipiente Plaga, enfermedad o parasito. < 20%
2	Infestación baja de Plaga, enf. o parasito. 20-40%
3	Infestación Media de Plaga, enf. o parasito. 40-60
4	Infestación ALTA de Plaga, enf. o parasito. 60-80%
5	Infestación MUY ALTA. >80%

SANIDAD

ID	Descripción	Significado
I	MANTENIMIENTO	Hay que observar el árbol y lo primero que se determine que se le tiene que hacer para mejorar su condición es lo que se tiene seleccionar. Solo hay 5 tipos de trabajo que abarcan varias labores, la labor se definirá después y si el árbol está en buenas condiciones sin problemas no hay que capturar nada.
1	Corrección de arquitectura	Cuando el árbol requiera algún tipo de poda, en la labor se especificará cuál, aquí se incluyen los desmochados, mal podados
2	Riesgo Remoción	Cuando el árbol esté muerto o presente un alto riesgo por inclinación u otro factor
3	Mejorar Sitio	Cuando se note que el árbol requiere de algún manejo como fertilización o aeración para continuar creciendo
4	Control Sanitario	Cuando tenga alguna plaga en un alto grado de incidencia y que URGA su control
5	Sustituir/Rejuvenecer	Cuando se estime que el árbol esté muy maduro y se requiera sustituir.
II	LABOR PRIORITARIA	Las labores son auto-explanatorias son labores de arboricultura normal que se podrían consultar en cualquier manual de arboricultura si hay duda. Tiene que ser consecuente con lo seleccionado en mantenimiento. Y debe de ser la labor que sea más urgente a realizar porque la sobrevivencia del árbol depende de ello. Si el árbol está bien pero requiere de varios trabajos pero que NO son urgentes no se captura NADA. En comentarios se puede añadir algo más. Si hay que remover indicar si es necesario sustituir por algún motivo.
1	Poda	Cualquiera del tipo: de elevación, reducción de copa, sanitaria o estructural
2	Derribo	URGENTE por cualquier motivo
3	Monitorear riesgo	Cuando se considera que en corto tiempo el árbol puede entrar en condiciones de riesgo por mal estado o posibilidades de cambio en su ambiente (obras).
4	Protección	En árboles pequeños que requieran guías de soporte o incluso protección vs. rayos
5	Aplicación Plaguicida	Por la presencia media a alta de plagas o enfermedades
6	Airear Fertilizar y Agregar	Por situaciones de stress, es difícil de determinar pero necesario
II	CONFLICTO	Identificar el factor más limitante para el crecimiento del árbol o que lo pueda afectar en corto plazo que incluso sea motivo de tener que removerlo.
1	Con Banqueta	
2	Con otro árbol	Las opciones de factor limitante son claras, en caso de no tener ningún conflicto no se captura nada.
3	100% bajo Dosel	El dato de visibilidad para el caso de árboles en vías de transporte se refiere a árboles que cubran señales de tránsito, paso de peatones, visibilidad de carril contrario o de otros vehículos.
4	Con cables	
5	De Visibilidad	
III	CONDICION GENERAL	En una escala del 1 (MUY MAL) a 5 (Bien) Evaluar el estado general del árbol en función a su situación NO es solo la copa sino la condición del tronco, estructura y arquitectura de las ramas, si no tiene ramas con ángulos muy abiertos y con mala inserción, en general que sea un árbol robusto bien formado (sin importar el tamaño) con buena relación follaje tronco. Por ejemplo los podados como setos serían un 1 o un 2 cuando mucho.
1	MAL de forma, sanidad, etc	Riesgo ALTO
2	Pobre y desahuciado	Riesgo medio alto
3	Regular en malas condiciones	Medio
4	Regular y mejorable	Medio
5	Bien de forma y estructura	Sin riesgo
IV	ESTADO FITOSANITARIO	
1	Incipiente Plaga, enf. o parásito	cuando exista alguna plaga, enfermedad o planta parásita que esté dañando menos del 20 % de un árbol
2	Infestación baja de P-E-P	Cuando el daño sea entre el 20 y 40%
3	Infestación Media de P-E-P	Cuando el daño sea entre el 40 y 60%
4	Infestación ALTA de P-E-P	Cuando el daño sea entre el 60 y 80%
5	Infestación MUY ALTA	Cuando el daño sea mayor del 80% del árbol.
V	AGENTE CAUSAL	
1	Plaga	Cuando sea cualquier tipo de insecto en fase adulta o larva
2	Enfermedad, hongo.	La presencia de hongos en cualquiera de sus manifestaciones o estadios
3	Parásito	Por plantas parásitas y muerdago que estén presentes.

