



# INVENTARIO DEL ARBOLADO URBANO LEÓN, GTO.





## **Agradecimientos,**

En primera instancia, deseo agradecer al Municipio de León, Guanajuato el esfuerzo realizado para que este estudio pudiera ver la luz. Gracias a la gestión de la Dirección de Medio Ambiente del Municipio y con especial referencia a:

Biol. María del Carmen Mejía Alba  
Directora General de Medio Ambiente

Biol. Emilio Vargas Colmenero  
Director de Recursos Naturales.

**C. Ramon Medrano Navarro**  
Supervisor de reforestación.

Asimismo, deseo agradecer a todas aquellas personas que estuvieron involucradas tanto en la toma de datos como en proporcionar información por parte del municipio y que se involucraron con el trabajo y sin cuya colaboración y apoyo hubiera sido imposible su realización:

Como líderes de cuadrilla

Asistentes

Zapata Trejo, Alexis Emir  
Guevara Ortega, Luz Abigail  
Palestina Reyes, Carmen  
Méndez Becies, Irene Méndez  
Martínez Sandoval, Rubí  
Lucatero Pérez, Brenda Liliana

Alvarez Barba, Miguel Angel  
Anguiano Villagrana, Miguel Angel  
Victor Manuel López Muñoz  
Medina Ponce, Dayssi  
Paz Rafael, Marina Guadalupe  
Arroyo Molina, Rodolfo  
Ayala Aguiñaga, Paulina de Jesús  
Zacarias Cervantes, Jorge Arturo

Cuernavaca, Morelos a 12 de agosto del 2020

**M.Sc. Horacio de la Concha Duprat**

Responsable de la publicación



## INDICE

Resumen Ejecutivo _____	1
I. Introducción _____	2
a. Objetivos _____	3
General _____	3
Particulares _____	3
II. Metodología inventario urbano por parcelas de muestreo _____	4
a. Parcelas _____	4
b. Arboles dentro de las parcelas _____	7
Información general _____	8
Detalles y Tallos _____	8
Información de gestión _____	9
III. Resultados: Composición y Estructura _____	11
a. Uso y cobertura de suelo _____	11
b. Estructura del arbolado _____	14
Población _____	14
Especies _____	15
Condición del arbolado _____	20
Manejo requerido del arbolado _____	27
IV. Servicios Ambientales _____	32
a. Carbono _____	33
b. Eliminación de contaminantes. _____	36
c. Incremento en infiltración _____	40
d. Compuestos orgánicos volátiles. _____	41
e. Conclusión y recomendaciones al servicio ambiental. _____	42
V. Expectativas y Pronostico _____	46
VI. Bibliografía _____	54



## INDICE de FIGURAS

Figura II-1 Croquis para toma de datos. ....	5
Figura II-2 Distribución de las 1162 parcelas definidas. ....	6
Figura III-1 Porcentaje de tipo de Uso de suelo por Zona estimado. ....	12
Figura III-2 Cobertura de suelo registrada para toda la ciudad.....	13
Figura III-3 Porcentaje de cobertura por zona. ....	14
Figura III-4 Población y densidad de árboles por zona. ....	15
Figura III-5 Familias presentes en el inventario.....	16
Figura III-6 Principales especies y cantidades del arbolado de León (60% de la población). .....	17
Figura III-7 Distribución de las especies que conforman el 60% de la población por Zona. .....	18
Figura III-8 Valor de importancia para las 13 especies mas importantes. ....	19
Figura III-9 Distribución de la población por clase diamétrica (cm).....	20
Figura III-10 Distribución de clases dimétricos por zona.....	21
Figura III-11 Condición de copa de la población total de árboles.....	22
Figura III-12 Condición de copa de las principales 6 especies por zona. ....	23
Figura III-13 Comportamiento de las principales especies por cantidad por zona. ....	25
Figura III-14 Mezquite Parcela 226. ....	28
Figura III-15 Eucalipto parcela 127. ....	29
Figura III-16 Durazno parcela 395.....	30
Figura III-17 Jacaranda en parcela 94 con infestación muy alta de Phoradendron.....	30
Figura IV-1 Follaje por zona del arbolado de León. ....	32
Figura IV-2 Carbono almacenado y su CV en las 10 principales especies del arbolado de León, Gto.....	33
Figura IV-3 Capacidad de secuestro de C de las principales especies. ....	33
Figura IV-4 Servicio ambiental por Carbono para cada zona de León, Gto. ....	34
Figura IV-5 Especies mas importantes por población y su remoción de contaminantes .....	36
Figura IV-6 Fijación mensual de contaminantes en kilogramos. ....	37
Figura IV-7 Resumen de SA por zona.....	38
Figura IV-8 Metros <sup>3</sup> de escorrentía evitada por los arbolados de cada zona de León, Gto. .....	40
Figura IV-9 Árboles públicos y privados por zona.....	45
Figura V-1 Efectos del cambio climático en la vegetación urbana y puntos susceptibles de cambiar con manejo.....	46
Figura V-2 Evaluación general de la población del arbolado de León, Gto., y su CV ....	48
Figura V-3 Opciones de la función Pronóstico de i-Tree.....	49
Figura V-4 Escenarios con diferentes condiciones de desarrollo de la población y los SA en León.....	52



## INDICE de CUADROS

Cuadro I-1 Principales beneficios ambientales de los árboles urbanos.....	2
Cuadro II-1 Parcelas a muestrear por zona y la intensidad de muestreo resultante.....	4
Cuadro II-2 Categorías para seleccionar según el uso y cobertura del terreno.....	7
Cuadro II-3 Categorías de gestión a capturar y su significado.....	10
Cuadro III-1 Parcelas y arboles medidos.....	11
Cuadro III-2 Comparación del recurso arbóreo de otros estudios con i-Tree ECO.....	14
Cuadro III-3 Índices de diversidad calculados por zona en i-Tree.....	19
Cuadro III-4 Índice de desempeño relativo de las principales especies y las 20 especies con mejor IDR.....	24
Cuadro III-5 Lugar de origen de las especies por zona.....	27
Cuadro III-6 Mantenimiento recomendado a mediano plazo para el arbolado de León.....	27
Cuadro III-7 Labores prioritarias para realizar en menos de un año en el arbolado de León.....	28
Cuadro III-8 Grado de daño y agente causal detectado en el arbolado de León.....	29
Cuadro III-9 Conflictos con acera y servicios del arbolado de León.....	31
Cuadro IV-1 Secuestro Neto de C y producción de O <sub>2</sub> .....	35
Cuadro IV-2 Sec. Neto C por especie.....	35
Cuadro IV-3 Compuestos Orgánicos Volátiles para 4 ciudades.....	41
Cuadro IV-4 COV (kg/año) por especie de las 10 especies más productoras.....	41
Cuadro IV-5 Valor del SA en varias ciudades calculado con el i-Tree.....	42
Cuadro IV-6 Valor ambiental económico de las 20 principales especies (pesos mexicanos).....	43
Cuadro IV-7 Valor relativo del SA del arbolado de León.....	44

---

## Resumen Ejecutivo

---

Entender la estructura, la función y el valor económico del bosque urbano y sus beneficios, puede promover las decisiones de manejo que mejoraran la salud humana y la calidad del medio ambiente urbano. Una evaluación de la estructura, la función y el valor de la vegetación del bosque urbano León Guanajuato se llevó a cabo durante 2020. Los datos de 1,115 parcelas de campo localizadas a lo largo de la mancha urbana de León Guanajuato se analizaron usando el modelo i-Tree Eco desarrollado por el Servicio Forestal de USA, Estación de Investigación del Norte y otros organismos privados.

Número de árboles:	Cobertura arborea:	Arboles < 15 cm diámetro
<b>760,610(+/-5%)</b>	<b>· 7.7%(+/-6%)</b>	<b>36.50%</b>
Especies mas Comunes		
<b>Laurel lloron</b> -(18%) ( <i>Ficus benjamina</i> )	<b>Mezquite</b> -(13%) ( <i>Prosopis laevigata</i> )	<b>Casahuate</b> -(4%) ( <i>Ipomoea murucoides</i> )
Almacenamiento de C	Secuestro de Carbono	Producción de Oxígeno
<b>135.2 x10<sup>3</sup> t</b> (Mex\$19.3 millón)	<b>3.99 x10<sup>3</sup> t</b> (Mex\$571 mil/año)	<b>-6.34 x10<sup>3</sup> t/año</b>
Escurrimiento evitado	Eliminación de cont. <sup>1</sup>	Valores Estructurales
<b>56.26 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año</b> (Mex\$133 mil/año)	<b>139.3 t/año</b> (Mex\$39 millón/año)	<b>Mex\$6.08 mil millones</b>

El área de la mancha urbana de León bajo estudio, se estableció en **20,797 ha** donde se identificaron 7 zonas y se dispusieron las 1,115 parcelas al azar. Con esta superficie y población se obtuvo una densidad de árboles por hectárea de **36.6 arb/ha**, que se considera baja. Se encontraron **122** especies pero 32 solamente representan el 80% de la población que mostro un área foliar de **3.9x10<sup>3</sup> ha**.

Se encontró una gran variación de poblaciones de árboles en número y calidad entre zonas por lo que se deben atender de manera regionalizada los programas de reforestación, rejuvenecimiento y mantenimiento del arbolado. El margen para mejora del arbolado es muy amplio y para buscar reducir la huella de carbono de los automóviles y la industria de León con el secuestro de C por los árboles, es indispensable iniciar programas en las áreas mencionadas pero bajo una guía bien definida de especies, mejores prácticas de manejo arborícola y concientización de la población ya que será una labor muy compleja revertir las cifras que se encontraron en el presente inventario.

---

<sup>1</sup> Contaminantes CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>

## I. Introducción

El diagnóstico de un arbolado urbano, que solamente se puede llevar a cabo a partir de un inventario, constituye el primer paso en la ruta a seguir para desarrollar un plan de manejo efectivo, eficiente y enfocado hacia la mejora. Sin conocer las características de una población es imposible determinar los pasos necesarios para establecer políticas de selección de especies, definir áreas de mayor impacto, conocer las labores urgentes a realizar, entre muchas otras cosas. El presente inventario de la ciudad de León, Gto. no es el primer esfuerzo de conocer el arbolado pero si es el primer trabajo realizado con una metodología probada, con equipo adecuado y sobre todo con un análisis que va mas allá de la caracterización de la población de árboles por sus parámetros físicos. Gracias al uso de la herramienta i-Tree Eco es posible incluir en el análisis del arbolado aspectos fisiológicos y de productividad que eventualmente se traducen en el conocimiento del beneficio ambiental que proveen los árboles.

Conocer los beneficios de un arbolado, tiene como consecuencia una concientización de la importancia de los árboles. Esta información la debemos utilizar para mejorar y desarrollar arbolados sanos, que nos ayuden a combatir la contaminación y mejorar el hábitat urbano cada vez mas complicado. También, el conocimiento del arbolado permite una planeación y cálculo del beneficio monetario en pesos que ayuda a justificar la realización de gastos en su cuidado y a entender la necesidad de llevar a cabo un manejo del arbolado que, aunque tenga costos, muestra como los beneficios los sobrepasan con creces. De manera resumida los beneficios del arbolado urbanos son:

	<b>Beneficio</b>	<b>Por medio de</b>
<b>Ecológico</b>	Reducción de contaminantes y a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero.	Absorción de CO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>x</sub> y NO <sub>x</sub> . Fijación por medio de la fotosíntesis y retención de partículas en los espacios dentro de los estomas.
	Aumento en la infiltración de agua de lluvia.	Por efecto de las raíces en la permeabilidad de los suelos.
<b>Económico</b>	Reducción de consumo de energía en confort. Aumento en plusvalía de bienes raíces. Reducción de costos de mantenimiento de asfalto.	Por efecto del sombreado sobre los edificios y de protección contra el viento en invierno se reduce el uso de a/c. Reduce la fatiga de materiales al evitar el sol directo.
<b>Social</b>	Mejorar el ambiente al reducir el efecto de isla de calor. Genera ambientes más seguros ya que disminuye la criminalidad Mejora la conectividad en vecindarios al proveer de espacio para la interacción más efectiva.	Reducción de ruido, mejora de paisaje visual, efecto calmante y tranquilizador, una sensación de confort en áreas sombreadas con mejor humedad relativa.

*Cuadro I-1 Principales beneficios ambientales de los árboles urbanos.*



## a. Objetivos

### General

A través de un inventario urbano, con metodología estadística y rigor científico, conocer las principales características del arbolado, como tamaño (área foliar, masa y estado), sanidad y características, del área urbana de la ciudad de León Gto, que nos permita establecer su servicio ambiental económico y ecológico. Lo anterior con la finalidad de contar con la información necesaria para la toma de decisiones en el manejo del arbolado urbano, su mejora y cuidado.

### Particulares

- Reconocer las especies más importantes del arbolado.
- Cuantificar la distribución de las especies en las zonas de estudio.
- Identificar y evaluar las condiciones en las que se encuentra el arbolado por especie, zona urbana, en cuanto a diámetro a la altura de pecho, condición de copa y follaje y sanidad.
- Determinar posibles conflictos con cables, banquetas y otras estructuras.
- Determinar riesgos de plagas y enfermedades.
- Listar y cuantificar los beneficios ambientales más importantes del arbolado, desde secuestro de carbono, producción de oxígeno, fijación de contaminantes, incremento en la infiltración y reducción de la escorrentía.
- Identificar maltratos y malos manejos en el arbolado.
- Desarrollar valores que sean precursores para el manejo de riesgos y de los arboles como activos de la ciudad.
- Cuantificar económicamente, en base a los precios establecidos internacionalmente, los beneficios económicos del arbolado.
- Establecer la línea base de la situación actual del arbolado para que en muestreos recurrentes se evalúe la efectividad de los trabajos de mejora y mantenimiento realizados en los árboles.
- Desarrollar un sistema de seguimiento con parcelas permanentes de muestreo y el compromiso de actualización del inventario cada 6 años para reportar avances, y/o retrocesos, en el arbolado urbano de la ciudad.

## II. Metodología inventario urbano por parcelas de muestreo

El inventario urbano se realizó siguiendo la metodología y los protocolos específicos y probados de la suite i-Tree con la herramienta ECO V 6.0.21 dentro de la suite v 6.1.35, por lo que se recomienda revisar, para conocer más detalles, el manual que se encuentra en la página WEB de la herramienta.<sup>2</sup> La definición de variables a evaluar y el establecimiento de parcelas de muestreo para realizar el inventario se realizó siguiendo las recomendaciones de la herramienta. Es importante mencionar que se utilizó la opción de generación aleatoria de la ubicación de las parcelas para que los resultados obtenidos a través del muestreo fueran estadísticamente válidos.

### a. Parcelas

El cuadro 2.1 presenta las subdivisiones que se plantearon para la ciudad, su superficie, el número de parcelas (de 405 m<sup>2</sup> o 11.3 m de diámetro) a muestrear, que incluye las 660 ofertadas en la propuesta mas un 9% para tomar en cuenta las que no se puedan muestrear por causas de fuerza mayor y la intensidad de muestreo resultante. Se desecharon parcelas que en propiedad privada después de 2 intentos no fue posible ver el arbolado. En las parcelas que se pudo asegurar que no hay arbolado y que caían dentro de áreas residenciales o industriales se contabilizaron siguiendo la metodología indicada en i-Tree, y se comprobó con imágenes aéreas recientes, la presencia o no de árboles. También se desecharon parcelas donde no existían garantías de seguridad para el equipo de muestreo.

ZONA	Superficie/Zona (ha)	Propuesta de parcelas	Parcelas establecidas	Superficie muestra (ha)	Intensidad de muestreo
1 Norte	3,929.83	140	215	8.70	0.22%
2 Este	3,792.05	130	208	8.40	0.14%
3 Sur Este	3,282.67	115	180	7.27	0.14%
4 Sur	1,620.83	55	89	3.59	0.14%
5 Oeste	2,359.72	80	129	5.23	0.14%
6 Centro	152.46	10	30	0.45	0.27%
7 Noroeste	5,659.9	190	311	12.55	0.14%
TOTAL	20,797.5	720	1162	46	0.16%

*Cuadro II-1 Parcelas a muestrear por zona y la intensidad de muestreo resultante*

<sup>2</sup>[http://www.itreetools.org/resources/lang/es/03\\_Manual\\_de\\_campo\\_para\\_toma\\_de\\_datos\\_i-Tree\\_ECO.pdf](http://www.itreetools.org/resources/lang/es/03_Manual_de_campo_para_toma_de_datos_i-Tree_ECO.pdf)

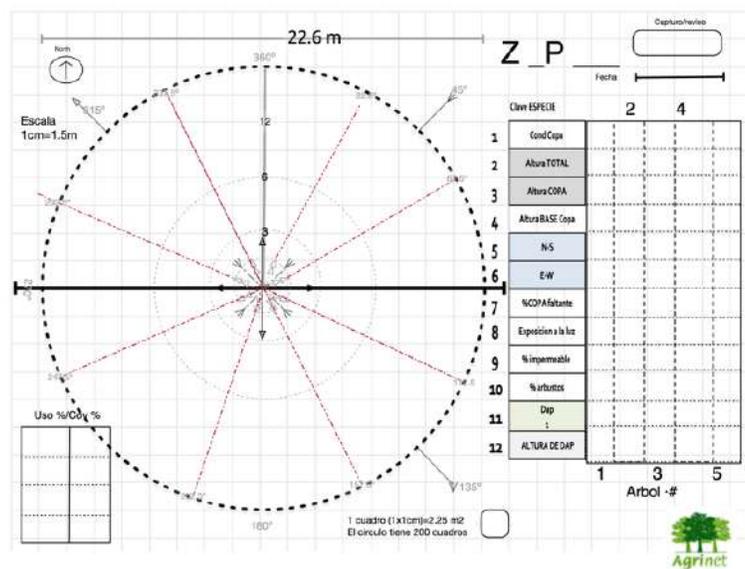
Cabe mencionar que debido al alto porcentaje de parcelas sin árboles que se encontró en la primera semana de toma de muestras (50-60% de las parcelas), se decidió aumentar el número de parcelas para mejorar la estimación del error standard de muestreo en 442 parcelas para un total de 1,162 que representa un 60% mas de lo originalmente planteado. Esto incrementó la intensidad de muestreo de 0.14% a 0.22%, aunque en el centro está fue de 0.3% por las 20 parcelas extras que se incluyeron. Para la generación de estas parcelas extras se utilizó también la opción del i-Tree de generación aleatoria con google maps utilizando los mismos shapes e indicando el numero de parcelas extras que se debía de generar, y posteriormente se consolidaron las zonas, de tal manera que la superficie de la mancha urbana no cambio y quedo en 20,797.5 ha.

Las zonas en la ciudad se establecieron en concordancia con la división administrativa que el área de Obra Publica del municipio tiene para sus trabajos, y que presenta cierta homogeneidad de condiciones, uso de suelo, delimitación de avenidas, tipo de casa habitación, en algunos casos vegetación existente y antigüedad. Se aprovecharon a las calles y avenidas para delimitar las áreas y facilitar la delimitación. En la figura 2.2

se muestra las divisiones que se establecieron que consistió en 7 zonas de diferente superficie, densidad de población, uso de suelo y en general de condiciones. A continuación se incluye un mapa con las parcelas que establecieron al azar el programa y cuyas coordenadas se pueden ver en los reportes de datos parte del entregable electrónico. Se ajustaron las zonas al limite de la mancha urbana establecida por el municipio, a la imagen de google earth de marzo de 2019 y al criterio de reducir lotes vacantes para concentrar el muestreo en zonas urbanizadas, así como cubrir la generación de nuevos fraccionamientos en ciertas partes de la ciudad.