Anexo II listado de especies, familia y clave de i-Tree

No.	Especie	Nombre común	FAM/Orig	Clave i-Tree
1	<i>Schinus molle</i>	Pirul	Anacardiaceae*	SCMO
2	<i>Annona</i>	Anona	Annonaceae*	AN8
3	<i>Schefflera actinophylla</i>	Bonete, schefflera	Araliaceae*	BRAC
4	<i>Araucaria heterophylla</i>	Araucaria	Araucariaceae*	ARHE
5	<i>Washingtonia robusta</i>	Washingtonia	Arecaceae	WARO
6	<i>Phoenix canariensis</i>	Palmera canaria	Arecaceae*	PHCA
7	<i>Roystonea regia</i>	Palma real	Arecaceae*	RORE
8	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Coco plumoso	Arecaceae*	SYRO
9	<i>Yucca</i>	Yuca	Asparagaceae	YU1
10	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso, aile	Betulaceae	ALAC
11	<i>Tabebuia</i>	Roble	Bignoniaceae	TASP
12	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Bignoniaceae*	JAMI
13	<i>Spathodea campanulata</i>	Galeana, tulipán africano	Bignoniaceae*	SPCA
14	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	Casuarinaceae*	CAEQ
15	<i>Ipomoea murucoides</i>	Cazahuate	Convolvulaceae	IPMU
16	<i>Cupressus lusitanica</i>	Cedro blanco	Cupressaceae	CULU
17	<i>Juniperus</i>	Juniper, sabino	Cupressaceae	JU
18	<i>Cupressus sempervirens</i>	Cedro panteonero, ciprés	Cupressaceae*	CUSE
19	<i>Platyclusus orientalis</i>	Cedro tuya, cedro limón	Cupressaceae*	THOR
20	<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Cupressaceae*	TAMU
21	<i>Thuja occidentalis</i>	Thuja	Cupressaceae*	THOC
22	<i>Euphorbia tirucalli</i>	Dedos	Euphorbiaceae*	EUTI
23	<i>Acacia</i>	Acacia	Fabaceae	ACSP2
24	<i>Erythrina coralloides</i>	Colorín	Fabaceae	ERCO
25	<i>Leucaena esculenta</i>	Guaje rojo	Fabaceae	LEES
26	<i>Acacia retinodes</i>	Acacia café,	Fabaceae*	ACRE2
27	<i>Bauhinia variegata</i>	Pata de vaca	Fabaceae*	BAVA
28	<i>Persea americana</i>	Aguacate criollo	Lauraceae	PEAM
29	<i>Magnoliopsida</i>	Maiclass	Magnoliopsidae*	MACLASS
30	<i>Ficus benjamina</i>	Laurel llorón, l. de la India	Moraceae*	FIBE
31	<i>Ficus elastica</i>	Hule	Moraceae*	FIEL
32	<i>Ficus lyrata</i>	Ficus	Moraceae*	FILY
33	<i>Ficus retusa ssp nitida</i>	Laurel	Moraceae*	FIRE4
34	<i>Ficus variegata</i>	Ficus variegata	Moraceae*	FIVA
35	<i>Callistemon citrinus</i>	Escobillon, cepillo	Myrtaceae*	CACI
36	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto rojo	Myrtaceae*	EUCA1
37	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto alcanfor, e. azul	Myrtaceae*	EUGL
38	<i>Eucalyptus resinifera</i>	Eucalipto dolar	Myrtaceae*	EURE2
39	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Myrtaceae*	PSGU
40	<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	Oleaceae	FRUH
41	<i>Ligustrum lucidum</i>	Trueno lila, trueno	Oleaceae*	LILU
42	<i>Phytolacca dioica</i>	Fitolaca	Phytolaccaceae	PHDI
43	<i>Pinus cembroides</i>	Pino pinonero, piñón	Pinaceae	PICE
44	<i>Pinus maximartinezii</i>	Pino azul, pino piñonero	Pinaceae	PIMA1
45	<i>Pinus patula</i>	Pino llorón, ocoye	Pinaceae	PIPA4
46	<i>Pinus teocote</i>	Pinus teocote	Pinaceae	PIE2
47	<i>Grevillea robusta</i>	Grevillea, roble australiano	Proteaceae	GRRO
48	<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero	Rosaceae	ERJA
49	<i>Prunus serotina</i>	Capulín	Rosaceae	PRSE1
50	<i>Populus deltoides</i>	Chopo, álamo americano	Salicaceae*	PODE
51	<i>Populus nigra</i>	Chopo negro, álamo negro	Salicaceae*	PONI
52	<i>Salix babylonica</i>	Sauce llorón	Salicaceae*	SABA1
53	<i>Koelreuteria elegans</i>	Flama china	Sapindaceae*	KOEL
54	<i>Buddleja cordata</i>	Tepozan	Scrophulariaceae*	BUCO
	Monocotiledoneas	* Exóticas		

Anexo III. Modelo Eco y Mediciones de Campo para i-Tree

i-Tree Eco está diseñado para utilizar datos de campo estandarizados de parcelas ubicadas aleatoriamente y contaminación local por hora y datos meteorológicos para cuantificar la estructura forestal urbana y sus numerosos efectos (Nowak y Crane 2000), incluyendo:

- 🌳 Estructura forestal urbana (por ejemplo, composición de especies, salud de los árboles, área foliar, etc.).
- 🌳 Cantidad de contaminación eliminada cada hora por el bosque urbano, y su porcentaje asociado de mejora de la calidad del aire durante un año.
- 🌳 El carbono total almacenado y el carbono neto anualmente secuestrado por el bosque urbano.
- 🌳 Efectos de los árboles sobre el uso energético de construcción y los consecuentes efectos sobre las emisiones de dióxido de carbono de fuentes de poder.
- 🌳 Valor estructural del bosque, así como el valor de la eliminación de la contaminación atmosférica y del almacenamiento y secuestro de carbono.
- 🌳 Impacto potencial de las infestaciones por plagas, tales como el escarabajo asiático, broca esmeralda de los fresnos, polilla gitana y la enfermedad holandesa del olmo.

Normalmente, todos los datos de campo se recogen durante la temporada de hojas para evaluar adecuadamente los árboles. Una toma típica de datos incluye el uso de la tierra, el suelo y la cubierta del árbol, el árbol individual, los atributos de las especies, el diámetro del tallo, la altura, el ancho de la corona, la copa de la corona y la distancia y dirección a edificios residenciales (Nowak et al 2005; Nowak et al 2008).

Durante la recolección de datos, los árboles se identifican con la clasificación taxonómica más específica posible. Los árboles que no son clasificados al nivel de la especie deben clasificarse por género (por ejemplo, Ficus) o grupos de especies (por ejemplo, latifoliadas). En este informe, especies de árboles, géneros o grupos de especies se denominan colectivamente especies arbóreas.

Características del árbol:

El área foliar de los árboles se evaluó mediante la medición de las dimensiones de la corona y el porcentaje de la copa de corona que faltaba. En el caso de que no se recogieran estas variables de datos, éstas son estimadas por el modelo.

Un análisis de especies invasoras no está disponible para estudios fuera de los Estados Unidos. Para los Estados Unidos, las especies invasoras se identifican utilizando una lista de especies invasivas para el estado en el que se encuentra el bosque urbano. Estas listas no son exhaustivas y abarcan especies invasoras de diversos grados de invasividad y distribución. Para las especies de árboles que son identificadas como invasivas por la lista de especies invasoras del estado se hacen referencias cruzadas con datos de rango nativo. Esto

ayuda a eliminar especies que están en la lista de especies invasoras del estado, pero que son nativas del área de estudio.

Eliminación de la contaminación atmosférica:

La eliminación de la contaminación se calcula para el ozono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono y las partículas de menos de 2,5 micras. Las partículas de menos de 10 micras (PM10) son otro contaminante importante del aire. Dado que i-Tree Eco analiza material en partículas de menos de 2,5 micras (PM_{2.5}) que es un subconjunto de PM₁₀, esta no ha sido incluidos en este análisis. Por lo general, la PM_{2.5}es más pertinente en los debates sobre los efectos de la contaminación en la salud humana.

Las estimaciones de la eliminación de la contaminación atmosférica se derivan de las resistencias de los canopes, calculadas para el ozono, el azufre y dióxidos de nitrógeno basados en un modelo híbrido de deposición de hojas grandes y multicapa (Balducchi 1988, Balducchi et al 1987). Como la eliminación del monóxido de carbono y de las partículas en la vegetación no está directamente relacionada con la transpiración, las tasas de remoción (velocidades de deposición) para estos contaminantes se basaron en valores medidos de la literatura (Bidwell y Fraser 1972, Lovett 1994) que se ajustaron en función de la fenología de las hojas y el área foliar.

La eliminación de partículas incorporó una tasa de re-suspensión del 50 por ciento de las partículas de vuelta a la atmósfera (Zinke 1967). Las recientes actualizaciones (2011) del modelo de calidad del aire se basan en simulaciones mejoradas del índice de área foliar, el procesamiento e interpolación de la contaminación y los valores monetarios de los contaminantes actualizados (Hirabayashi et al 2011; Hirabayashi et al 2012; Hirabayashi 2011).

Los árboles eliminan PM_{2.5} cuando la materia particulada se deposita sobre las superficies de las hojas (Nowak et al 2013). Estos PM_{2.5} depositados pueden ser re-suspendidos a la atmósfera o eliminados durante eventos de lluvia y disueltos o transferidos al suelo. Esta combinación de eventos puede conducir en la eliminación de la contaminación positiva o negativa y al valor dependiendo de varios factores. Generalmente, la eliminación de PM_{2.5} es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, hay algunos casos en que la eliminación neta es negativa o bien las partículas re-suspendidas conducen a un aumento de las concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (por ejemplo, sin lluvia), los árboles re-suspenden más partículas de las que eliminan. La re-suspensión también puede llevar a un aumento de las concentraciones totales de PM_{2.5} si las condiciones de la capa límite son menores durante los períodos netos de re-suspensión que durante los períodos netos de eliminación. Dado que el valor de eliminación de la contaminación se basa en el cambio en la concentración de la contaminación, es posible tener situaciones en las

que los árboles eliminan $PM_{2.5}$ pero aumentan las concentraciones y, por lo tanto, tienen valores negativos durante los períodos de eliminación global positiva. Estos eventos no son comunes, pero pueden ocurrir.