Se diseñó un croquis a escala para que se capturaran en papel las principales características de la parcela, la ubicación de los árboles y que sirviera como documento fuente en caso de tener problemas con el programa. Se tomarán fotos desde el Norte de la parcela ubicando a una persona en el centro y en la medida de lo posible a dos personas a 11.3 m del centro en la dirección E-O para referenciar el límite de la parcela y la vegetación que incluía.

Figura II-1 Croquis para toma de datos.



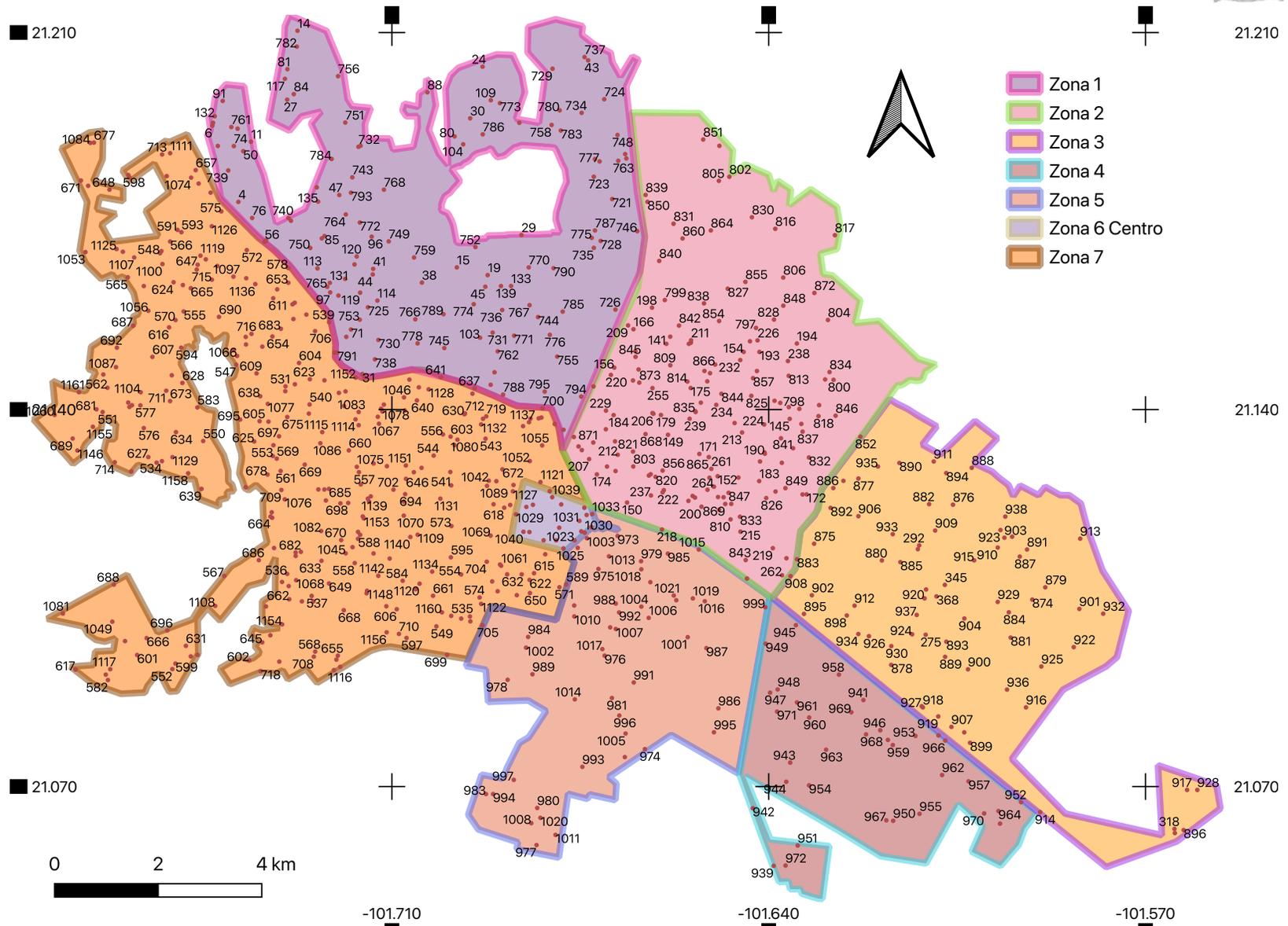


Figura II-2 Distribución de las 1162 parcelas definidas.

Los croquis y fotos sirvieron para la auditoría de la calidad de la información y se adjuntan como parte del reporte en la memoria de cálculo. Cabe mencionar que se excluyó el parque Metropolitano de León en este trabajo de muestreo ya que el parque está en proceso de contar con su propio inventario.

La información tomada en cada parcela incluye el uso de la tierra, el porcentaje de cobertura, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Uso		Cobertura	
A	Agricultura	ID	Descripción
C	Comercial/Industrial	1	Construcción
E	Cementerio	2	Pavimento
G	Golf	3	Asfalto
I	Institucional	4	Roca
M	Edificio	5	Suelo
O	Otro	6	Hojarasca Orgánica
P	Parque	7	Achual
R	Residencia	8	Pasto
T	Transporte	9	Pastizal abandonado
U	Servicio	10	Agua
V	Vacante	11	Otro material impermeable
W	Cuerpo Agua		

*Cuadro II-2 Categorías para seleccionar según el uso y cobertura del terreno.*

Las coordenadas de las parcelas (generada por el i-Tree de manera aleatoria) así como las categorías de los descriptores indicados en el cuadro 2.2, se precargan en el Web-Link para seleccionar por lo que solo es necesario capturar el porcentaje medido de la parcela, el porcentaje de cubierta arbórea y el porcentaje plantable. El porcentaje medido de la parcela sirve para que en caso de no poder medir toda la parcela, por impedimentos físicos como bardas, el programa realice ajustes y de esta manera no tener que desechar todo el punto.

### b. Árboles dentro de las parcelas

La evaluación de los árboles en las parcelas se divide en 4; Información general, Detalles, Tallos, e información de gestión o manejo.



## Información general

En este punto se identifica y captura la especie, el uso del terreno donde se encuentra, su ubicación en la parcela y se define si el árbol está en la calle y si es público. Además se registran comentarios y se señala, si se toma una foto, un identificador de la foto. El campo de comentarios es bastante amplio para indicar cualquier observación importante con muy buen margen de espacio para detallar.

## Detalles y Tallos

Se evaluarán 11 parámetros dasométricos de todos los árboles que se encuentren en la parcela, para después de ubicarlos en el croquis, identificar la especie. Estos parámetros se encuentran listados y explicados en el cuadro 2.2. Es importante mencionar que la condición de copa utiliza una escala de valores que varía cada 5% juntamente con las opciones de árbol muerto o excelente y que genera un total de 22 posibles categorías. El parámetro de condición de copa es muy importante y clave en la determinación del beneficio ambiental de los árboles, a pesar de ser subjetivamente evaluado, permite tener una mayor precisión y apego a la realidad. Para la medición se capacitó a los evaluadores en la metodología, partiendo de categorizar en primera instancia al árbol dentro de las 5 grandes categorías (buena, regular, pobre, crítico y muriendo) y luego afinando la calificación final con un estimado de la condición de la copa en función a lo que un árbol de la especie, diámetro y altura del árbol evaluado tiene y la que debería de tener en condiciones ideales para la especie y diámetro.

Con el objetivo de no utilizar únicamente el estimado de la copa como un solo parámetro y poder contar con datos duros del tamaño de la copa, se tomaron las medidas del área de goteo en las direcciones N-S y E-O, así como la "altura" del canope, midiendo a la altura de la copa y la altura de la base de la copa, de tal forma que el software se encarga de traducir éstos los datos en volumen.

Los tallos se capturan en otro apartado o "pestaña" del Web-Link, esto es porque un árbol puede tener varios tallos y todos se tienen que tomar en cuenta. En el caso del i-Tree Eco se tiene capacidad de capturar hasta 6 tallos y se pide indicar a que altura se tomo para que el software haga los ajustes necesarios en los cálculos de biomasa. También la ventana de captura tiene la opción de indicar, en caso de no poder hacer la medición directa por impedimentos de acceso, marcar o señalar que el árbol no fue medido para indicar que el diámetro fue estimado, esto en caso de parcelas que estén protegidas pero que el árbol sea visible. Esta función del programa de alguna manera también realiza ajustes y la ventaja es que esto permite que no se tenga que desechar el punto.

	Concepto	Unidad	Descripción	
	1	Condición Copa	%	CONDICIÓN DE LA COPA, ver el manual
ALTURA	2	TOTAL	m	En metros del árbol hasta su parte más alta
	3	COPA	m	En metros del follaje vivo del árbol
	4	BASE Copa	m	Del piso a la hoja más baja de la copa
ANCHO DE COPA	5	N-S	m	Metros de la copa en la dirección indicada
	6	E-W	m	Metros de la copa en la dirección indicada
	7	%COPA faltante	%	Porcentaje de la copa que no se encuentre
	8	Exposición a la luz	entero	1 al 5 ver el manual para las opciones
	9	% impermeable	%	Área cubierta por cemento, cualquier elemento impermeable al agua debajo del árbol
DAP:	10	DAP1 hasta 6	cm	Diámetro medido con cinta diamétrica (hasta 6)
	11	ALTURA DE DAP	m	Altura a la que se midió el diámetro 1.3 es la normal, pero se pudo haber medido a otra altura.

*Cuadro II-1 Parámetros dasométricos medidos.*

### Información de gestión

El cuadro 2.3 muestra la información de gestión, u observaciones de manejo, que se registraron con respecto a recomendaciones de mantenimiento a mediano plazo, a corto plazo, y de conflicto de los árboles en aceras y con servicios. También están las personalizadas que se definieron y cargaron en el web-Link para determinar la condición general del árbol, su estado fitosanitario y agente causal en caso de tener algún ataque. Por la importancia del ataque de muérdago en el arbolado urbano de la ciudad como agente causal se listaron las dos especies de muérdago mas comunes para que quede registro de su grado de infestación.

Finalmente es importante recalcar que las parcelas fueron establecidas totalmente al azar con la opción que tiene el mismo software para generarlas sin poder interferir en su selección de lugar. Esto es muy importante ya que es la única manera de evitar sesgos en la información y garantizar que se pueda manejar estadísticamente la información de las parcelas muestreadas para realizar conclusiones con cierto margen de error conocido. Se definieron de inicio 720 parcelas y al final la cantidad aumento a 1,162, y como al principio, se considero un porcentaje de parcelas a desechar ya que por experiencia siempre hay algunas donde no es posible medir por diferentes razones como seguridad, acceso e impedimento de los ciudadanos.



N	Descripción	Significado	
I	<b>MANTENIMIENTO</b> (Obligatorio SALVO árboles EXCELENTES)	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 esta en buenas condiciones sin problemas no hay que capturar nada. El tipo de mantenimiento a anotar es uno a MEDIANO-Largo PLAZO.	
1	Corrección de arquitectura	Cuando el árbol requiera algún tipo de poda, en la labor se especificara cual, aquí se incluyen los desmochados, mal podados	
2	Riesgo Remoción	Cuando el árbol este 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 este muy maduro y se requiera sustituir O INCLUSO este muerto.	
II	<b>LABOR PRIORITARIA</b>	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 mas urgente a realizar porque la sobrevivencia del árbol depende de ello. Si el árbol esta bien pero requiere de varios trabajos pero que NO son urgentes no se captura NADA. En comentarios se puede añadir algo mas. Si hay que remover indicar si es necesario sustituir por algún motivo.	
	1 Limpiar basura	7 Curar heridas	13 Poda Estructural
	2 Adicionar Mulch	8 Fertilización	14 Poda sanitaria o de limpieza
	3 Airear suelo	9 Monitorear riesgo	15 Poda de elevación de copa
	4 Patología Entomología	10 Poda de aclareo	16 Reducir pavimentos
	5 Regar	11 Poda de reducción de altura	17 Derribo sin sustitución
	6 Transplante	12 Poda de reducción lateral	18 Derribo con sustitución
III	<b>CONFLICTO con ACERA</b>	Además de identificar el daño de las raíces sobre la banqueta, se indica si el arbol se encuentra bajo norma, es decir en una banqueta de mas de 60 cm o no.	
1	Daño Grave fuera norma	Las normas de urbanidad marcan que los pasos peatonales y el arbolado en banquetas debe de tener al menos un espacio de 60 cm de la pared al árbol para que este tenga espacio para crecer y que no interfiera en la vialidad entonces, en esta categoria se pretende evaluar el daño sobre la acera en caso de lo que haya y si se cumple la norma o no de la ubicación del árbol para efecto de planeación	
2	Daño Grave BAJO norma		
3	Daño Parcial fuera norma		
4	Daño Parcial BAJO norma		
5	SIN daño fuera norma		
6	SIN daño BAJO norma		
III	<b>CONFLICTO con Servicios</b>	Se evalua en caso de cualquier servicio, electrico, gas, incluso de visibilidad de letreros.	
1	Sin Problemas con lineas	Cuando no hay problemas	
2	Servicios en Peligro potencial	Cuando hay servicios pero que aun no causan problema pero lo pueden causar	
3	Servicios en CONFLICTO	Cuando claramente hay necesidades de poda por	
IV	<b>CONDICIÓN GENERAL</b> (Obligatorio SALVO árboles EXCELENTES)	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 incursión, en general que sea un árbol robusto bien formado (sin importar el tamaño) con buena relación follaje tronco. Por ejemplo los podados como setos serian un 1 o un 2 cuando mucho.	
1	MUY MAL	Riesgo ALTO	
2	POBRE	Deshauciado Riesgo Medio Alto	
3	REGULAR	En malas condiciones Riesgo Medio	
4	BIEN	Riesgo Medio	
5	MUY BIEN	Sin problemas ni riesgo	
V	<b>NIVEL DE DAÑO</b>	<b>NO CAPTURAR NADA SI NO HAY NINGÚN TIPO DE DAÑO</b>	
1	INCIPIENTE	Cuando exista alguna problema o que este dañando menos del 10 % de un árbol	
2	BAJO	Cuando el daño sea entre el 10-30% del árbol	
3	MEDIO	Cuando el daño sea entre el 30-50% del árbol	
4	ALTO	Cuando el daño sea entre el 50-70% del árbol	
5	MUY ALTO	Cuando el daño sea >70% del árbol.	
VI	<b>AGENTE CAUSAL</b>	<b>SE CAPTURA SIEMPRE QUE SE CAPTURE UN NIVEL DE DAÑO</b>	
1	Plaga Insecto	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 Muérdago	Por plantas parasitas y muérdagos que estén presentes.	
4	Psittacanthus calyculatus	Presencia específica de esta especie (flores naranjas)	
5	Phoradendron sp	Específicamente por cualquier especie de este género..	
6	Climático	Por granizo, clima, heladas, sequia,	
7	Mecánico	Cal, pintura, clavos, choques de coches.	

Cuadro II-3 Categorías de gestión a capturar y su significado.

### III. Resultados: Composición y Estructura

Para la determinación de la composición y estructura de la población de árboles de León, Gto. el cuadro 3.1 presenta el número de parcelas sobre el cual se basaron los datos y la cantidad de árboles muestreada. El porcentaje de parcelas descartadas fue de tan solo el 4%, porque hubo 47 que no fue posible medir por los motivos expuestos en el reporte de parcelas descartadas. Por otro lado, si es importante mencionar que el porcentaje de parcelas sin árboles fue alto, con 611 parcelas que representa el 55% del total muestreado, como consecuencia de esto la densidad de árboles por hectárea es baja.

Concepto	Cantidad
<b>Parcelas Totales</b>	<b>1,162</b>
<b>Muestreadas</b>	<b>1,115</b>
<b>ha de parcelas muestreadas</b>	<b>45.2</b>
<b>Arboles medidos</b>	<b>1,646<sup>3</sup></b>

*Cuadro III-1 Parcelas y arboles medidos.*

Cabe mencionar para efecto de transparencia que de la información obtenida de las 1,115 parcelas efectivas medidas solo 9 (1%) no se midió al 100% y de los 1,646 árboles a 168 (10%) se le tuvieron que estimar desde una distancia los diámetros ya que fue imposible acercarse a ellos. En algunos casos la parcela quedaba dentro de un parque o escuela que por las circunstancias se encontraba cerrada y no

había nadie para poder pasar y en lugar de descartar el punto la parcela se evaluaba pero la medición de diámetro se estimaba, los demás parámetros se pueden evaluar a distancia. Lo anterior permitió que el número de parcelas descartadas fuera como se menciono de solo 4%.

#### a. Uso y cobertura de suelo

De acuerdo con la metodología y categorías para determinar el uso de suelo en las parcelas aleatoriamente ubicadas, el modelo de i-Tree Eco estima que el uso del suelo en la ciudad de León se divide como sigue; el principal uso del suelo fue el residencial que varió por zona desde 24.5% en la zona 3 hasta 37.8% en la zona 7. Esto indica que esta zona es densamente poblada y en términos de demanda de áreas verdes puede ser de las mas necesitadas sobre todo si consideramos que el porcentaje de áreas de parque en esta misma zona es el penúltimo de la lista con solo 1.6% de la superficie total apenas arriba de la zona 3 que tuvo 1.2% de área de parques. Por otro lado la categoría de "transporte" que abarca caminos, calles y avenidas esta muy parecida en todas las zonas y la variación es de solo 4 puntos de 17.3 a 21.2%. En cuanto las zonas con mas actividad comercial e industrial es claramente la zona 6 Centro con un 33.3% de su área y la Zona 5. La zona 6 por su tamaño y

	Centro
Residencia	29.0
Transporte	19.0
Comercial/Indus	33.3
Institucional	5.3
Edificio	10.0
Servicios	3.3

<sup>3</sup> I-Tree descarta las plantas de agave por no ser leñosas, por lo que los datos y cálculos se realizan sobre 1622 arboles muestreados que son los 1646 menos 24 agaves.

características se presenta a continuación. Sobre la categoría “Cuerpo de Agua” solo se presento en las zonas 1 y 7 con 1.1 y 0.4% respectivamente.