Para reportes en los Estados Unidos, el valor de eliminación de la contaminación atmosférica por defecto se calcula sobre la base de la incidencia local de efectos adversos de salud y los costos medianos nacionales de externalidad. El número de efectos adversos para la salud y el valor económico asociado se calcula valor para el ozono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y las partículas de menos de 2,5 micrones utilizando datos del Programa de Análisis y Mapeo de Beneficios Ambientales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (BenMAP) (Nowak et al., 2014). El modelo utiliza un enfoque de daño-función que se basa en el cambio local en la contaminación, concentración y población. Los costos de externalidad mediana nacional se utilizaron para calcular el valor del monóxido de carbono (Murray y col., 1994).

Para los reportes internacionales, se utilizan los valores de contaminación local definidos por el usuario. Para los informes internacionales que no tienen valores locales, las estimaciones se basan en los valores europeos de la externalidad mediana (van Essen et al 2011) o BenMAP. (Nowak et al 2014) que incorporan estimaciones de población definidas por el usuario. Los valores son entonces convertidos a moneda local con tipos de cambio definidos por el usuario.

Para este análisis, el valor de eliminación de la contaminación se calcula sobre la base de los precios de \$30,196.84 mexicanos por tonelada (monóxido de carbono), \$208,191.13 por tonelada (ozono), 31,088.6 por tonelada (dióxido de nitrógeno), \$11,325.21 por tonelada (dióxido de azufre), Mex \$7,227,814.33 por tonelada (partículas de menos de 2.5 micras).

Almacenamiento y Secuestro de Carbono:

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono unido en las partes subterráneas y subterráneas de la vegetación leñosa. Para calcular el almacenamiento de carbono actual, la biomasa para cada árbol se calculó usando ecuaciones de la literatura y datos de árboles medidos. Los árboles de cultivo abierto y mantenidos tienden a tener menos biomasa de la prevista por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque. Para ajustar esta diferencia, los resultados de biomasa para árboles urbanos se multiplicaron por 0.8. No se realizó ningún ajuste para los árboles que se encuentran en condiciones naturales. La biomasa seca de los árboles fue convertida en carbono almacenado multiplicando por 0.5.

El secuestro de carbono es la eliminación del dióxido de carbono del aire por las plantas. Para estimar la cantidad bruta de carbono secuestrada anualmente, el crecimiento del diámetro promedio de los géneros apropiados y la clase de diámetro y fue añadida la condición

del árbol al diámetro del árbol existente (año x) para estimar el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año $x + 1$.

Los valores de almacenamiento de carbono y secuestro de carbono se basan en valores de carbono locales estimados o personalizados. Para los reportes internacionales que no tienen valores locales, las estimaciones se basan en el valor del carbono para los Estados Unidos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 2015, Grupo de Trabajo Inter-agencial sobre el Costo Social del Carbono 2015) y convertidos a moneda local con tipos de cambio definidos por el usuario. Para este análisis, los valores de almacenamiento de carbono y secuestro de carbono se calculan en base a \$2,798.50 por tonelada.

Producción de oxígeno:

La cantidad de O_2 producido se calcula a partir del secuestro de carbono basado en pesos atómicos: liberación neta de O_2 (Kg / año) = captura neta de secuestro de C (kg / año) \times 32/12. Para estimar la tasa neta de captura de carbono, la cantidad de carbono secuestrado como resultado del crecimiento de los árboles se reduce por la cantidad perdida resultante de la mortalidad de los árboles. Así, el carbono neto secuestrado y la producción neta anual de oxígeno de la cuenta forestal urbana para la descomposición. Para los proyectos de inventario completo, la producción de oxígeno se calcula a partir del secuestro bruto de carbono y no cuenta en la descomposición.

Escorrentía evitada por aumento de infiltración

La escorrentía superficial anual evitada se calcula sobre la base de la interceptación de lluvias por la vegetación, específicamente la diferencia entre el escurrimiento anual con y sin vegetación. Aunque las hojas, las ramas y la corteza del árbol pueden interceptar la precipitación y así mitigar la escorrentía superficial, sólo la precipitación interceptada por las hojas se cuenta en este análisis.

El valor de escorrentía evitada se basa en valores locales estimados o definidos por el usuario. Para los informes internacionales que no tienen valores locales, el valor promedio nacional de los Estados Unidos se utiliza y se convierte en moneda local con tipos de cambio definidos por el usuario. El valor de escorrentía evitada de los Estados Unidos se basa en la Serie Guía de Árboles Comunitarios del Servicio Forestal de los Estados Unidos (McPherson et al, 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Peper et al 2009; 2010; Vargas et al 2007a; 2007b; 2008). Para este análisis, el valor de escorrentía evitado se calcula sobre la base del precio de \$46.20 por m^3 .

Potenciales impactos de plagas:

El análisis potencial completo del riesgo de plagas no está disponible para estudios fuera de los Estados Unidos. El número de árboles en riesgo a las plagas analizadas es reportado, aunque la lista de plagas se basa en insectos conocidos y enfermedades en los Estados Unidos.

Mapas de la gama de plagas para 2012 del Equipo Forestal de Empresas de Tecnología de la Salud (FHTET) (Forest Health Technology Enterprise Team 2014) se utilizaron para determinar la proximidad de cada plaga al condado en el que el bosque urbano se encuentra. Para el condado, se estableció si el insecto / enfermedad ocurre dentro del condado, es dentro de 400 kilómetros de la frontera del condado, está entre 400 y 1210 kilómetros de distancia, o es mayor que 1210 kilómetros de distancia. FHTET no tenía mapas de rango de plagas para la enfermedad de olmo holandés y la niebla de castaña. El rango de estas plagas se basó en la ocurrencia conocida y en el rango de huéspedes, respectivamente (Centro de Evaluación de Amenaza Ambiental del Bosque oriental: Worrall 2007).

Efectos relativos de los árboles:

El valor relativo de los beneficios de los árboles que se muestran a continuación es calculado para secuestro y eliminación de contaminantes atmosféricos equivalentes a cantidades de emisiones municipales de carbono, emisiones de automóviles de pasajeros y emisiones de la casa.

El bosque urbano en Vialidades Puebla brinda beneficios que incluyen el almacenamiento y secuestro de carbono y la eliminación de la contaminación del aire. Para calcular el valor relativo de dichos beneficios, se compararon los beneficios de los árboles con los cálculos de las emisiones promedio de carbono municipales, las emisiones promedio de los automóviles de pasajeros y las emisiones promedio de las viviendas.

El almacenamiento de carbono equivale a:

- Emisiones anuales de carbono (C) de 1,590 automóviles
- Emisiones anuales de C de 653 viviendas unifamiliares

La eliminación de monóxido de carbono equivale a:

- Emisiones anuales de monóxido de carbono de 2 automóviles
- Emisiones anuales de monóxido de carbono de 6 viviendas unifamiliares

La eliminación de dióxido de nitrógeno equivale a:

- Emisiones anuales de dióxido de nitrógeno de 77 automóviles

Emisiones anuales de dióxido de nitrógeno de 35 viviendas unifamiliares

La eliminación de dióxido de sulfuro equivale a:

- Emisiones anuales de dióxido de sulfuro de 6,210 automóviles
- Emisiones anuales de dióxido de carbono de 16 viviendas unifamiliares

Las emisiones municipales de carbono se basan en las emisiones de carbono per cápita de los Estados Unidos en 2010 (Carbon Dioxide Information Analysis Center 2010). Las emisiones per cápita se multiplicaron por la población de la ciudad para estimar las emisiones totales de carbono de la ciudad.

Tasas de emisión de vehículos ligeros (g/mi) para CO, NOx, COV, PM10 y SO2 para 2010 (Bureau of Transportation Statistics 2010; Heirigs et al 2004), PM_{2.5} para 2011-2015 (California Air Resources Board 2013) y CO2 para 2011 (U.S. Environmental Protection Agency 2010) se multiplicaron por millas promedio conducidas por vehículo en 2011 (Federal Highway Administration 2013) para determinar las emisiones promedio por vehículo. Las emisiones de los hogares se basan en el consumo medio de electricidad kWh, el uso de gas natural Btu, el uso de combustible Btu, el queroseno, el uso de Btu, el uso de GLP Btu y el uso de madera Btu por hogar en 2009 (Energy Information Administration 2013; y 2014).

- Las emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x por kWh provienen de Leonardo Academy 2011. Emisión de CO por kWh asume que 1/3 del uno por ciento de las emisiones de C es CO basado en Energy Information Administration 1994. Emisiones PM10 por kWh provienen de Layton 2004.
- Emisiones de CO₂, NO_x, SO₂ y CO por Btu para gas natural, propano y butano (media utilizada para representar GLP), Combustible # 4 y # 6 (promedio utilizado para representar la gasolina y el queroseno) de Leonardo Academy 2011.
- Emisiones de CO₂ por Btu de madera de Energy Information Administration 2014.
- Emisiones de CO, NO_x y SO_x por Btu sobre la base de las emisiones totales y la quema de madera (toneladas) de (British Columbia Ministry 2005; Comisión Forestal de Georgia 2009).

Anexo IV. Reporte de i-Tree Species

Report

- Top 10% shows the best matches.
- All shows the entire ranked list.

Trees Recommended by i-Tree Species



This is a list of tree species based on the following functions.