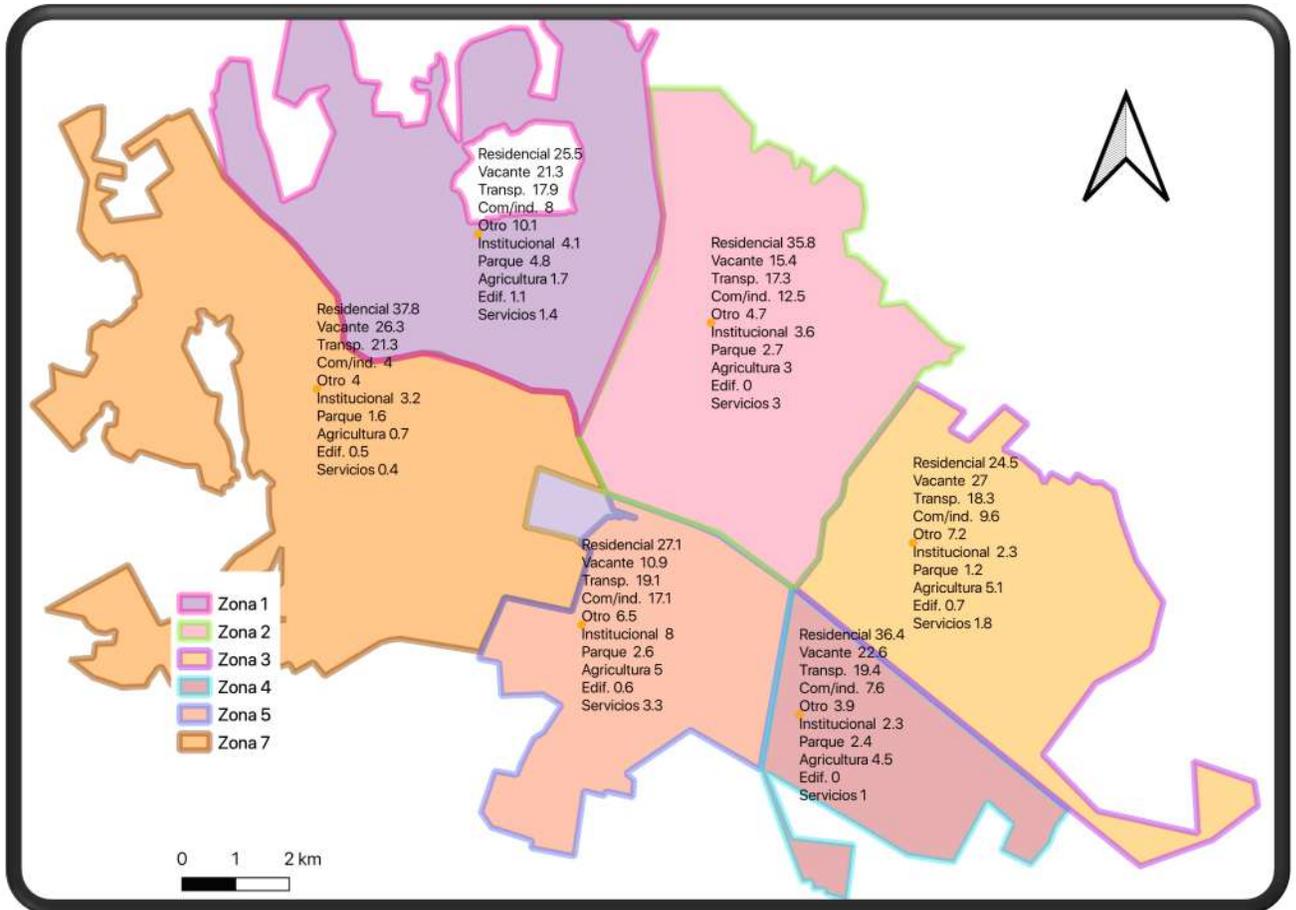
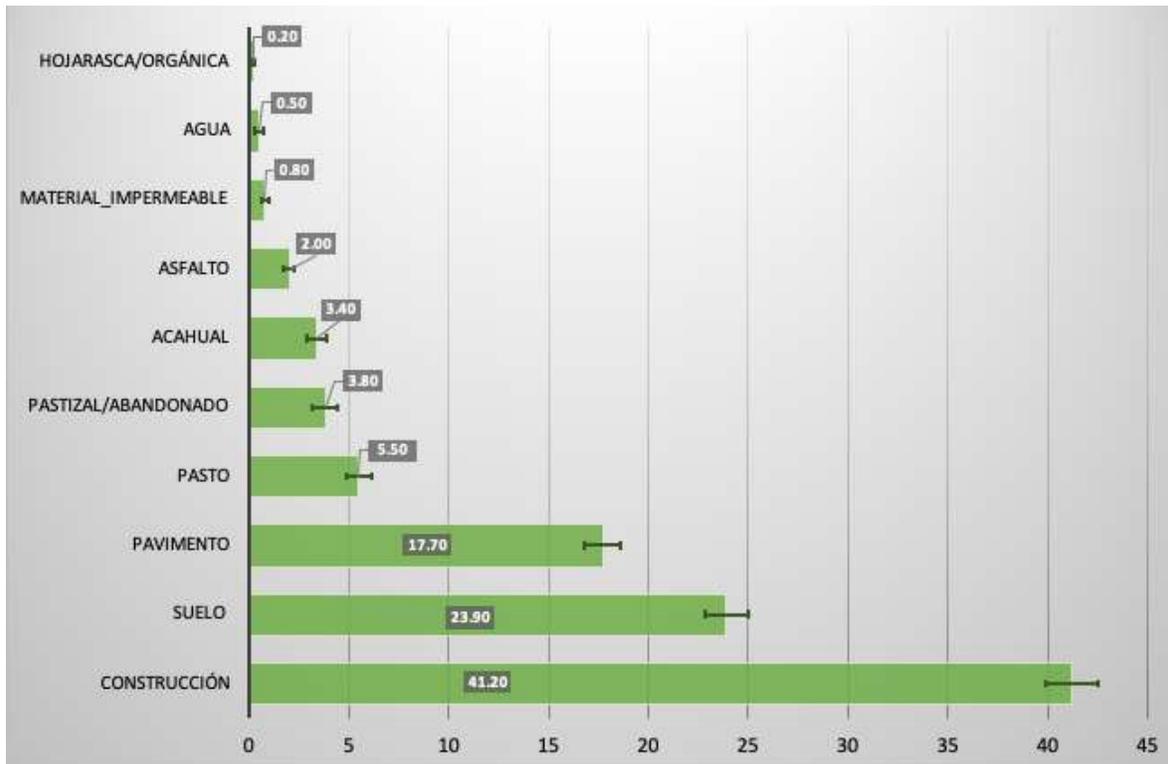


Figura III-1 Porcentaje de tipo de Uso de suelo por Zona estimado.

La categoría de “Golf” para el caso del presente inventario también incluyo campos deportivos con canchas de futbol que se encontraron en las zonas 1 (3.2% del área), zona 2 (1.9 %) y Zona 3 (2%). Como es de esperar la zona 1, de mas alto poder adquisitivo tiene el porcentaje mas alto. Algunos puntos de parcela incluso cayeron en medio de las canchas.

Por su parte la cobertura del suelo se refiere a la superficie que se encuentra en cada zona de muestreo. Por ejemplo, en una parcela ubicada en un campo deportivo clasificada como “Golf” puede tener varios tipos de cobertura de suelo como Pasto,

asfalto (de un camino o estacionamiento), o incluso cemento de una cancha. Y por otro lado se registra también la cobertura arbórea, es decir el porcentaje de la parcela cubierta por el canope o “sombra” del árbol, así como el área potencial para siembra. La distribución de tipos de cobertura para toda la ciudad fue de:



*Figura III-2 Cobertura de suelo registrada para toda la ciudad.*

La consideración mas importante de observar de la figura 3.2 es que el 60% de la cobertura es de material impermeable (construcción, pavimento y otro material) ya que esto afecta la escorrentía de agua de lluvia y tiene implicaciones sobre los costos de drenaje necesarios para su evacuación.

Las características de cada zona influyen en la distribución de las diferentes categorías de cobertura de suelo. Por ejemplo, en la zona del centro 6 no hay nada de pasto ni acahual como en las otras o como en la zona 3 donde aun existen terrenos baldíos y el 16% de la superficie tiene zonas de acahual. Tampoco es de sorprenderse que en la zona 1 de mayor poder adquisitivo exista el porcentaje de superficie de pasto mas alta de todas las zonas con casi 10%, y el menor porcentaje de suelo.

Finalmente la cobertura arbórea i-Tree la estimo en **7.7% (+/- 0.5)**, es decir la probabilidad de que el valor del promedio real de la población se encuentre entre el 8.2% y 7.2% es del 95%. Este es el tipo de lectura que debemos hacer de los datos presentados y es posible gracias al calculo del error standard (SE) que hace el modelo con los datos de las parcelas. En cuanto al área plantable potencial el valor encontrado

es de **19.6 % (+/- 1%)**, es decir entre 20.6 y 18.6%. El modelo i-Tree calcula el error standard (SE) para las muestras pero en la discusión de resultados se utilizará el



Coefficiente de variación  $(SE/\bar{x})^4$  que da una mejor idea del tamaño de la variación.

*Figura III-3 Porcentaje de cobertura por zona.*

### b. Estructura del arbolado

#### Población

La población de árboles estimada para la ciudad de León, Gto. es de **760,610 (+/- 5%)** de acuerdo con lo estimado con el modelo y las parcelas realmente medidas. Considerando que el área definida para la mancha urbana como **20,797 ha**, tenemos entonces una densidad arbórea de **36.5 árboles/ha**. Con esta información podemos ver en el cuadro 3.2 como se compara la ciudad de León con otras ciudades.

	Londres	Madrid	Toronto	Mpio. De Gdl.	Mérida, Yuc.	Playa del Carmen
Área (ha)	159,470	60,430	66,140	13,937	24,095	5,630
Parcelas	721		407	344	592	283
Ha/parcela	221		163	40	40	20
% Cob Arb.	14	26	24	7.5	21	20
# Árboles	8,421,000	5,700,000	10,200,000	585,060	2,318,000	582,775
Arb/ha	53	94	154	42	96	104

*Cuadro III-2 Comparación del recurso arbóreo de otros estudios con i-Tree ECO.*

<sup>4</sup> CV= error standard/ promedio de muestra en porcentaje.

La población y la densidad varía mucho entre zonas, como se puede ver en la figura 3.4 donde vemos que la zona 1 por su nivel económico tiene la más alta densidad y población de árboles. Por otro lado, el centro es la más desprotegida de arbolado y no solo por su superficie, de tan solo 150 ha, sino por la cantidad por hectárea. Las otras zonas se encuentran ligeramente debajo de la media.

10<sup>6</sup>

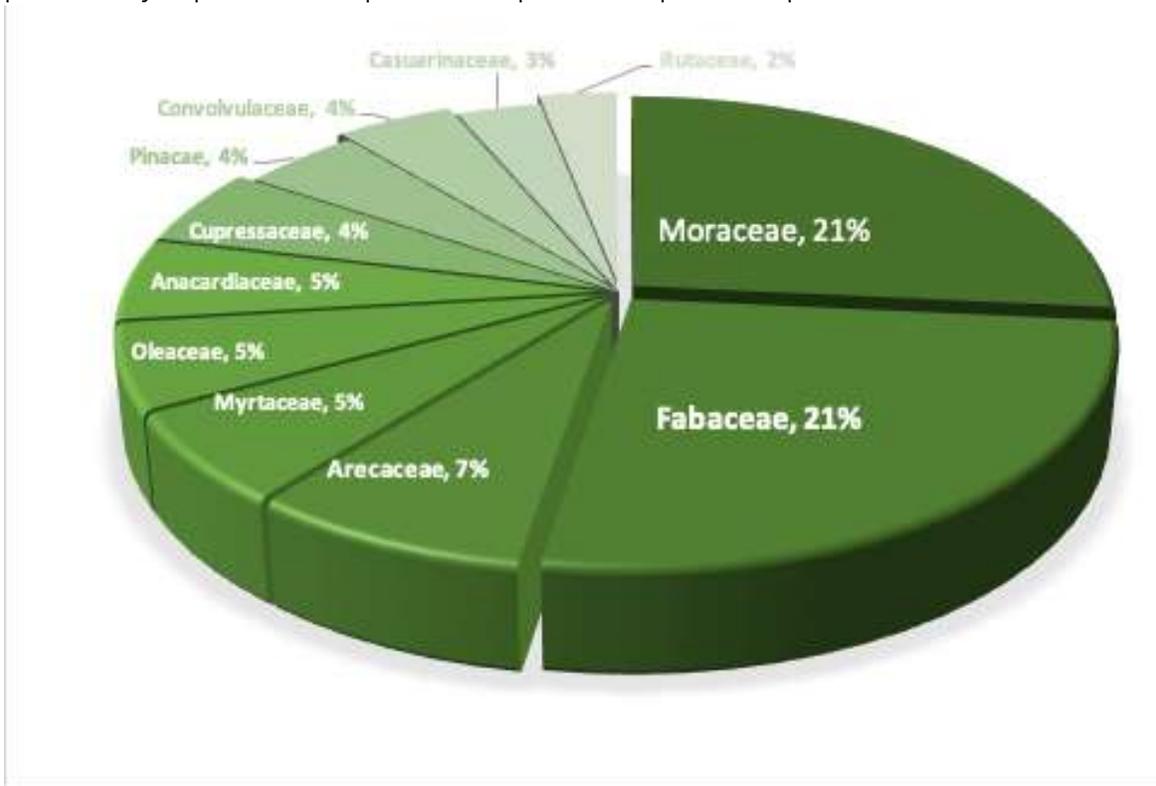


Figura III-4 Población y densidad de árboles por zona.

### Especies

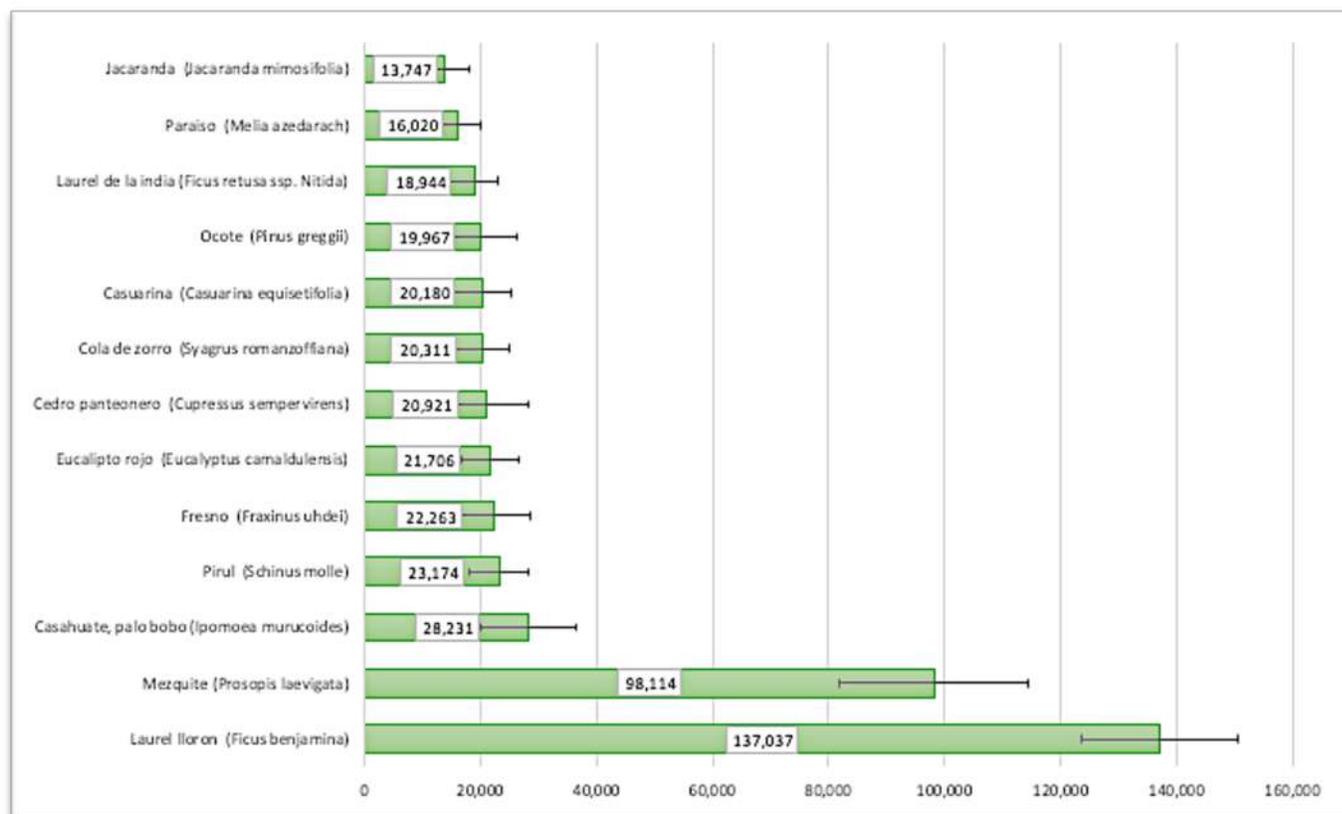
En cuanto a las especies de árboles identificadas en el inventario, se generaron 123 entradas, 103 de las cuales se identificaron a nivel especie, 18 por su género y una de la familia de las Cycadaceas, por una planta que se encontró en un jardín de un fraccionamiento, y por supuesto la Clase magnolopsida. En la clase magnolopsida, entraron especies que no se encuentran en el i-Tree (solo fueron 2), árboles que no pudieron ser identificados por estar muertos en algunos casos, y en otros por no contar con estructuras reproductivas para identificar y algunos cactus y suculentas. Cabe mencionar que esta clasificación, que en los reportes se muestra con un 3% de la población total, no tiene un impacto relevante y se omitirá de las discusiones de especie. Hay que recordar que sin embargo, todos los árboles entran en la contabilidad de servicio ambiental, incluso los muertos en el cálculo de Carbono almacenado así que desde el punto de vista de Beneficios esta clasificación no afecta el panorama general.

En cuanto a familias botánicas presentes en el inventario fueron un total de 36, sin embargo solo 11 familias cubren al 80% de individuos en la población (figura 3.5). Y por supuesto las familias de las dos especies mas comunes fueron las principales, la familia de los ficus en todos sus géneros, la familia Moraceae y la del mezquite y géneros similares la Fabaceae. En conjunto las palmas conforman la tercera familia en importancia mientras que los eucaliptos la cuarta familia. Esto es importante tenerlo en mente en el diseño de programas de reforestación y aunque estas especies no están recomendadas en la paleta vegetal que tiene el municipio, es importante considerar su presencia y la preferencia que tiene la población por las especies.



*Figura III-5 Familias presentes en el inventario.*

En el anexo 1 se listan las especies encontradas, su familia y clase así como la clave i-Tree. La clase mas representada fue la de magnolopsidas por supuesto con 95 especies seguida de las palmas o Liliopsida con 14, las Pináceas y cupresácea con 13 y la Cyca que ya se menciono. De todas las 123 especies 12 de ellas conforman el 60% de la población como se muestra en la figura 3.6 donde se muestra el número, y el error estándar calculado para cada especie. Por otro lado en los reportes que emite el i-Tree se tiene la información detallada de todas las especies y ahí es posible ver a mucho mas detalle.



**Figura III-6 Principales especies y cantidades del arbolado de León (60% de la población).**

De la lista anterior hay varias especies que es necesario considerar para sustituir por múltiples razones. Dentro de estas, están las dos especies de *Ficus*, las casuarinas, y los eucaliptos entre las especies mas relevantes a sustituir. Sin embargo, hay que tener cuidado en la implementación de programas de sustitución ya que ciertamente la distribución de las especies esta fuertemente influida por la zona por lo que la información de la figura 3.7 nos permite regionalizar las recomendaciones.

Por ejemplo, la zona con mayor diversidad de especies que conforman al 60% de la población es la zona 1 seguida de la 7 con 14 y 11 especies respectivamente. La zona de mas pobre diversidad es claramente la zona 3, con solo 3 especies conformando el 60% de la población en esa zona. En este caso no se incluyo la zona 6 o centro ya que ahí solo se encontraron *ficus* en las parcelas de muestreo. Esta información también sirve para jerarquizar trabajos y claramente después de la zona centro hay que poner especial atención a la zona 3.

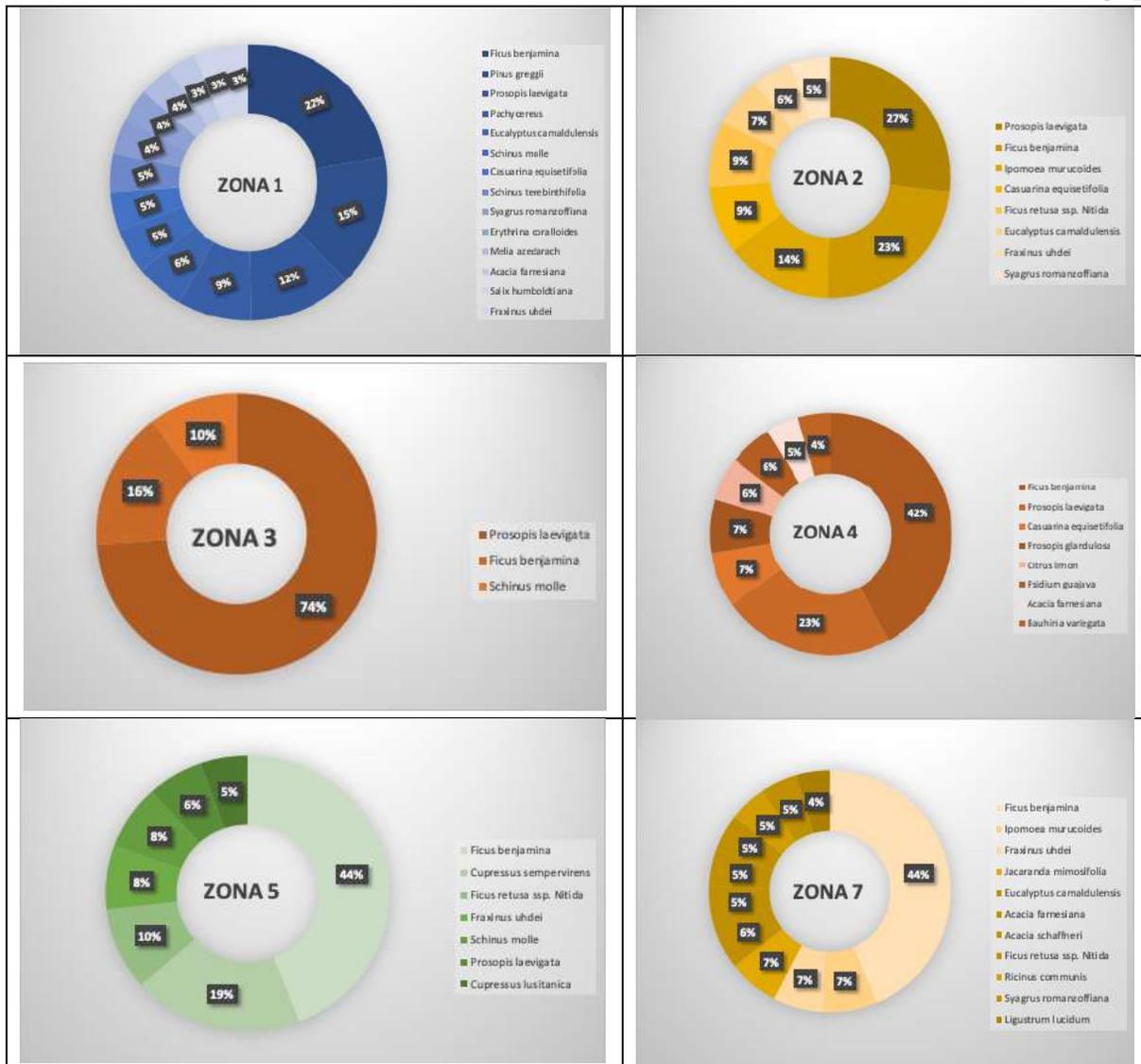


Figura III-7 Distribución de las especies que conforman el 60% de la población por Zona.

Un índice que calcula el i-Tree que nos permite jerarquizar especies por su relevancia considerando el número de individuos en la población y la cantidad de follaje dentro del total de la población, es el valor de importancia (VI). Es importante considerar el follaje ya que es un aspecto muy relevante en el servicio ambiental, debido a que todo el servicio ambiental de fijación de contaminantes y liberación de oxígeno se realiza en el follaje. En el presente inventario la figura 3.8 muestra los valores de importancia para las 13 especies con más individuos en la población, es decir con los valores más altos de VI. Comparando esta figura con la de población en realidad no hay muchas diferencias, el orden de importancia cambia un poco, debido al efecto de la especie sobre el follaje y particularmente en este caso el único cambio relevante fue que el Pirul chino aparece en la lista de las más importantes, en sustitución

del cedro panteonero debido a que la cantidad de follaje es mucho mayor aunque en individuos el Pirul chino tiene la mitad de los individuos en la población que el cedro panteonero.

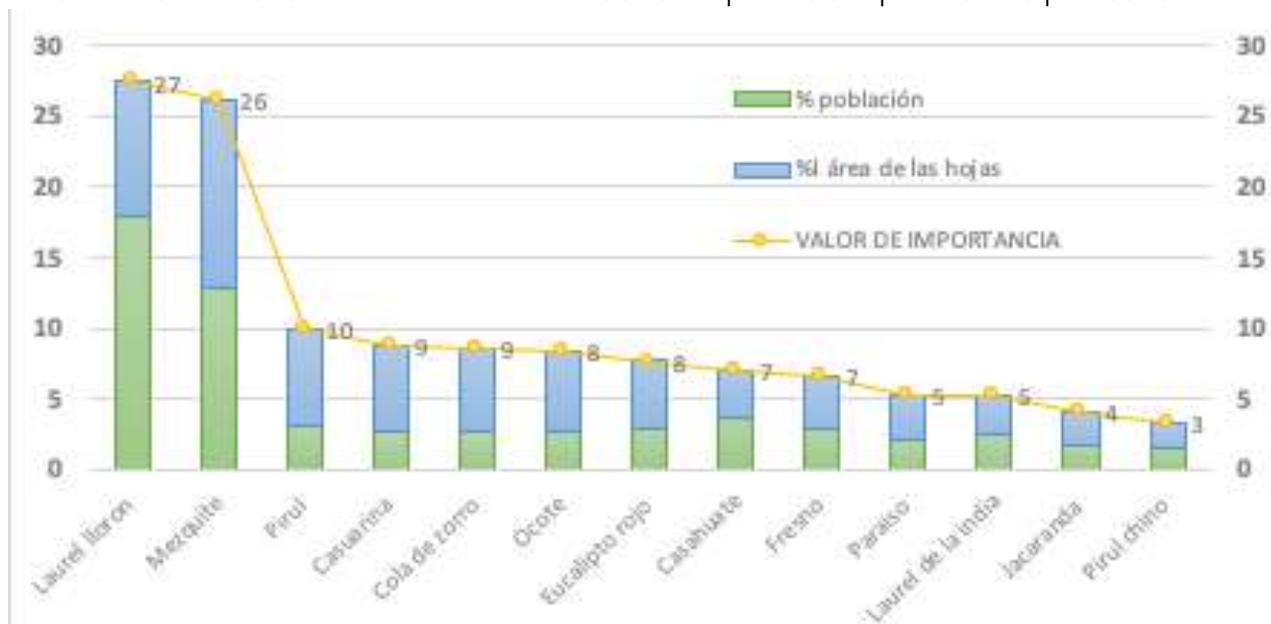


Figura III-8 Valor de importancia para las 13 especies mas importantes.

Para complementar y ratificar lo mencionado anteriormente, i-Tree calcula los índices de biodiversidad por zona que se muestran en el cuadro 3.3

Estrato	Riqueza	SPP/ha	Shannon	Menhinick	Simpson
Zona 1	80	9.60	3.70	3.90	23.70
Zona 2	45	5.50	3.20	2.70	16.20
Zona 3	44	6.30	2.70	2.80	6.50
Zona 4	35	9.80	3.00	3.40	11.40
Zona 5	41	8.40	3.00	3.60	9.40
Zona 6 Centro	1	0.80	0.00	0.30	N/A
Zona 7	63	5.30	3.30	3.30	11.60
<b>Área de estudio</b>	<b>122</b>	<b>2.70</b>	<b>3.70</b>	<b>3.10</b>	<b>16.40</b>

Riqueza: es el número de especies muestreado en cada estrato o ciudad (p. ej., riqueza de las especies)

SPP/ha: es el número de especies que se encuentra por hectárea del área muestreada

Shannon: es el índice de diversidad Shannon-Wiener

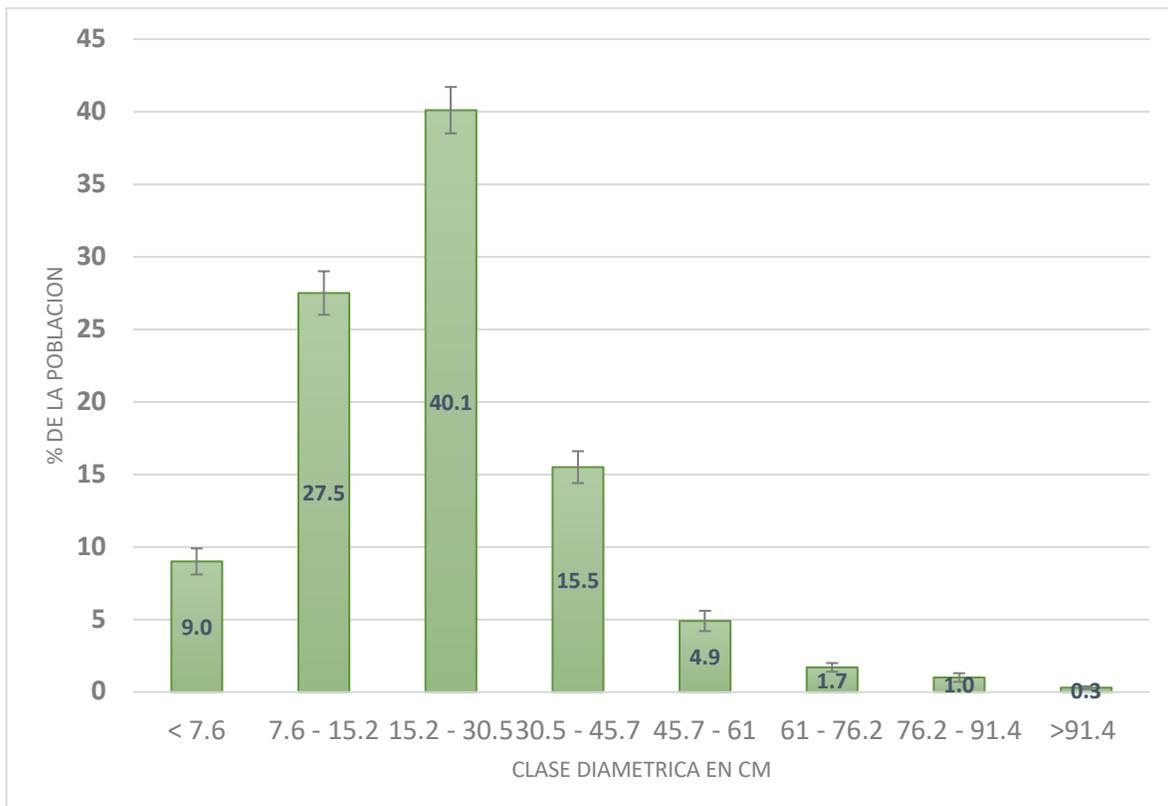
Menhinick: es el índice de diversidad de Menhinick

Simpson: es el índice de diversidad de Simpson

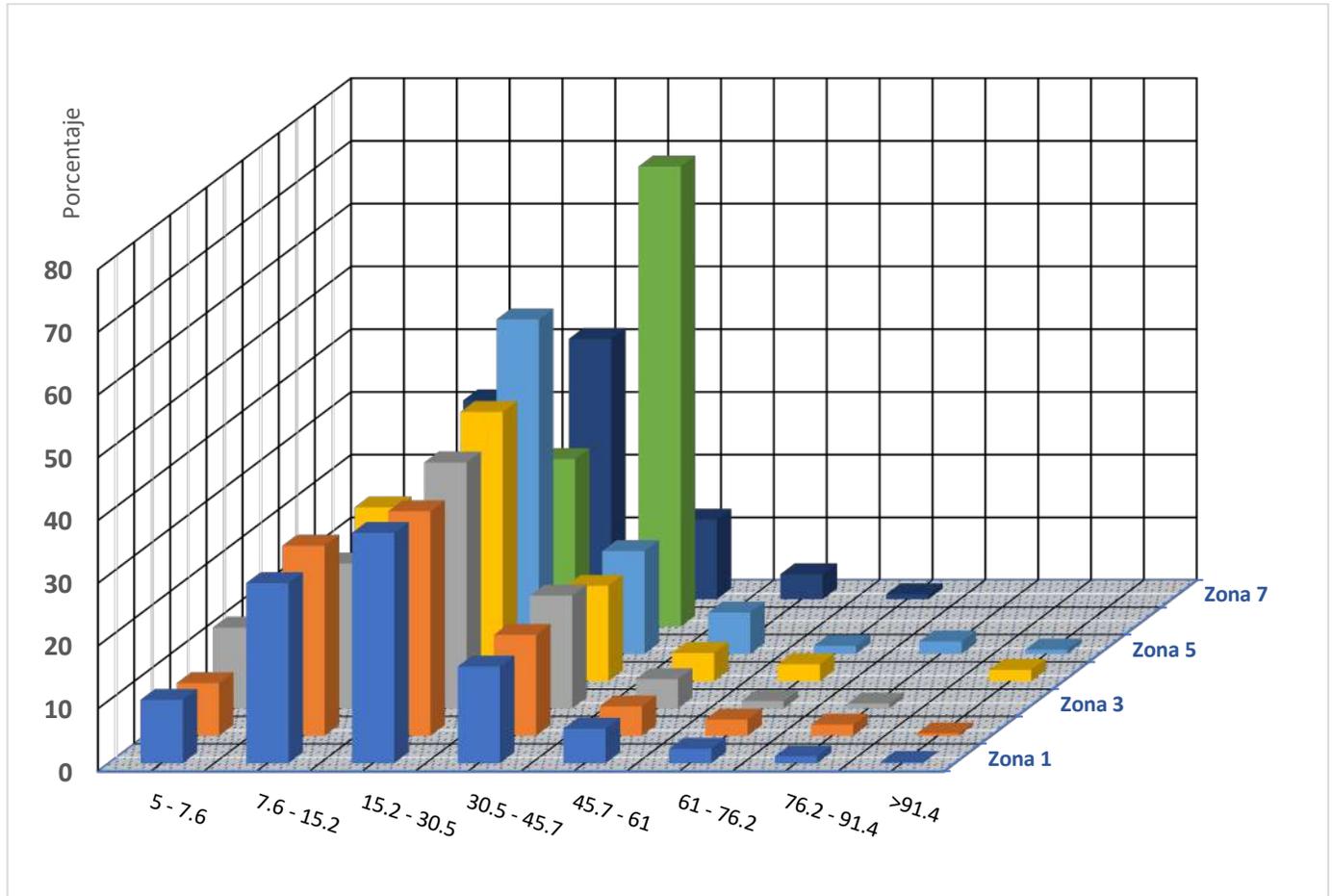
Cuadro III-3 Índices de diversidad calculados por zona en i-Tree.

### Condición del arbolado

La condición del arbolado se estima en función al tamaño de los árboles, su condición y finalmente su situación externa (sanidad y estado entre otros). El parámetro que se utiliza mas como indicador de tamaño es el diámetro a la altura de pecho (DAP tomado a 1.3 m aproximadamente), este parámetro es el mas utilizado como predictor de la altura y biomasa de los árboles en ecuaciones alométricas. Hay que recordar que en el presente inventario se midieron arboles arriba de 5 cm de diámetro, ya que los muy chicos no contribuyen aun al servicio ambiental y la probabilidad de sobrevivencia es baja y por lo tanto no llegan a formar parte de la población. La figura 3.9 muestra la distribución de la población de árboles en León en función a su clase diamétrica. En esta gráfica se observa que 2/3 partes de la población se encuentran entre los 7.6 y 30 cm de diámetro. También se observa que la cantidad de árboles grandes es decir mayor a 50 cm de diámetro son muy pocos ya que no llega ni al 10 % de la población. Este factor como veremos influye mucho el servicio ambiental general ya que esta documentado que los árboles grandes tienen un servicio ambiental exponencialmente mayor que los chicos. Es decir un árbol de 80 cm de diámetro puede llegar a tener 10 veces mas servicio ambiental que uno de 40 cm por eso en ciudades con pocos árboles pero grandes el servicio ambiental que proveen es muy alto, como en Londres.



*Figura III-9 Distribución de la población por clase diamétrica (cm).*



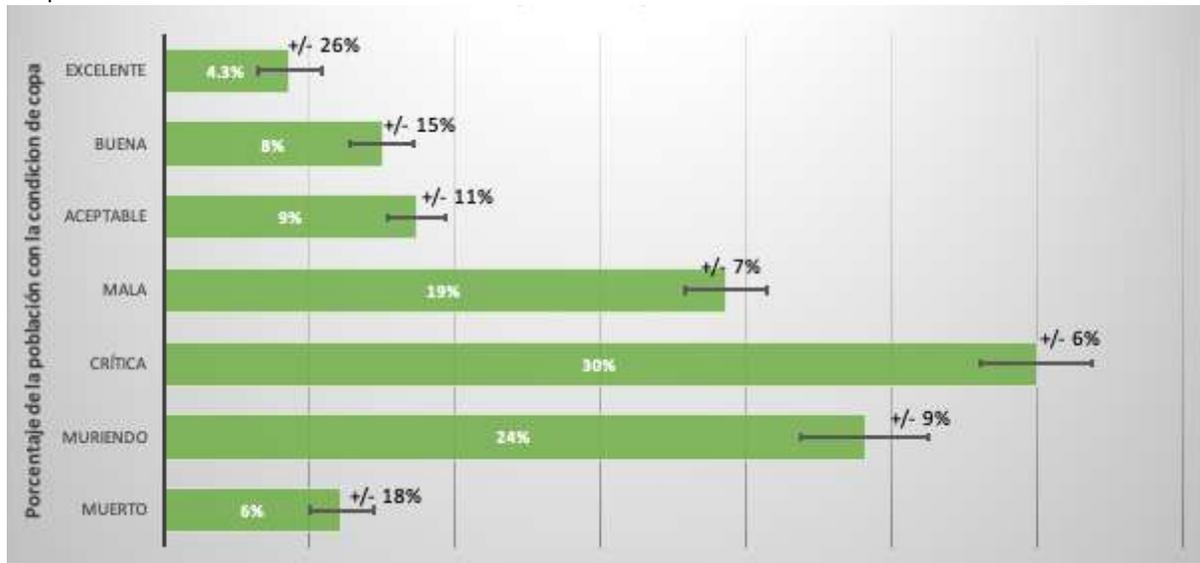
*Figura III-10 Distribución de clases dimétricos por zona.*

Como en los casos que hemos analizado de población y especie, el tamaño de los árboles varía según la zona, aunque en este caso no tanto como los anteriores. El comportamiento de DAP dentro de cada zona es muy similar, salvo en la zona 6 donde claramente la clase 30-45 es la que tiene el mayor número de individuos, seguramente es por tener los árboles más viejos, y cuidados, aunque en cantidades reducidas, incluso solo se encontraron dos clases diamétricas en existencia en esta zona. Por su parte la zona 5 presenta tener mayor cantidad de árboles grandes que las demás a pesar de que la mayoría de los árboles están en la clase 15-30 cm. Finalmente la zona 7 es la que tiene la mayor concentración de individuos de su población en los estratos de 5-30 cm de diámetro.

#### *Condición de copa*

El siguiente parámetro dasométrico a analizar es la condición de la copa medida con la escala de 22 categorías establecida en la metodología. Es importante tener claro que el follaje en la copa es determinante para el servicio ambiental ya que como se mencionó, es aquí donde se llevan a cabo todos los procesos de fijación de contaminantes y producción de oxígeno además de ser la fuente de energía para el crecimiento y salud del árbol. La figura 3.11 muestra el

promedio general con sus coeficientes de variación para las 7 categorías de condición de copa en la población de árboles de León, Gto.