Location: Pachuca de Soto, Hidalgo, Mexico

Hardiness: 11

Constraints:

- Minimum Height: 10 meters
- Maximum Height: None

Air Pollutant Removal (0-10 Importance)

- Carbon Monoxide: 5
- Nitrogen Dioxide: 0
- Sulfur Dioxide: 0
- Ozone: 0
- Particulate Matter: 5

Other Functions (0-10 Importance)

- Low VOC: 0
- Carbon Storage: 0
- Wind Reduction: 0
- Air Temperature Reduction: 4
- UV Radiation Reduction: 0
- Building Energy Reduction: 0
- Streamflow Reduction: 0
- Low Allergenicity: 0

	Nombre Científico	Familia		Nombre Científico	Familia
1	ARAUCARIA*	Araucariaceae	24	BRACHYCHITON*	Malvaceae
2	HETEROPHYLLA*	Araucariaceae	25	HETEROPHYLLUS**	Malvaceae
3	ALNUS RHOMBIFOLIA	Betulaceae	26	HIBISCUS ARNOTTIANUS*	Malvaceae
4	KIGELIA AFRICANA*	Bignoniaceae	27	HIBISCUS BRACKENRIDGEI*	Malvaceae
5	DIOSPYROS EBENUM	Ebenaceae	28	HIBISCUS CALYPHYLLUS*	Malvaceae
6	ELAEOCARPUS BIFIDUS*	Elaeocarpaceae	29	HIBISCUS CLAYI*	Malvaceae
7	TAMARINDUS INDICA	Fabaceae	30	HIBISCUS CLYPEATUS*	Malvaceae
8	QUERCUS SUBER	Fagaceae	31	HIBISCUS ELATUS*	Malvaceae
9	CINNAMOMUM BURMANNII	Lauraceae	32	HIBISCUS KOKIO*	Malvaceae
10	CINNAMOMUM ELONGATUM	Lauraceae	33	HIBISCUS MACROPHYLLUS*	Malvaceae
11	CINNAMOMUM MONTANUM	Lauraceae	34	HIBISCUS MUTABILIS*	Malvaceae
12	CINNAMOMUM VERUM	Lauraceae	35	HIBISCUS WAIMEAE*	Malvaceae
13	PERSEA AMERICANA**	Lauraceae	36	HIBISCUS*	Malvaceae
14	PERSEA HUMILIS	Lauraceae	37	MEMBRANACEA*	Malvaceae
15	PERSEA KRUGII	Lauraceae	38	PERNAMBUCENSIS*	Malvaceae
16	PERSEA LINGUE	Lauraceae	39	POPULNEUM*	Malvaceae
17	PERSEA URBANIANA	Lauraceae	40	THESPESIA GRANDIFLORA*	Malvaceae
18	UMBELLULARIA	Lauraceae	41	ARTOCARPUS ALTILIS	Moraceae
19	NECTANDRA HIHUA	Lauraceae.	42	ARTOCARPUS**	Moraceae
20	NECTANDRA KRUGII	Lauraceae.	43	FICUS BENJAMINA*	Moraceae
21	NECTANDRA TURBACENSIS*	Lauraceae.	44	FICUS RELIGIOSA*	Moraceae
22	NECTANDRA*	Lauraceae.	45	FICUS RUBIGINOSA	Moraceae
23	COUROUPITA GUIANENSIS	Lecythidaceae	46	EUCALYPTUS DEGLUPTA*	Myrtaceae
	* segunda opción		47	EUCALYPTUS VIMINALIS	Myrtaceae
	** tercera opción		48	NOTHOFAGUS ALPINA*	Nothofagaceae
	No favorece biodiversidad		49	PINUS ELLIOTTII	Pinaceae
			50	MANILKARA BIDENTATA*	Sapotaceae

Report

- Top 10% shows the best matches.
- All shows the entire ranked list.

Trees Recommended by i-Tree Species



This is a list of the top 10% of tree species based on the following functions.

Location: Pachuca de Soto, Hidalgo, Mexico

Hardiness: 11

Constraints:

- Minimum Height: 3 meters
- Maximum Height: 12 meters

Air Pollutant Removal (0-10 Importance)

- Carbon Monoxide: 5
- Nitrogen Dioxide: 5
- Sulfur Dioxide: 5
- Ozone: 5
- Particulate Matter: 5

Other Functions (0-10 Importance)

- Low VOC: 0
- Carbon Storage: 0
- Wind Reduction: 0
- Air Temperature Reduction: 4
- UV Radiation Reduction: 0
- Building Energy Reduction: 0
- Streamflow Reduction: 0
- Low Allergenicity: 0