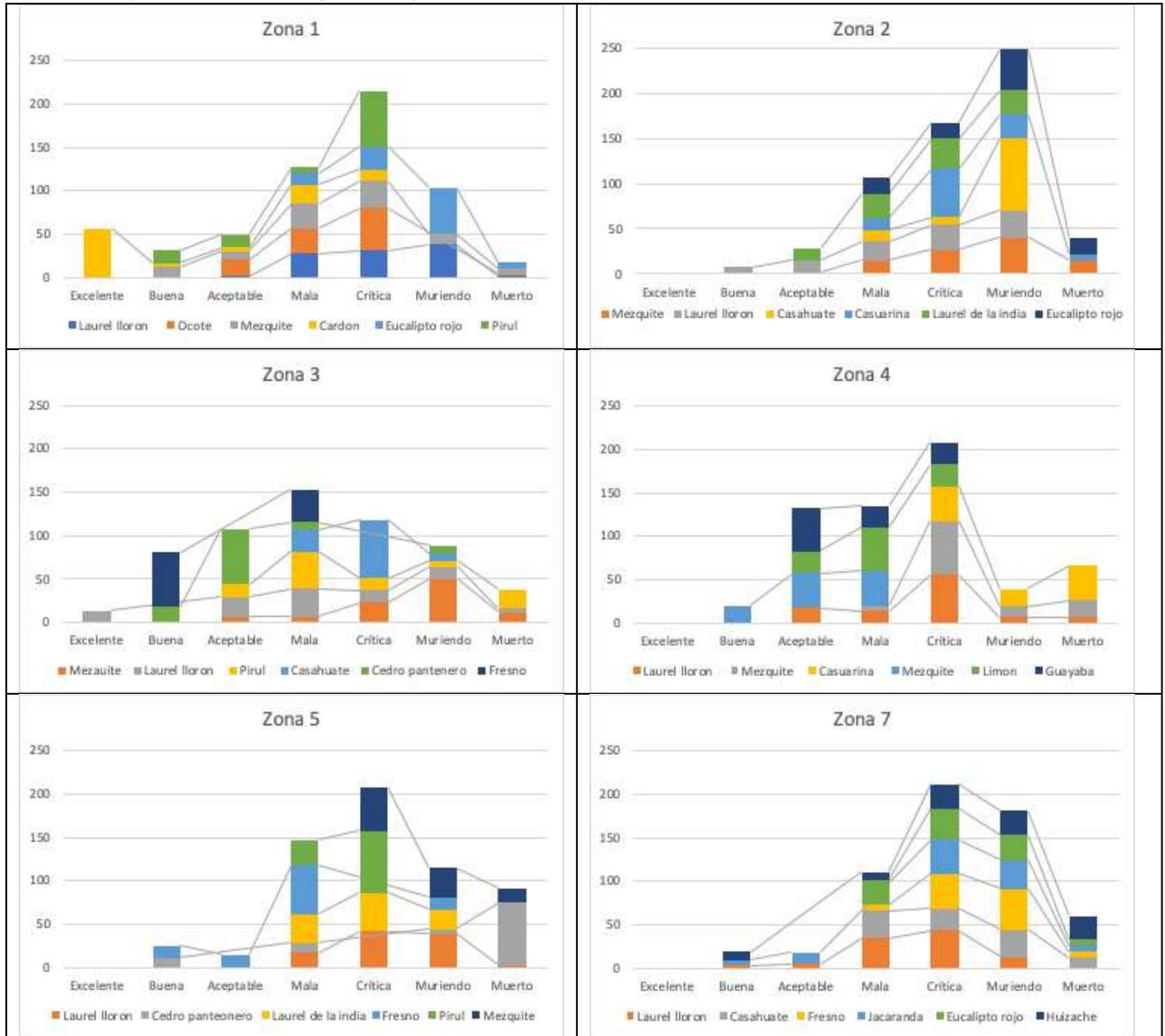
*Figura III-11 Condición de copa de la población total de árboles.*

De esta figura se observa que dos terceras partes de la población tienen follaje en condiciones precarias (crítico, muriendo y sin follaje o muerto). La cantidad de árboles muertos es alta ya que 6% de población es equivalente a 45,636 individuos, que por su condición es posible suponer que son árboles de riesgo, pero sobretodo el problema es que ocupan un espacio que podría ser utilizado por un árbol vivo. Los CV calculados son razonables en el sentido que la variación del valor del porcentaje de cada categoría se encuentra en un rango pequeño, es decir, los árboles con copa crítica que representan el 30% de la población tienen un rango de 28-32% como el rango con mayor probabilidad de la media real de población este en el.

Para dar una mejor idea del impacto de la condición de copa en la capacidad de proporcionar servicio ambiental, en el anexo 02 se presenta un comparativo entre 3 árboles de Jacaranda con diferentes estados de copa, y si bien el tamaño del árbol impacta, esto sirve también para mostrar porque los árboles grandes son importantes. La implicación de este hecho es que hay que darles mantenimiento adecuado a los árboles que se tienen para que lleguen a su máximo potencial de tamaño ya que como se puede ver con los datos del anexo 02, un árbol grande realiza hasta 200 veces más servicio ambiental que uno pequeño con mal follaje, a pesar de solo tener 7 veces más DAP. Mientras que la diferencia entre un chico y mediano es de solo 10 veces.

La división en zonas de la ciudad se basó en áreas establecidas por el departamento de obra pública para el control de varios tipos de mantenimiento. Por lo tanto, para apoyar en la planeación del mantenimiento de arbolado la figura 3.12 muestra el comportamiento de las principales 6 especies en cada zona, es decir las primeras 6 de lista de población de especies por número de cada zona. En esta figura se ve claramente que las principales especies de la

zona 2 son las que están en peores condiciones de copa de todas. Es la zona con mas especies muriendo y con menos copas aceptables.



**Figura III-12 Condición de copa de las principales 6 especies por zona.**

Por su parte la Zona 1 muestra una distribución mas uniforme de las condiciones de sus árboles así como la 3. Y las zonas 4,5 y 7 están mas sesgadas hacia copas en malas condiciones. Es importante notar que el Cedro panteonero de la zona 5 se encuentra casi todo muerto, valdría la pena realizar un análisis mas a fondo de las razones de este hecho, lo mismo que las casuarinas de la zona 4. La zona 6 no se incluyo en los gráficos ya que solo se encontró la especie laurel lloron (*Ficus benjamina*) con la mayoría en condiciones criticas entre otras cosas por estar podados por razones estéticas, lo que hace que a la copa se le califique en malas condiciones ya que la poda elimina follaje y entonces nunca tiene la copa que corresponde al

tallos. Las condiciones de copa de cada especie en cada zona se pueden ver en el reporte del i-Tree "Condición de los árboles por estrato y especie".

*Índice de desempeño relativo (IDR)*

Otro índice que calcula el i-Tree para indicar el desempeño de las especies es el Índice de Desempeño Relativo (IDR o RPI Relative Performance Index en inglés), que se basa en la condición de copa de la especie en relación a las demás. Como todo índice no tiene unidades es relativo al comportamiento de las demás especies en el inventario. Este índice indica cuáles especies tienen mayor cantidad de individuos en mejores condiciones de copa. Entre mayor el índice más individuos tiene la especie en las categorías superiores de condición de copa, es decir copas aceptables, buenas y excelente. El siguiente cuadro muestra los IDR para las 20 principales especies por número y las 20 con mayor IDR. Como se podrá observar las palmas y cactus tienen los mejores índices y esto se debe a su follaje está en mejores condiciones y salió mejor calificado que otras especies.

Principales Especies	IDR	.	Especie	IDR mas alto
Laurel lloron	0.94	1	Palma rubelina	2.26
Mezquite	0.63	2	Plátano	2.26
Casahuate	0.61	3	Árbol lápiz	2.26
Pirul	0.96	4	Nopal de tuna	2.26
Latifoliadas	0.85	5	Pitaya	2.26
Fresno	0.92	6	Palmera de Senegal	2.24
Eucalipto rojo	0.61	7	Cyca	2.2
Cedro panteonero	1.05	8	Palma real	2.18
Cola de zorro	1.91	9	Papaya	2.11
Casuarina	0.8	10	Palma Kerpis	2.08
Ocote	1.16	11	Tuya occidental	2.08
Laurel de la india	0.84	12	Yucca	2.08
Paraíso	0.88	13	Palma areca	2.08
Jacaranda	0.67	14	Palma cocotera	2
Limón	1.21	15	Sangre libanesa	1.96
Cardón	1.88	16	Pata de elefante	1.94
Pirul chino	0.77	17	Flor de mayo	1.91
Huizache	0.7	18	Sauce	1.9
Higuerilla	1.27	19	Washingtonia	1.84
Huizache chino	0.76	20	Gigante	1.81

*Cuadro III-4 Índice de desempeño relativo de las principales especies y las 20 especies con mejor IDR.*

### Canope y biomasa del arbolado

Otros indicadores de tamaño y condición de los árboles son el área foliar (AF), medido en unidades de área (m<sup>2</sup> o ha), la biomasa del follaje (BF) y la biomasa del árbol o peso seco (PS) en toneladas. Entre mayores sean las cantidades mejor estarán los árboles, debido a que contarán con mas follaje para realizar la fotosíntesis.

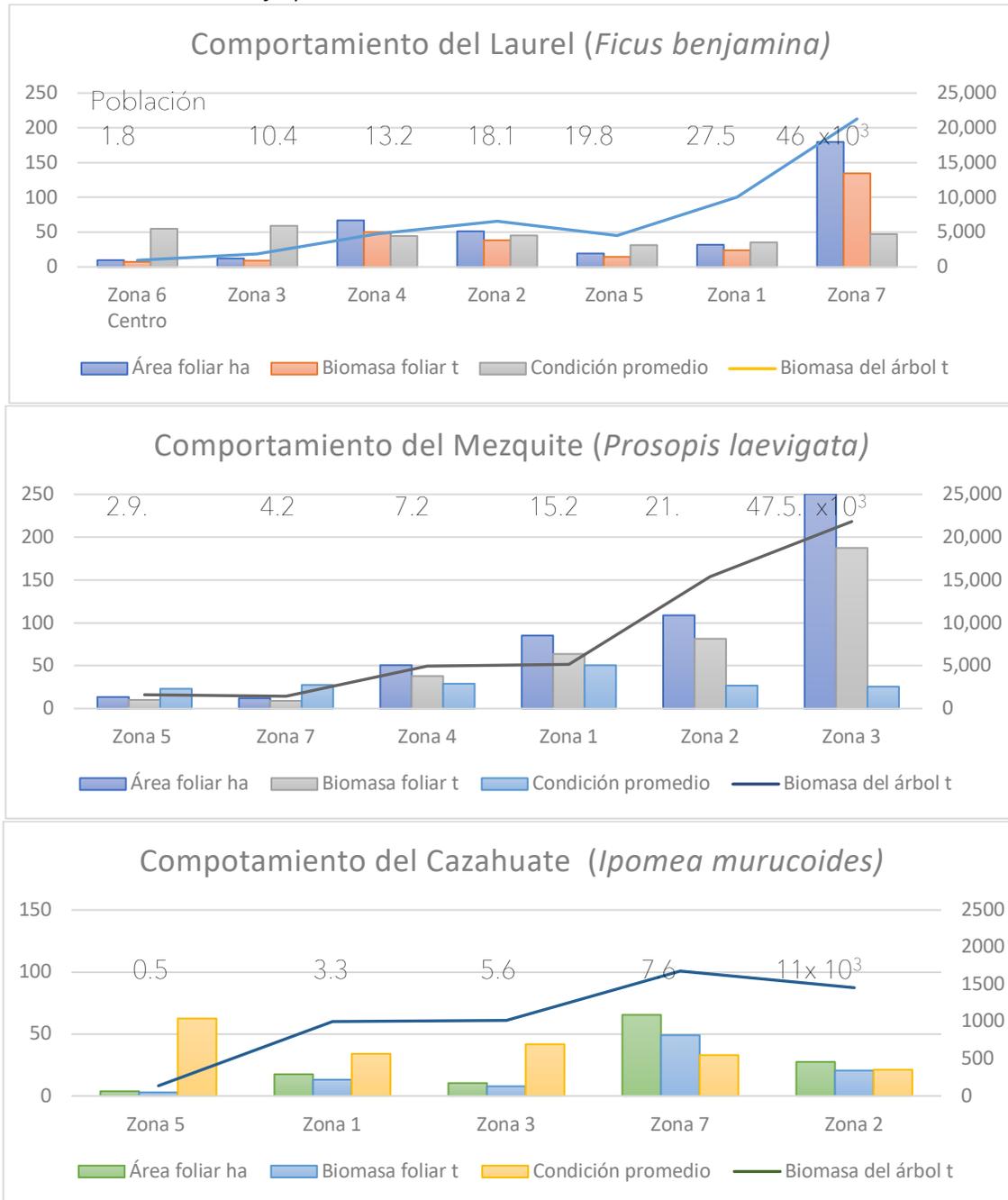


Figura III-13 Comportamiento de las principales especies por cantidad por zona.

El presente análisis es posible realizarlo en todas las especies del inventario, para efecto de discusión se seleccionaron solo las 3 especies con mayor número de individuos y dado que las cifras expresadas en la figura 3.13 son brutas para toda la zona, se incluyó la población de cada especie (en miles) por zona para tener la perspectiva correcta. Por ejemplo, en el caso del laurel, la zona 7 (pob.  $46 \times 10^3$ ) es donde están los valores más altos pero es debido a la población que es entre 2 y 4 veces mayor que las otras, a excepción de la 6 que es 24 veces mayor (1,884). Sin embargo, si es posible realizar comparativos entre zonas por ejemplo entre la zona 6 y 3 hay una diferencia en población de 5.7 veces (1.8 vs 10.4) pero el área foliar y la biomasa son muy parecidas lo que indica que los árboles de Laurel en la zona 3 son más chicos que los de la 6. Mientras tanto en la zona 2 hay menos árboles que en la 5 pero tanto el AF como la BF son del doble indicando que en la zona 2 los laureles están en mejores condiciones. Finalmente cabe aclarar que en la zona 1 tiene casi el doble de individuos que de las zonas 4 y 2 pero la cantidad de AF y BF es apenas un 60% de estas zonas, aunque esto puede ser debido a que en la zona 1 se mantengan muy podados los laureles por fines estéticos.

En cuanto al Mezquite se pueden realizar comparaciones similares, entre las zonas 5 y 7 hay un 50% de diferencia en número de individuos sin embargo el AF, BF y PS es mayor en la zona 5 con menos población. Luego la zona 1 tiene el doble que la zona 4 pero no así en ninguno de los parámetros mencionados. Finalmente entre la zona 2 y 3 los parámetros aumentan de acuerdo a la población aunque el promedio de condición de copa es el mismo y es la mitad de la zona 1 indicando que los árboles no tienen el mismo cuidado en estas zonas. En el caso del Cazahuate, la zona 7 muestra una población con los mejores árboles en términos de AF, BF y PS arriba de la zona 2 y muy por arriba de las demás.

#### *Origen de las especies*

El i-Tree realiza un análisis del rango de origen de las especies que se hayan registrado en el levantamiento de datos. El cuadro 3.5 indica que el mayor porcentaje de las especies viene de Asia y Australia, debido a los eucaliptos, y al género *Ficus* que su origen mayormente es Asia.

<b>Estrato</b>	<b>Africa</b>	<b>Africa &amp; Asia</b>	<b>Africa &amp; Australia</b>	<b>Asia</b>	<b>Asia &amp; Australia</b>	<b>Australia</b>	<b>Europa</b>
Zona 1	0.70	1.70	0.20	8.10	19.00	5.90	0.50
Zona 2	1.50	0.80	2.30	5.40	23.10	6.90	
Zona 3	0.40	2.10	1.30	3.40	12.90	3.90	0.40
Zona 4	1.00	1.00	2.90	11.5	31.70	1.90	1.00
Zona 5	0.80		0.80	6.10	31.80	3.00	1.50
Zona 6					100.00		
Zona 7	1.70	3.10	1.40	9.70	31.80	5.60	
<b>Área de estudio</b>	<b>1.10</b>	<b>1.70</b>	<b>1.20</b>	<b>7.30</b>	<b>24.00</b>	<b>5.20</b>	<b>0.40</b>

	Europa & Asia +	Norte America	N America +	N & S America	N & S America +	Sur America	Desconocido
Zona 1	3.10	22.60	0.70	14.50	2.40	10.00	10.70
Zona 2	6.20	10.40	0.40	25.40	1.20	8.10	8.50
Zona 3	4.70	10.30	0.90	45.50		10.30	3.90
Zona 4	3.80	13.50	1.00	17.30	4.80	2.90	5.80
Zona 5	4.50	16.70	3.00	7.60	3.00	12.90	8.30
Zona 7	1.10	16.20	0.30	10.00	0.60	9.20	9.50
<b>Área de estudio</b>	<b>3.50</b>	<b>15.90</b>	<b>0.80</b>	<b>19.60</b>	<b>1.60</b>	<b>9.30</b>	<b>8.40</b>

El símbolo '+' indica que la especie es originaria de otro continente que no aparece en la lista de continentes de la agrupación. Por ejemplo, Europa & Asia + indicaría que la especie es originaria de Europa, de Asia y de otro continente más.

#### *Cuadro III-5 Lugar de origen de las especies por zona.*

Es importante conocer esta información para el diseño de programas de reforestación ya que nos indica el origen de grupos de especies y también nos indica las zonas que mas cantidad de especies no nativas tiene como el caso de las zonas 4 y 5 donde un tercio de población viene de Australia y Asia.

#### **Manejo requerido del arbolado**

El arbolado urbano por lo general esta en condiciones de stress por el medio ambiente donde se desarrolla por efecto del aire, suelo, humedad disponible y el manejo que se le de o que NO se le de, por ejemplo por cuestiones sanitarias, mecánicas y climáticas. Por esto, es importante conocer las necesidades y estatus de los árboles para planear un mejor aprovechamiento y lograr los máximos beneficios.

Mantenimiento recomendado	Conteo de árboles	CV	% de árboles
1. Control Sanitario	114,918	14.2%	14.9%
2. Corrección de arquitectura	40,025	15.1%	5.2%
3. Mejorar Sitio	477,678	6.5%	61.9%
4. Riesgo Remoción	42,864	19.8%	5.6%
5. Sustituir/rejuvenecer	78,524	13.3%	10.2%
<b>Total</b>	<b>754,009</b>		<b>97.8%</b>

*Cuadro III-6 Mantenimiento recomendado a mediano plazo para el arbolado de León.*

Se establecieron 5 categorías generales de trabajos que se recomienda realizar en los árboles para que estos puedan desarrollarse al máximo. El cuadro 3.5 presenta lo definido como requerido realizar en el arbolado para mejorar y la principal labor a mediano plazo es trabajar en la mejora del sitio. Esto implica, aflojar, integrar materia orgánica, permitir un mayor drenaje, correcciones de sustrato y fertilizar los árboles, entre las más importantes. En segunda instancia vienen las labores sanitarias como control de muérdago, plagas y enfermedades y finalmente existen al menos un 10% de la población en condiciones que requieren ser sustituidos o rejuvenecidos (fig. 3.14). Esta última cifra es alta ya que implica un rejuvenecimiento/sustitución de más de 70,000 árboles que en todo caso hay que cambiar por árboles nuevos y esta cifra presupuestal y prácticamente es muy difícil de alcanzar.



Figura III-14 Mezquite Parcela 226.