	Nombre Científico	Familia		Nombre Científico	Familia
1	MANGIFERA INDICA	Anacardiaceae	25	LAGERSTROEMIA SPECIOSA	Lythraceae
2	SCHINUS LONGIFOLIUS	Anacardiaceae	26	CANANGA ODORATA	Magnoliales
3	SCHINUS MOLLE	Anacardiaceae	27	ACERIFOLIUS	Malvaceae
4	SCHINUS POLYGAMUS	Anacardiaceae	28	BRACHYCHITON	Malvaceae
5	ANNONA RETICULATA	Annonaceae	29	BROUSSONETIA	Moraceae
6	PAPYRIFERA	Betuláceas	30	FICUS CITRIFOLIA	Moraceae
7	CRESCENTIA CUJETE	Bignoniaceae	31	LIGUSTRUM LUCIDUM	Oleaceae
8	KIGELIA AFRICANA	bignoniáceas	32	BISCHOFIA JAVANICA	Phyllanthaceae
9	BURSERA FAGAROIDES	Burseraceae	33	PODOCARPUS GRACILIOR	Podocarpaceae
10	BURSERA MICROPHYLLA	Burseraceae	34	COCCOLOBA	Polygonaceae
11	BURSERA SIMARUBA	Burseraceae	35	COCCOLOBA COSTATA	Polygonaceae
12	MAMMEA AMERICANA	Calophyllaceae	36	COCCOLOBA KRUGII	Polygonaceae
13	CALOPHYLLUM	Clusiaceae	37	COCCOLOBA PALLIDA	Polygonaceae
14	INOPHYLLUM	Clusiaceae	38	COCCOLOBA PYRIFOLIA	Polygonaceae
15	BUCIDA BUCERAS	Combretaceae	39	COCCOLOBA SINTENISII	Polygonaceae
16	BUCIDA MOLINETII	Combretaceae	40	COCCOLOBA SWARTZII	Polygonaceae
17	PISCIDIA PISCIPULA	Fabaceae	41	COCCOLOBA TENUIFOLIA	Polygonaceae
18	PERSEA AMERICANA	Lauraceae	42	COCCOLOBA VENOSA	Polygonaceae
19	PERSEA BORBONIA	Lauraceae	43	KOELREUTERIA ELEGANS	Sapindaceae
20	PERSEA HUMILIS	Lauraceae	44	SAPINDUS SAPONARIA	Sapindaceae
21	PERSEA KRUGII	Lauraceae	45	MANILKARA JAIMIQUI	Sapotaceae
22	PERSEA LINGUE	Lauraceae	46	MANILKARA PLEEANA	Sapotaceae
23	PERSEA PALUSTRIS	Lauraceae	47	MANILKARA VALENZUELA	Sapotaceae
24	PERSEA URBANIANA	Lauraceae	48	MANILKARA ZAPOTA	Sapotaceae

No favorece biodiversidad

10. Citas Bibliográficas

1. Baldocchi, D. 1988. A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment*. 22: 869-884.
2. Baldocchi, D.D.; Hicks, B.B.; Camara, P. 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*. 21: 91-101.
3. Bassett, Corinne G., "The Environmental Benefits of Trees on an Urban University Campus" (2015). Master of Environmental Studies Capstone Projects. Paper 66. http://repository.upenn.edu/mes_capstones/66
4. Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E. 1972. Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*. 50: 1435-1439.
5. British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. Residential wood burning emissions in British Columbia. British Columbia.
6. Bolniarz, D. and H. Dennis, P. Ryan 1996. The use of volunteer initiatives in conducting urban forest resource inventories. *Journal of Arboriculture* 22(2) March. 75-81.
7. California Air Resources Board. 2013. Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3 Average Auto Emission Factors. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board.
8. Carbon Dioxide Information Analysis Center. 2010. CO2 Emissions (metric tons per capita). Washington, DC: The World Bank.
9. De la Concha D., H. 2017. Inventario del Arbolado Urbano de la Ciudad de Mérida. https://www.itreetools.org/resources/reports/Inventario_Urbano_Merida_imprimir_en_dos_caras.pdf
10. De la Concha D., H. Y L. Roche. 2018. Estudio Diagnóstico del Arbolado Urbano en parque s públicos de Mérida. <https://goo.gl/chsx83>
11. Federal Highway Administration. 2013. Highway Statistics 2011. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.
12. Energy Information Administration. 2013. CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
13. Energy Information Administration. 2014. CE5.2 Household wood consumption. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
14. Freilicher, E.M. 2010. Evaluating Federal Urban Forestry Performance Measures in Massachusetts (U.S.A.). Univ. of Mass Amherst. Master Thesis 1911 Feb 2014. <http://scholarworks.umass.edu/theses/509>
15. Georgia Forestry Commission. 2009. Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission.
16. Hanou, I. 2012. Assessing Cleveland Metroparks Tree Cover. AMEC Earth & Environmental for Cleveland Metroparks
17. Hirabayashi, S. 2012. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions, http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf
18. Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2011. Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. *Environmental Modeling and Software*. 26(6): 804-816.
19. Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2012. i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions V 1.0
20. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. 2015. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/infocreg/scc-tsd-final-july-2015.pdf>
21. Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications*. 4: 629-650.

22. McPherson, E.G. 2014. Monitoring million trees LA: Tree performance During the early years and future benefits. *Arboriculture & Urban Forestry* 40(5): 286-301.
23. McPherson, E.G., J.R. James, P.J. Peper, Sh.L. Vargas, X.E. Kelaine. 2007 Northeast community tree guide: benefits, costs and strategic planting. Gen. Tech Rep. PSW-GTR-202. Albany CA, U.S.D.A., Forest Service, Pacific SW research St. 106 p.
24. McPherson E.G., et al. 2005. City of Charlotte, NC. Municipal Forest Resource Analysis. USDA-FS Pacific SW research station.
25. Murray, F.J.; Marsh L.; Bradford, P.A. 1994. New York State Energy Plan, vol. II: issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office.
26. Nowak, D.J. 1995. Trees pollute? A "TREE" explains it all. In: Proceedings of the 7th National Urban Forestry Conference. Washington, DC: American Forests: 28-30.
27. Nowak, D.J. 2000. The interactions between urban forests and global climate change. In: Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. *Global Climate Change and the Urban Forest*. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press: 31-44.
28. Nowak, D.J.; Crane, D.E. 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, M.; Burk, T., eds. *Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century*. Proceedings of IUFRO conference. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.
29. Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Walton, J.T; Bond, J. 2008. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture and Urban Forestry*. 34(6): 347-358.
30. Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E. 2005. The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual. V1b. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 34 p. http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf.
31. Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*. 178: 395-402
32. Parks forestry and recreation. 2008 Every Tree Counts. A portrait of Toronto's Urban Forest. City of Toronto Urban Forestry.
33. Santamour, F.S. Jr. 1990. Trees for Urban planting: diversity uniformity and common sense. Proceedings of the Seventh Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance. The Morton Arboretum Lisle, Illinois
34. van Essen, H.; Schroten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. 2011. *External Costs of Transport in Europe*. Netherlands: CE Delft. 161 p.
35. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007a. Interior West Tree Guide.
36. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007b. *Temperate Interior West Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting*.
37. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2008. *Tropical community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. PSW-GTR-216. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-216. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
38. Westphal, Lynne M. 2003. Social Aspects of Urban Forestry: Urban Greening and Social Benefits: a Study of Empowerment Outcomes. *Journal of Arboriculture* 29(3):137-147
39. Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. In: Sopper, W.E.; Lull, H.W., eds. *Forest Hydrology*. Oxford, UK: Pergamon Press: 137-161

Glosario Índice de Palabras

AF m2/

Area foliar total dividida entre el numero de árboles de la población en metros cuadrados., 27

Agua interceptada

Agua retenida por el follaje de los arboles por tension superficial., 32

Airear

Práctica silvicultural de romper la compactacion por algun medio para fomenar el intercambio de gases, 45

Práctica silvicultural de romper la compactación por algún medio para fomentar el intercambio de gases, 38

Área basal

Superficie del tronco calculada con el DAP., 18

área de goteo

Superficie de la sombra abajo de la copa del árbol., 39, 42

Área foliar

Suma de la superficie de todas las hojas de un árbol en metros cuadrados., 1, 18, 26

Biomasa foliar

Suma del peso del follaje de un arbol, estimado por ecuaciones alométricas., 18, 27

canope

dosel arbóreo da nombre al hábitat que comprende la región de las copas y regiones superiores de los árboles., 24, 26, 28

CO

Monóxido de carbono, gas producto de la combustión de combustibles fósiles muy dañino a la salud., 3

Condición de copa

Evaluación del estado del follaje con 7 clases o categorias ver anexo 1., 18, 23

Cubierta del dosel

Área de goteo o sombra de la copa que indica la cobertura del follaje sobre el suelo., 18

DAP

Diámetro a la altura del pecho o 1.3 m sobre el suelo., 3, 8, 9, 18, 19, 22, 42, 43

ecuaciones alométricas

Fórmula matemática obtenida por datos estadísticos que permite calcular una variable a partir de un parámetro dasométrico medido., 18

Escurrimiento evitado

Agua infiltrada por efecto de los árboles que no se va al drenaje., 32

especie

Categoría taxonómica inferior que se refiere a un tipo de individuos iguales., 14

gases de efecto invernadero

Gases que causan el efecto de refracción de radiacion IR que aumenta la temperatura ambiental., 6, 33

género

En taxonomía, es una categoría taxonómica entre la familia y la especie, abarca un grupo con características muy similares., 14

Hardiness zone

División climática basada en temperaturas mínimas principalmente., 41

Índice del área foliar

Resultado de dividir al área foliar entre la cobertura arborea o área de goteo de un árbol., 18

Indicis Biológicos

Calculos matematicos relizados con datos obtenidos para efectos de comparar entre especies., 22

Magnolopsida

Tercer nivel de clasificación botánica de un individuo del reino Plantae y División Angiosperma correspondiente a plantas dicotiledoneas., 13

Metadatos

Reportes del i-Tree con información de la corrida realizada y parámetros del proyecto., 9

NO₂

Dióxido de Nitrógeno, contaminante subproducto de la combustión de combustibles fósiles., 3, 6, 7

PM_{2.5}

Material particulado menor a 2.5 micrones, es una subserie del PM10 y es mas relevante por ser mas dañino a la salud humana., 3

Posible evapotranspiración

Cantidad de agua que se pierde por evaporación y transpiración de los arboles, 32

promedio pesado

Calculado con los valores totales y con el promedio de las vialidades., 30

SO₂

Dioxido de azufre, contaminante subproducto de la combustión de combustibles fósiles., 6, 51

Dióxido de azufre, contaminante subproducto de la combustión de combustibles fósiles., 3, 7

Transpiración

Agua perdida por el follaje, 32

web link

Liga con instrucciones para correr en el navegador de un dispositivo móvil para la captura de datos de campo., 11