Tarea prioritaria	Conteo de árboles	CV	% de árboles
Adicionar mulch	4,730	34.4%	0.6%
Airear suelo	24,008	24.6%	3.1%
Curar heridas	2,355	66.1%	0.3%
Derribo CON sustitución	96,172	13.8%	12.5%
Derribo SIN sustitución	16,290	42.0%	2.1%
Fertilizar	257,379	8.4%	33.3%
Limpiar basura	11,775	28.9%	1.5%
Monitorear Riesgo	131,634	15.6%	17.1%
Patología, entomología	2,792	62.6%	0.4%
Poda de Aclareo	1,890	49.9%	0.2%
Poda de elevación de copa	455	100.0%	0.1%
Poda de reducción de altura	16,611	24.5%	2.2%
Poda de reducción lateral	17,907	21.9%	2.3%
Poda estructural	6,101	29.4%	0.8%
Poda sanitaria o de limpieza	62,904	13.0%	8.1%
Reducir Pavimento	71,788	12.6%	9.3%
Regar	17,363	22.8%	2.2%
Transplante	945	70.7%	0.1%
<b>Total</b>	<b>743,099</b>		<b>96.2%</b>

Cuadro III-7 Labores prioritarias para realizar en menos de un año en el arbolado de León.



Figura III-15 Eucalipto parcela 127.

Del total de la población al 96.2% se le determinó una labor prioritaria cuyo criterio básicamente es que son labores a realizar en menos de un año para que el árbol se encuentre en buenas condiciones. La principal labor señalada es la aplicación de fertilizante en un tercio de la población ya que seguramente se identificaron limitaciones o deficiencias. En segundo lugar y este factor hay que tenerlo mucho en cuenta, sobretodo con la presencia de vientos fuertes y si estos árboles están en lugares públicos como parques ya que pueden causar daño a la población y es el trabajo de monitoreo de riesgo que se requiere llevar a cabo en un 17% de la población. En tercera instancia tenemos una vez más derribos con sustitución como el eucalipto de la parcela 127 (fig. 3.15) que además tiene una alta infestación de *Psittacanthus calyculatus* y ya estaba muerto, aunque no estamos seguros de la causa, pero es un árbol que hay que remover.

Por otro lado, las podas de corrección de arquitectura en conjunto suman que son requeridas en el 13.4% de la población y van desde las podas sanitarias o de limpieza hasta las estructurales. De hecho las sanitarias son las que se requieren en 8.1% y esto se debe a la presencia de muérdago en el arbolado.

Categoría de Grado de Daño	Conteo de árboles	CV	% de árboles	Categoría de Agente Causal	Conteo de árboles.	CV.	% de árboles.
Incipiente < 10%	192,766	8%	25.0	1 Climático	33,160	31%	4.30
BAJO 10-30% del árbol	75,936	10%	9.8	2 Otros Cal/mecánico, etc.	294,447	7%	38.10
MEDIO 30-50% del árbol	104,936	12%	13.6	3 Enfermedad por hongo o bacteria	4,704	37%	0.60
ALTO 50-70% del árbol	40,972	21%	5.3	4 Plaga de insecto	7,558	44%	1.00
MUY ALTO >70%	111,444	12%	14.4	5 Parásito muérdago otra especie	29,099	28%	3.80
	<b>526,054</b>		<b>68.1</b>	6 Phoradendron spp	30,347	20%	3.90
				7 Psittacanthus calyculatus	38,085	28%	4.90
					<b>437,400</b>		<b>56.6</b>

Cuadro III-8 Grado de daño y agente causal detectado en el arbolado de León.

En lo que se refiere al aspecto sanitario del arbolado, se determino que el 68% de la población tiene algún grado de daño, un 20% alto y muy alto que hay que planear atender. Y por otro lado un 25% tiene un grado incipiente, de hecho la razón por la que la cantidad de árboles no concuerda con el agente causal es porque a veces el daño era tan incipiente que no se podía determinar el agente; eran daños en las hojas como por sequia o granizo que no se pudo asignar a una causa en específico.

Sobre los agentes causales el principal daño es por otras razones que no son bióticas, es decir daños mecánicos como podas excesivas y mal hechas como se puede ver en el siguiente durazno de la parcela 395 (fig. 3.16). De los agentes bióticos que afectan los árboles los muérdagos son los principales con un 12.6% de la población atacado como causante principal es el *Psittacanthus calyculatus* con un 20% mas que el *Phoradendron* y otros no identificados. El 70% de los árboles muestreados con daño de muérdago lo presentaron grado medio, alto y muy alto. Esto es particularmente grave ya que estos árboles son focos de infección y diseminación de los parásitos lo que pone en grave riesgo a todo el arbolado. Sobre todo si tomamos en cuenta que la susceptibilidad se incrementa con el stress que tenga un árbol, y como hemos visto las condiciones y situación del arbolado de León en general son de stress alto a muy alto.

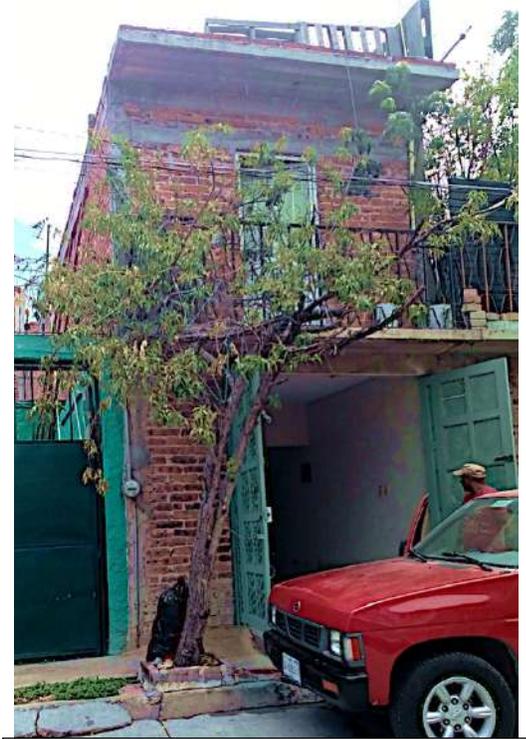


Figura III-16 Durazno parcela 395.



Figura III-17 Jacaranda en parcela 94 con infestación muy alta de *Phoradendron*.



Por otro lado, el análisis de conflictos del arbolado con aceras y otros servicios (agua pero principalmente cableado de energía) se muestrea en el cuadro 3.8. En el caso de las aceras claramente solo un 40% de la población de arboles se encuentra en la vía pública sobre aceras y en este caso se identifico si la acera cumplía la norma, es decir si era de mas de 60 cm o no además de evaluar el grado de daño del árbol en la acera dentro de 3 categorías.

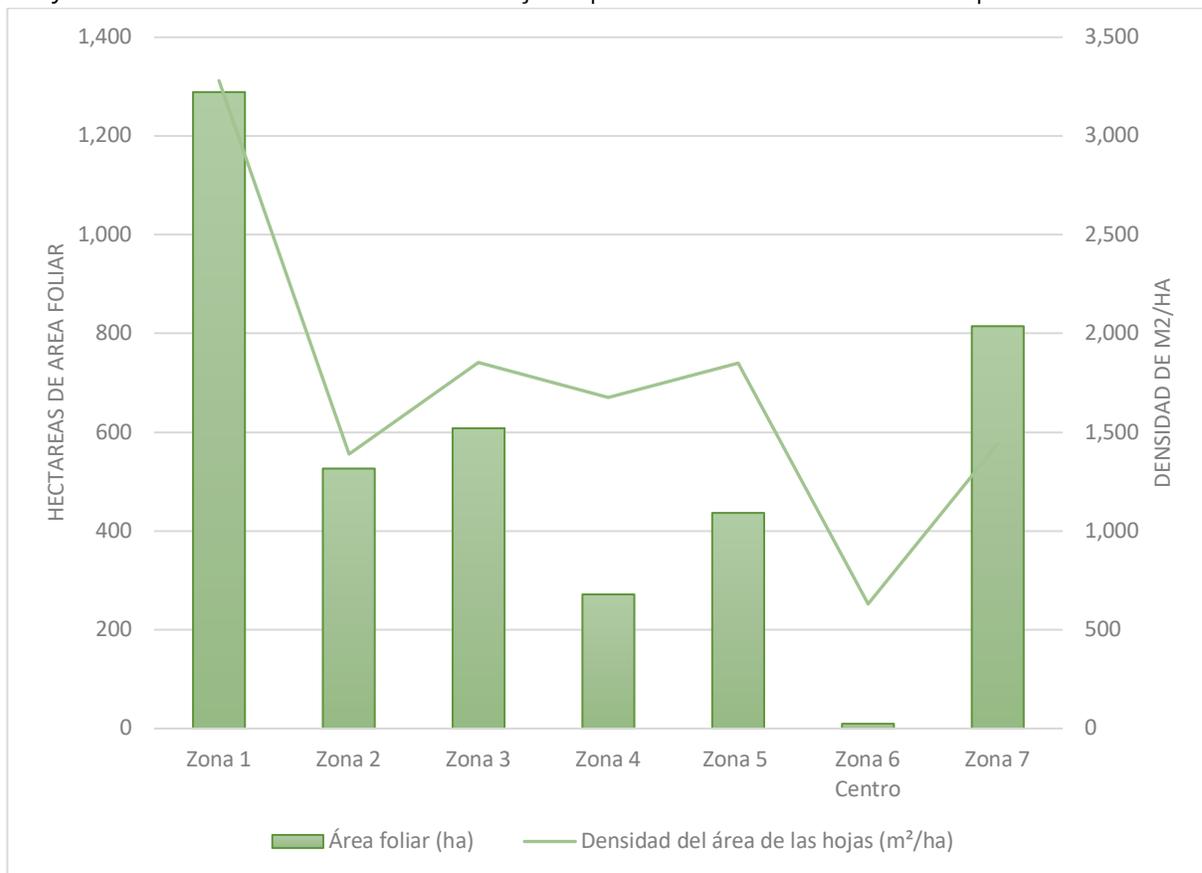
Desplazamiento de la acera	Conteo de árboles	CV	% de árboles	Conflictos con servicios	Conteo de árboles.	CV.	% de árboles.
Daño GRAVE en aceras BAJO norma	944	70%	0.10%	Hay servicios EN conflicto	58,765	14%	7.6%
Daño GRAVE en aceras FUERA de nom	16,972	24%	2.20%	Hay servicios pero sin peligro potencial	76,775	11%	9.9%
Daño PARCIAL en aceras BAJO nom	3,051	37%	0.40%	Sin problemas con líneas	471,804	7%	61.1%
Daño PARCIAL en aceras FUERA de nom	88,322	11%	11.40%				
SIN Daño en aceras BAJO de nom	99,719	17%	12.90%				
SIN Daño en aceras FUERA de norma	105,766	10%	13.70%				
<b>Total</b>	<b>314,774</b>		<b>40.7%</b>		<b>607,344</b>		<b>78.6%</b>

*Cuadro III-9 Conflictos con acera y servicios del arbolado de León.*

En cuanto a la norma resulta que existen el doble de arboles en aceras sin el tamaño indicado en la norma (27%) que los que si lo están (13%). En cuanto al daño a la acera afortunadamente la mayoría del arbolado no muestra daño, sin embargo el porcentaje que si lo muestra entre parcial y grave sigue siendo alto porque es del 14% y que va a requerir inversión para reparar la banqueta.

## IV. Servicios Ambientales

La principal ventaja que tiene el i-Tree sobre otros programas computacionales para hacer inventarios forestales es precisamente la de contar con las ecuaciones alométricas para transformar la información descriptiva de los árboles en cantidades de servicio ambiental. Particularmente en este capítulo nos referiremos a los servicios ecológicos mencionados en el cuadro 1.1 de la introducción. Y ya con una idea general de como se encuentra la población de árboles de la ciudad podemos entender por ejemplo porque la Zona 01 tiene mejor servicio ambiental por parte del arbolado que las demás. La mayor densidad de arboles 52.7 abr./ha y la muy superior cantidad de follaje de la zona 01, como se observa en la figura 4.1, expresado en área foliar y densidad de follaje por unidad de superficie explica porque tiene 60% mas de AF y mas del doble de densidad de hojas a pesar de ser 43% mas chica que la zona 7.

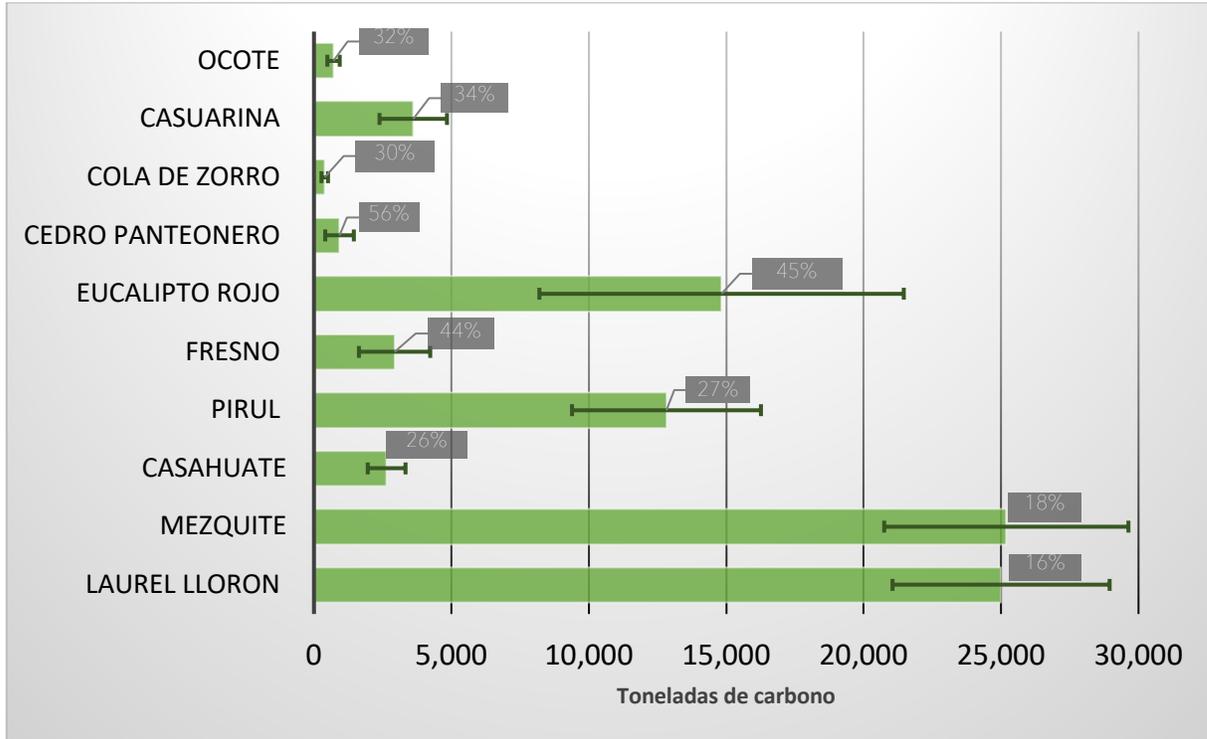


*Figura IV-1 Follaje por zona del arbolado de León.*

El primer factor a analizar será el relacionado al carbono, el carbono es fijado en el árbol a través de la fotosíntesis de las hojas y luego almacenado como lignina en la madera. Es por esto que el follaje, su cantidad y calidad es muy importante en la capacidad de proporcionar un servicio ambiental.

### a. Carbono

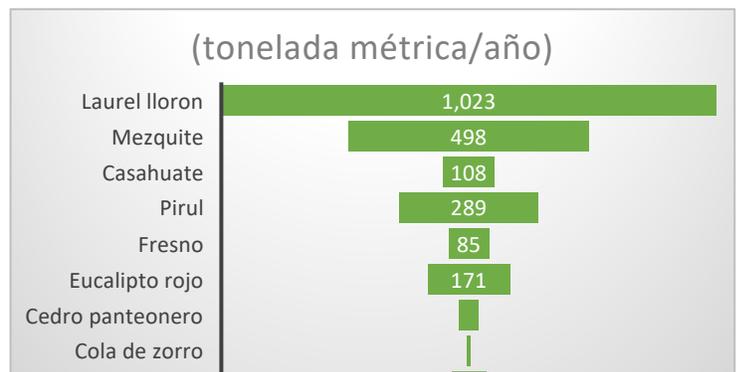
En cuanto al carbono existen dos parámetros que calcula el modelo de i-Tree, primero es el cálculo del carbono almacenado en la madera para lo cual el tamaño del árbol (DAP y altura) y la especie tienen mucho que ver y luego los demás parámetros como exposición a la luz y la calidad del follaje apoyan en el cálculo de la capacidad de secuestro anual de carbón.



*Figura IV-2 Carbono almacenado y su CV en las 10 principales especies del arbolado de León, Gto.*

En cuanto a carbono almacenado el efecto de la especie es relacionado con el tipo y sobretodo con la densidad de la madera. La madera de mezquite es muy densa y por eso en términos de toneladas a pesar de tener 40% menos individuos que el laurel, tiene capturada prácticamente la misma cantidad que este último. En ese orden lo mismo sucede con el pirul y el eucalipto rojo con respecto a las otras especies. Y por lo mismo la cola de zorro tiene muy poco carbono almacenado, ya que las palmas en realidad no tienen madera y el almacenamiento de carbono es mucho menor que en los árboles latifoliados.

Las mismas especies de la figura 4.2 se muestran en la 4.3 para su capacidad de secuestro anual de C. En este caso el follaje y la calidad del mismo tienen más impacto en la capacidad anual de secuestro.



*Figura IV-3 Capacidad de secuestro de C de las principales especies.*

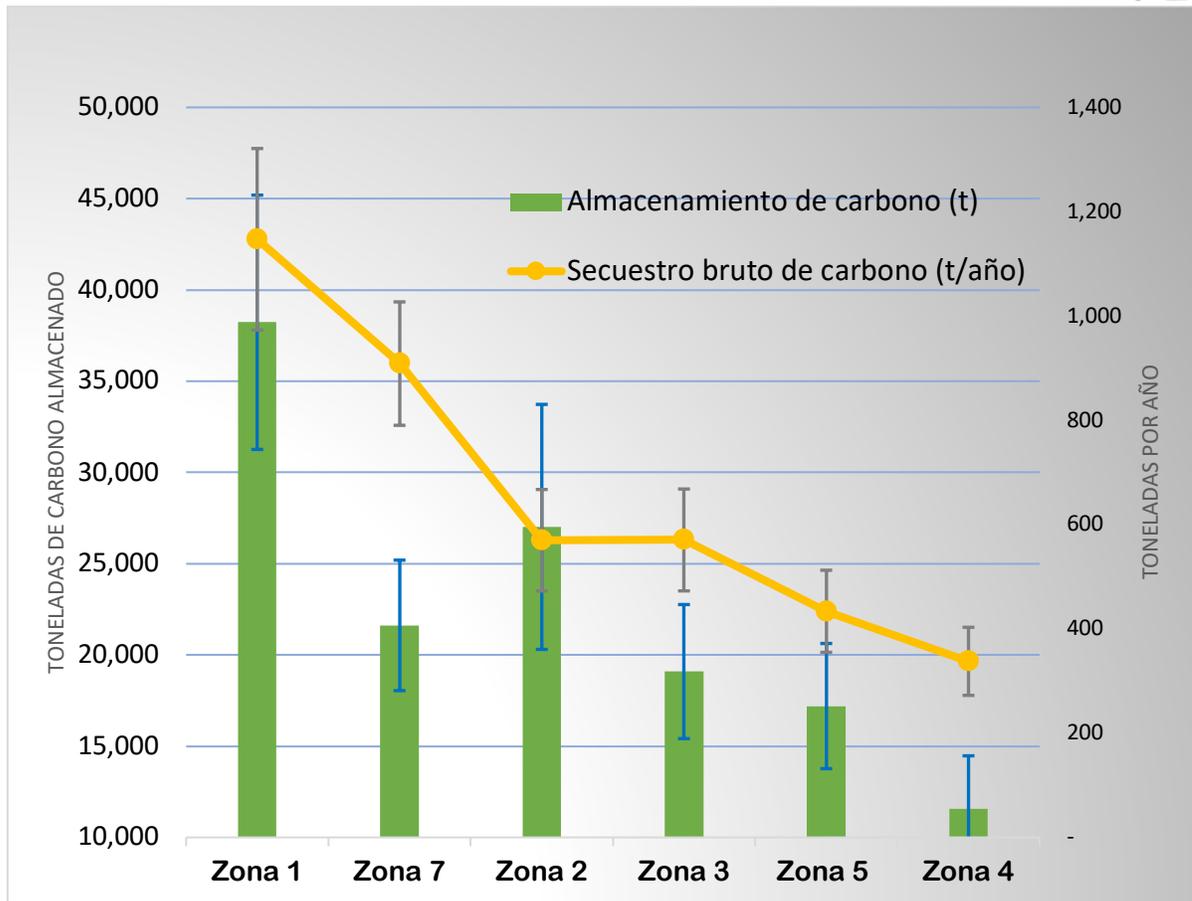


Figura IV-4 Servicio ambiental por Carbono para cada zona de León, Gto.

Así como la especie tiene impacto sobre el SA relacionado con carbono, las diferentes zonas de la ciudad, por su efecto en las condiciones del arbolado afectan al SA que se lleva a cabo por los árboles. La figura 4.4 muestra en orden ascendente por población, excluyendo la zona 6 por ser demasiado chica, el SA por ambos conceptos de carbono; almacenamiento y secuestro de C por zona. Cabe aclarar que el i-Tree expresa el SA en términos de carbono y no dióxido de carbono o CO<sub>2</sub> pero las cantidades son interconvertibles con el factor de 3.66, es decir por cada tonelada de C atómico son 3.66 t de CO<sub>2</sub> por el efecto del peso del oxígeno.

Como se observa en la figura 4.4 el SA no sigue el comportamiento de la población de árboles, es decir la zona 7 que tiene la segunda población mas alta de árboles tiene un SA muy debajo de su potencial. Esto se debe a las condiciones de los árboles, especies y todo lo relacionado con la composición y estructura. Por este motivo es importante realizar labores de mantenimiento, selección adecuada de especies y cuidado del arbolado para lograr el mayor beneficio potencial que pueden proporcionar los árboles. En el anexo 03 se presentan las gráficas de SA por especie dentro de cada zona para analizar el comportamiento de cada una, lo que nos permite evaluar y planear acciones de corrección y manejo para tener un mayor impacto.

Estrato	Secuestro neto de carbono (t/año)	Producción de oxígeno (t/año)	Densidad de la producción de oxígeno (kg/año/ha)
Zona 1	-855	-2,280	-580
Zona 2	-1,316	-3,510	-926
Zona 3	-127	-340	-104
Zona 4	-200	-533	-329
Zona 5	-193	-514	-218
Zona 6	23	61	403
Zona 7	289	770	136

Cuadro IV-1 Secuestro Neto de C y producción de O<sub>2</sub>.

mucho menos CO<sub>2</sub> del que fija durante el día. De acuerdo a los cálculos del modelo i-Tree las poblaciones de las zonas 1 a 5 tienen un secuestro neto negativo, es decir los árboles en estas zonas no producen suficiente fotosíntesis e incluso están consumiendo sus reservas y liberan más CO<sub>2</sub> del que fijan. Como consecuencia también la producción de oxígeno no existe e incluso consumen más O<sub>2</sub> del que producen, dando origen a los números negativos.

Las implicaciones prácticas de estos hechos, es que nos indican que el arbolado se encuentra en un estado senescente, y/o tiene un follaje en malas condiciones que no le permite realizar una fotosíntesis que absorba más CO<sub>2</sub> del que se libera por las noches. Por otro lado un análisis a mayor detalle muestra que el problema es con las siguientes especies:

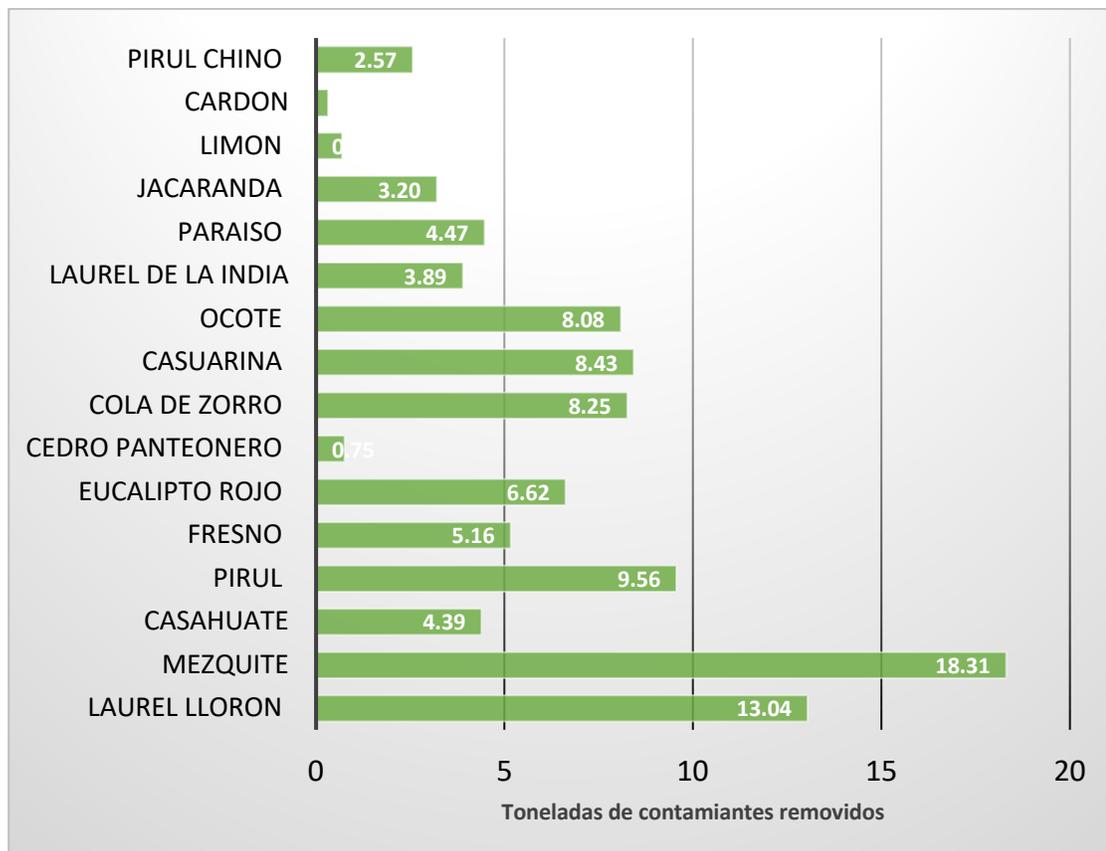
Especies	Sec. neto de C (t/año)
Eucalipto spp	-1,559
Jacaranda	-396
Pirul	-386
Mezquite	-380
Colorin	-156
Casuarina	-140
Cedro pan.	-109
Grevillea	-79

Cuadro IV-2 Secuestro Neto C por especie

Estas 9 especies, ya que en el caso del eucalipto son 2, juntas emiten un 86% de los -3,732 t/año de C, en forma de CO<sub>2</sub>, que son regresados a la atmósfera por todo el arbolado de León. Revisando las especies tenemos que los eucaliptos desde el ataque del Psílido que causaba mucho daño a las hojas no se alcanzó a recuperar y hoy en día se encuentra en muy malas condiciones. Este mismo fenómeno se presentó en el Municipio de Guadalajara en el inventario realizado en el 2018 (De la Concha, H., y Sube, J.L., 2018) donde se encontró que los *Ficus benjamina* o laureles y los eucaliptos, mostraron un secuestro neto negativo por lo viejo de la mayoría de los árboles indicando que su sustitución es inminente por ser árboles de riesgo y por no estar proporcionando ningún SA. Otros árboles también con secuestros netos negativos fueron el Galeana y el guaje.

### b. Eliminación de contaminantes.

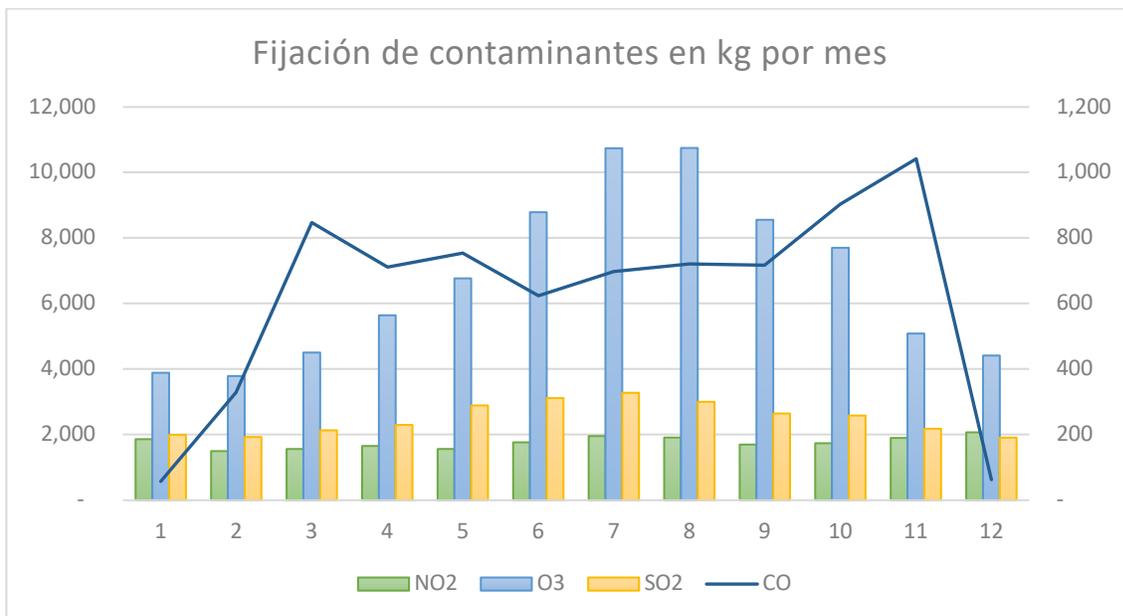
La remoción de contaminantes es uno de los SA más importantes que tienen los árboles ya que tienen un impacto directo a la salud, particularmente la fijación de las PM<sub>2.5</sub> que son partículas que afectan al tracto respiratorio. En términos generales la capacidad de retiro de contaminantes sigue de cerca comportamiento de la población, es decir las zonas donde se lleva a cabo una mayor eliminación son las que tienen la mayor población de árboles, la zona 1 elimina el 32% de las 139 t que se retiran cada año, mientras que la zona 4 solo un 7% (figura 4.6). En términos de especies se muestra algo similar, aunque en este caso la morfología de las hojas juega un papel muy importante. Como el caso del mezquite, que por sus hojas pequeñas presenta una superficie de contacto muy superior a las demás especies, tiene la mayor capacidad de eliminación de contaminantes, 40% superior al laurel a pesar de tener un 30% menos individuos que este. En este sentido el mezquite por este motivo suma un criterio muy importante para su selección como especie a reforestar y consecuentemente el Cedro panteonero resta para su caso puntos por su pobre desempeño en este SA.



*Figura IV-5 Especies mas importantes por población y su remoción de contaminantes*

Otro reporte que genera el i-Tree para analizar el comportamiento del SA de eliminación de contaminantes es el de ["Eliminación de la contaminación por los árboles y matorrales -](#)

Eliminación mensual” en este reporte vemos como se lleva a cabo la fijación de los contaminantes registrados y procesados por el programa. El reporte incluye valores máximos, mínimos y el valor en pesos mexicanos de este SA. La figura 4.6 muestra gráficamente esta información, y en ella podemos ver que el contaminante mas eliminado es el ozono, seguido de los sulfatos. Además se ve claramente que para estos dos contaminantes las fechas de mas fijación son las temporadas de agua donde por lo mismo los árboles están desarrollando mas follaje y de ahí el incremento de fijación. Así mismo, cuando los árboles pierden hojas (caducifolias) en invierno la absorción y eliminación de contaminantes, sobre todo el monóxido de carbono tiene sus puntos mas bajos.

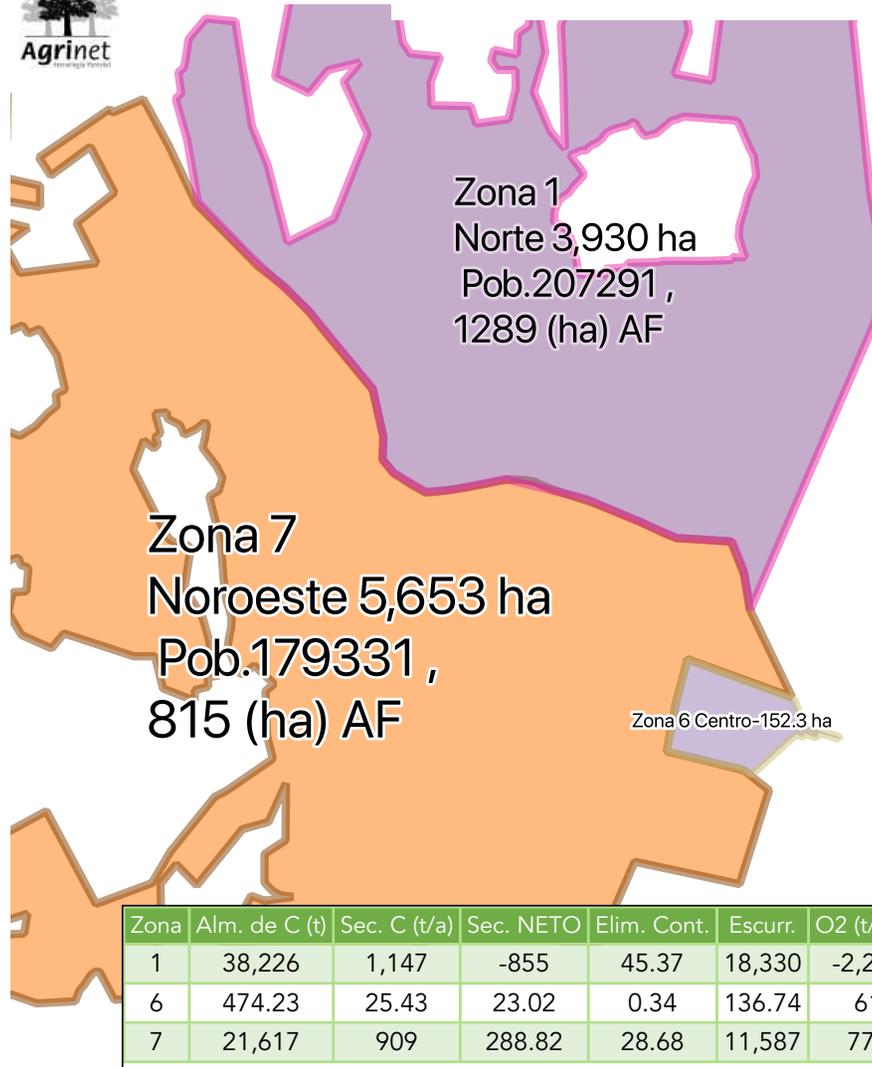


**Figura IV-6 Fijación mensual de contaminantes en kilogramos.**

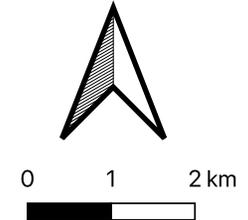
Otro punto importante de esta gráfica es que no se encuentra registrada la fijación de  $PM_{2.5}$  y esto es muy importante ya que como se menciona anteriormente este contaminante tiene efectos muy relevantes en la salud y en otros estudios este SA es el mejor pagado de todos, es decir el que proporcionalmente aporta mas valor al total de beneficios anuales mas que cualquier contaminante. La razón por la cual no se calculo puede ser a que, como se puede ver en los metadatos del proyecto, las  $PM_{2.5}$  son un contaminante que no están registrando las estaciones y no se cuenta con los datos. En los metadatos se indica que solo una de las 4 estaciones los registra y por lo tanto no existe suficiente información.



Figura IV-7 Resumen de SA por zona.



Beneficio Ambiental de las Zonas 1, 6 y 7

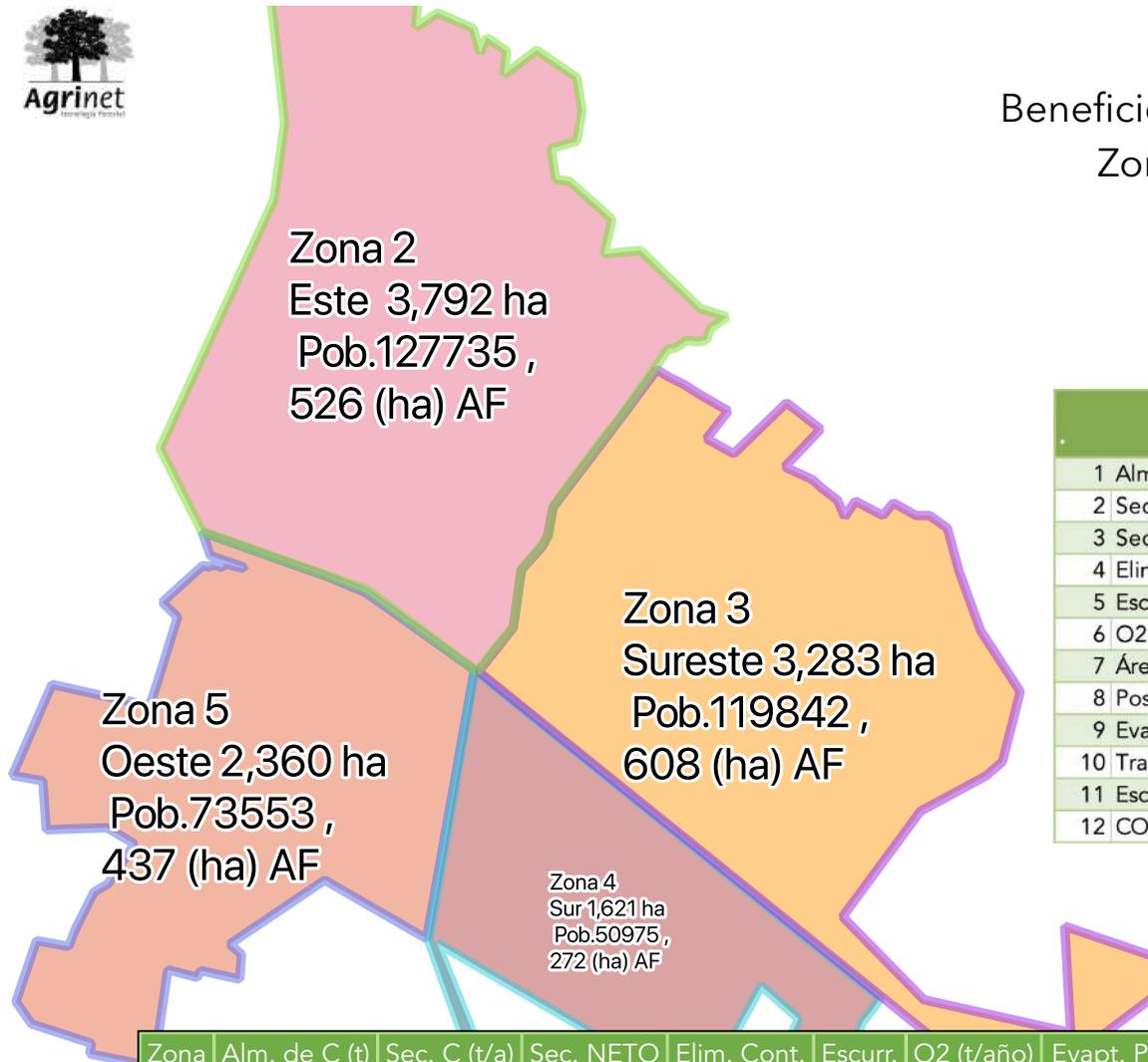
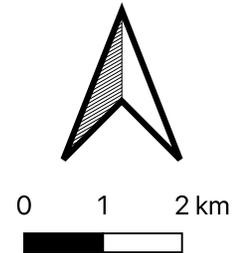


Concepto (unidad)	Total de la Ciudad
1 Almacenamiento de carbono (t)	135,174
2 Secuestro bruto de carbono (t/año)	3,993
3 Secuestro neto de carbono (t/año)	-2,379
4 Eliminación de la contaminación (t)	139
5 Escurrimiento evitado (m³/año)	56,260
6 O2 (tonelada métrica/año)	-6,346
7 Área foliar (ha)	3,957
8 Posible evapotranspiración (m³/año)	7,932,095
9 Evaporación (m³/año)	366,739
10 Transpiración (m³/año)	3,954,785
11 Escurrimiento evitado (m³/año)	56,260
12 COV totales (kg/año)	87,270

Zona	Alm. de C (t)	Sec. C (t/a)	Sec. NETO	Elim. Cont.	Ecurr.	O2 (t/año)	Evapt. Pos	Evaporacion	Transpiracion	COV total
1	38,226	1,147	-855	45.37	18,330	-2,280	2,584,307	119,485	1,288,484	36,727
6	474.23	25.43	23.02	0.34	136.74	61	19,279	891	9,612	189
7	21,617	909	288.82	28.68	11,587	770	1,633,696	75,534	814,529	19,081



## Beneficio Ambiental de las Zonas 2, 3, 4 y 5

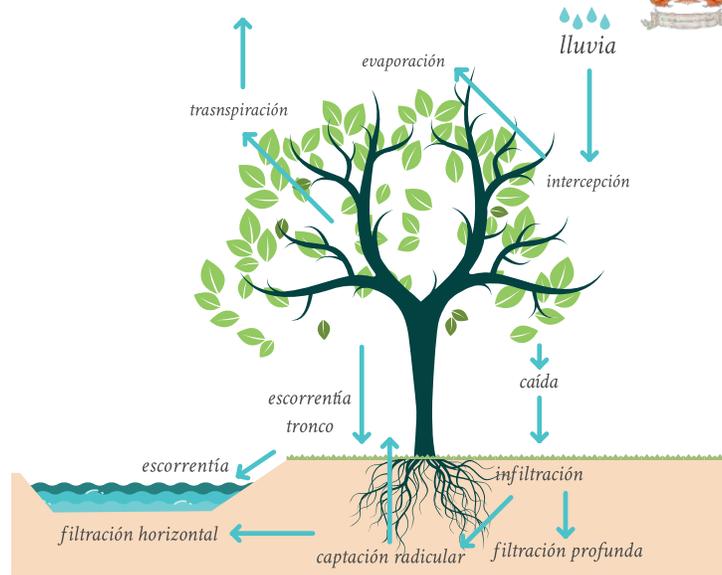


Concepto (unidad)	Total de la Ciudad
1 Almacenamiento de carbono (t)	135,174
2 Secuestro bruto de carbono (t/año)	3,993
3 Secuestro neto de carbono (t/año)	-2,379
4 Eliminación de la contaminación (t)	139
5 Ecurrimiento evitado (m³/año)	56,260
6 O2 (tonelada métrica/año)	-6,346
7 Área foliar (ha)	3,957
8 Posible evapotranspiración (m³/año)	7,932,095
9 Evaporación (m³/año)	366,739
10 Transpiración (m³/año)	3,954,785
11 Ecurrimiento evitado (m³/año)	56,260
12 COV totales (kg/año)	87,270

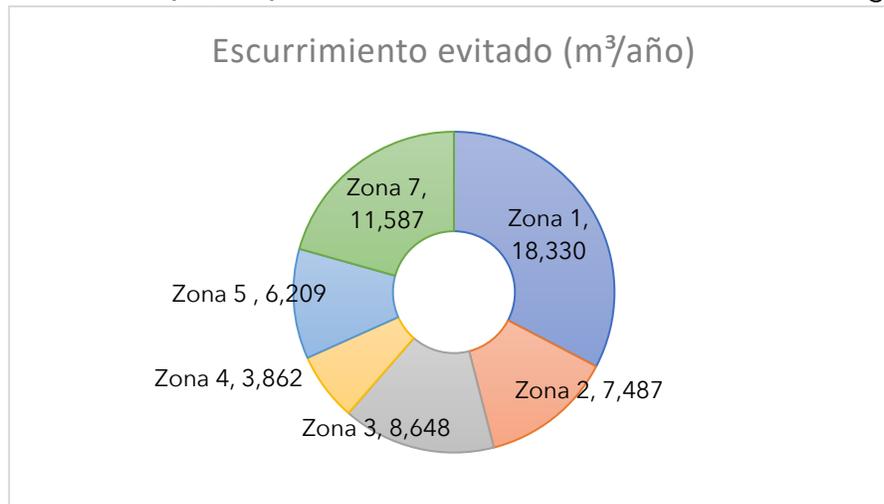
Zona	Alm. de C (t)	Sec. C (t/a)	Sec. NETO	Elim. Cont.	Ecurr.	O2 (t/año)	Evapt. Pos	Evaporacion	Transpiracion	COV total
2	27,015	570	-1316.13	18.53	7,487	-3,510	1,055,607	48,806	526,305	13,827
3	19,085	570	-127.36	21.41	8,648	-340	1,219,279	56,373	607,908	6,751
4	11,561	338	-199.78	9.56	3,862	-533	544,497	25,175	271,475	4,730
5	17,196	434	-192.81	15.37	6,209	-514	875,430	40,475	436,472	5,965

### c. Incremento en infiltración

El SA de incremento en infiltración se refiere al efecto que tienen los árboles en reducir el drenaje de agua pluvial al favorecer la infiltración en primera instancia y al interceptar y reducir la velocidad de caída del agua a las superficies impermeables que constituyen los macizos de cemento y asfalto en las ciudades. La siguiente figura ilustra muy claramente el efecto de los árboles en la disminución de la escorrentía.



El impacto económico es en la reducción de la infraestructura necesaria para desalojar aguas pluviales y también en reducir la contaminación al reducir el arrastre que eventualmente termina en lagos o reservorios donde descargan las aguas pluviales de la ciudad. La cantidad total registrada para la ciudad fue de **56,261 (m<sup>3</sup>/año)** dividida entre las zonas de acuerdo con la figura 4.5.



*Figura IV-8 Metros<sup>3</sup> de escorrentía evitada por los arbolados de cada zona de León, Gto.*

En el caso de este SA, la zona 3 que es mas chica que la 2 y tiene 6% menos de arboles, presento un 15% mas de m<sup>3</sup> infiltrados. Aunque lo anterior puede no tener que ver con los árboles en si sino mas bien con el medio ambiente y la cantidad de material impermeable o espacio abierto que tienen los arboles debajo de su canope o sombra.

Por otro lado, las relaciones hídricas de cada zona se ven en la figura 4.6 (columnas 8 a 10) y si bien no se considera un servicio ambiental como los demás, si es importante en considerar ya que en ambientes secos como el de León, la humedad relativa que proporciona la evapotranspiración eleva los niveles de confort.

#### d. Compuestos orgánicos volátiles.

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) son compuestos de Carbono con alta presión de vapor a temperatura ambiente resultante de su bajo punto de ebullición que causa que las moléculas se sublimen del estado líquido al sólido. La mayoría de los olores y esencias naturales tienen esta característica precisamente para poder moverse en el aire y causar su efecto. En algunos árboles se cree que su función es para atraer a polinizadores, entre otros efectos y a repeler otros insectos dañinos. El problema de estos compuestos es que son sensibles a la luz y en el proceso de descomposición liberan Ozono que viene a ser un contaminante bastante dañino para el hombre. En este caso, la emisión de menos compuestos es más conveniente aunque en este caso es debido a la menor población de árboles en León comparado con las demás .

VOC	Mpio. Guadalajara	Mérida	Barcelona	León
Monoterpeno (t/año)	12.27	61.5	52.6	15.45
Isopreno (t/año)	93.23	272	95.4	71.82
COV totales (t/año)	105.51	333.75	148	87.27
Población	585,060	2,317,795	1,419,823	1,338,090
Hectáreas	13,937	24,000	10,121	20,797

*Cuadro IV-3 Compuestos Orgánicos Volátiles para 4 ciudades.*

Por otro lado, un análisis de este "diservicio" ambiental por especie indica que las especies más productoras de estos compuestos son exóticas y esto ciertamente es un criterio más para no seleccionar estas especies más en los programas de reforestación. Los eucaliptos son de las especies que más compuestos producen como se puede ver en el cuadro 4.4. y lo mismo la casuarina. Esta última especie incluso en lugares como Cancún, Q.R. se está promoviendo su eliminación y sustitución.

Especie	Mono terpeno	Iso propeno	COV totales.
Eucalipto rojo	3,170	20,196	23,365
Casuarina	74	14,200	14,274
Cola de zorro	128	7,923	8,051
Eucalipto	1,080	6,883	7,964
Laurel lloron	225	7,044	7,270
Pirul	2,806	0	2,806
Ocote	2,696	25	2,721
Palma real	41	2,559	2,600
Laurel de la india	67	2,101	2,168
Palma cocotera	17	1,074	1,092

*Cuadro IV-4 COV (kg/año) por especie de las 10 especies más productoras.*

### e. Conclusión y recomendaciones al servicio ambiental.

El noveno objetivo planteado al iniciar el inventario se refiere a realizar y determinar la cuantificación económica del beneficio ambiental que proveen los árboles de la ciudad. Esta información tiene varios propósitos en primer lugar, que el público en general y quien toma decisiones presupuestales esté consiente de la aportación de los arboles a mejorar el hábitat urbano, y al estar expresado en una cifra del idioma universal del dinero, no requiere interpretación biológica. En segundo lugar, permitirá mostrar porque el llevar a cabo buenas practicas de manejo de arbolado es una inversión inteligente toda vez que la relación Beneficio/Costo en árboles es superior a la unidad, ya que los beneficios de salud, confort, visuales y de ahorro de energía sobrepasan los gastos que se requieren para contar con un arbolado sano.

Moneda en x 10 <sup>6</sup>	Londres, 2015	Madrid*, 2016	Houston, 2015	Leon**, 2020	Mérida, Yuc. 2017	Mpio. GDL, 2018
<b>C almacenado</b>	<b>£146.90</b>	<b>2.70 €</b>	<b>USD 272.0</b>	<b>\$19.3</b>	<b>\$26.7</b>	<b>\$364.5</b>
<b>Secuestro de C/año</b>	<b>£4.80</b>	<b>0.10 €</b>	<b>USD 18.6</b>	<b>\$0.6</b>	<b>\$2.4</b>	<b>\$19.3</b>
<b>Escorrentia/año</b>	<b>£2.80</b>	<b>1.70 €</b>	<b>USD 7.8</b>	<b>\$0.1</b>	<b>\$1.1</b>	<b>\$5.0</b>
<b>Fijación Contaminantes/año</b>	<b>£126.10</b>	<b>5.50 €</b>	<b>USD 20.4</b>	<b>\$38.9</b>	<b>\$22.5</b>	<b>\$26.3</b>
<b>Valor SA anual</b>	<b>£132.70</b>	<b>25.70 €</b>	<b>USD 46.8</b>	<b>\$39.7</b>	<b>\$26.0</b>	<b>\$50.7</b>
<b>Arb/ha</b>	53	94	205	36.5	96	42

\*En Madrid el valor anual, incluye reducción de incidencias médicas y ahorro energético en edificios, que en los demás no. \*\* para ciudades en México la moneda es Pesos.

#### *Cuadro IV-5 Valor del SA en varias ciudades calculado con el i-Tree.*

El cuadro 4.5 muestra el valor del servicio ambiental anual para León, Gto, y el valor del Carbono almacenado en forma de madera en el arbolado presente. Para el calculo de estos valores se utilizo para el almacenamiento de carbono y secuestro bruto de carbono se hizo en base a el precio de Mex\$143.00 por tonelada. El valor del escurrimiento evitado se calculo con el precio Mex\$2.361/m<sup>3</sup>. La estación meteorológica designada por el usuario reportó 20.4 centímetros de la precipitación anual total. I-Tree Eco siempre utilizará las mediciones por hora que tengan la mayor cantidad de lluvia total. El valor de la eliminación de la contaminación se calculo con base en los precios de:

Mex\$32,196.84 por tonelada (CO), Mex\$453,466.11 por tonelada (O<sub>3</sub>),

Mex\$24,675.10 por tonelada (SO<sub>2</sub>), Mex\$67,728.46 por tonelada (NO<sub>2</sub>),

Mex\$0.00<sup>5</sup> por tonelada métrica (PM<sub>2.5</sub>).

El beneficio anual, que incluye los SA que se contabilizan para cada año es decir el secuestro de C, la reducción del escurrimiento y la fijación de contaminantes para la ciudad de León se contabiliza

<sup>5</sup> El valor de 0 indica que no existe información para esta localidad de este parámetro o las cantidades son muy pequeñas para mostrarse.

en **\$39,684,610.00** mas lo que implica el valor del carbono almacenado en madera que asciende a **\$19,329,967.00** nos lleva a un gran total de **\$59,014,577.00**. Esto sin incluir el valor estructural del arbolado o valor de reposición de los árboles que según i-Tree alcanza la cifra de **\$6,076,825,514.00** (seis mil setenta y seis millones). De los componentes del beneficio anual del arbolado de León es claro que tanto el secuestro de C como la escorrentía prácticamente no aportan valor, y esto se debe a la situación que se presenta del estado del arbolado que causa que los valores sean negativos. Esto es una indicación clara que se deben de dirigir esfuerzos a revertirlo y acompañarlos de un sustitución de especies y rejuvenecimiento de individuos así como repoblación en áreas de baja densidad.

Especie	Almacenamiento de C	Secuestro bruto de C	Escorrentía evitada	Eliminación de la contaminación	Beneficio Anual	Valor estructural
<b>TOTAL</b>	<b>19,329,967</b>	<b>570,987</b>	<b>132,811</b>	<b>38,980,813</b>	<b>39,684,610</b>	<b>6,076,825,514</b>
Mezquite	3,602,193	71,221	17,466	5,126,435	5,215,122	554,385,150
Laurel lloron	3,574,923	146,251	12,441	3,651,390	3,810,082	1,416,363,970
Pirul	1,834,157	41,278	9,113	2,674,804	2,725,195	452,735,584
Casuarina	516,462	10,278	8,043	2,360,759	2,379,080	309,867,470
Cola de zorro	56,084	1,030	7,869	2,309,596	2,318,495	16,310,826
Ocote	101,713	7,878	7,711	2,263,213	2,278,801	156,021,079
Eucalipto roj.	2,120,815	24,409	6,312	1,852,659	1,883,380	261,574,003
Fresno	419,326	12,182	4,920	1,443,981	1,461,082	191,248,306
Paraiso	654,057	19,246	4,263	1,251,344	1,274,853	214,512,630
Casahuate	378,037	15,511	4,186	1,228,580	1,248,277	87,670,684
Laurel india	880,027	24,763	3,710	1,088,941	1,117,414	282,732,667
Jacaranda	454,950	9,855	3,056	896,965	909,876	93,583,731
Palma real	13,970	220	2,541	745,834	748,595	4,372,647
Pirul chino	439,284	11,630	2,453	720,085	734,169	145,989,607
Eucalipto	482,714	10,531	2,300	675,144	687,975	110,334,467
Framboyan	497,577	16,234	2,247	659,478	677,958	232,272,785
Cedro blanco	67,947	2,521	2,089	613,239	617,850	59,460,097
Mezquite	109,730	5,921	1,800	528,414	536,135	48,064,505
Pata de vaca	72,665	5,992	1,588	466,151	473,731	48,288,155
Washingtonia	18,999	459	1,408	413,328	415,195	8,213,581

*Cuadro IV-6 Valor ambiental económico de las 20 principales especies (pesos mexicanos).*

Otro punto importante que podemos ver en el cuadro 4.5 es el potencial que tienen los árboles de generar un significativo aporte económico, como en Londres, Madrid y Houston que calculando tipo de cambio y año en que se realizó el inventario, tienen beneficios anuales únicamente de 8400%, 1500% y 2100% respectivamente mayores a León y aunque si bien son ciudades mas grandes la proporción no es tanta como para que la diferencia sea solo por tamaño. Sin embargo en esta comparación hay que tomar en cuenta el clima ya que estas ciudades llueve mucho mas pero el

factor de mas peso si es definitivamente el cuidado y manejo activo que hacen de su arbolado. En el comparativo con otras ciudades en México donde se ha hecho el analisis del arbolado con i-Tree parece que León tiene un mejor SA que Mérida pero aquí hay que considerar que Mérida es una ciudad con mucho menos industria que en León y por lo tanto no tiene la prescencia de contaminantes tan alta para poder ser absorbidos. Lo que si tiene es un balance entre el secuestro de C y la disminución de escorrentia que León lo tiene en niveles muy bajos, por las razones ya mencionadas. El anexo 04 tiene una lista de 23 ciudades en Canada y USA, con sus datos de arbolado, de servicio ambiental bruto y por unidad de superficie para poder realizar comparaciones sin el efecto de tamaño que puede ser muy útil. Se incluye información estadistica de referencia y en la sección de datos por unidad de superficie se señalan las ciudades en el 10% superior de desempeño ambiental.

El cuadro 4.6 por su parte muestra las 20 especies del inventario que aportan el 80% del beneficio ambiental en terminos economicos y que tiene una fuerte correlación con la composicion y estrucutura del arbolado. La lista se encuentra en orden descendente de beneficio anual y al principio esta el total del municipio como referencia. En este cuadro vemos que el mezquite (*Prosopis laeviagata*) es el que mayor aportación realiza por su capacidad de eliminación de contaminantes, a pesar de ser la segunda especie por número de individuos. El caso del Laurel, por ser un árbol mas grande tiene mayor capacidad de secuestro pero no es tan eficiente como el mezquite fijando contaminantes por lo que queda en segundo lugar. El Casahuate a pesar de ser la tercer especie por numero de individuos tiene una aportación media en servicio ambiental por las características morfológicas y fisiológicas. Una especie que se encuentra dentro de las mas numerosas, el cedro panteonero (*Cupressus sempervirens*) tiene muy poca aportación económica por SA por lo que no debería ser recomedado para reforestación. Por otro lado hay especies que con una población menor tienen buen impacto, dentro de las 20 que mas aportan, en los beneficios economicos como el Pirul chino (*Schinus terebinthifolia*) y el Framboyan (*Delonix regia*) que tiene como inconveniente el hecho de ser exotica y muy agresiva con las banquetas y tener una necesidad de bastante espacio para crecer, definitivamente no es una especia para banquetas.

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. La metodología si bien se basa en

Concepto	Unidad	Cantidad
Almacenamiento de C	C emitido por la ciudad en	8 días
	Emisión anual de	105 autos o 43,200 viviendas
Secuestro Anual de C	C emitido por la ciudad en	0.3 días
	Emisión anual de	3,100 autos o 1,300 viviendas
Eliminación de CO	Emisión anual de	76 autos o 208 viviendas
Eliminación de NO2	Emisión anual de	3,340 autos o 1,510 viviendas
Eliminación de SO2	Emisión anual de	355,000 autos o 939 viviendas
<b>Cuadro IV-7 Valor relativo del SA del arbolado de León</b>		

datos de Estados Unidos sirve para dar una idea práctica del SA que proporcionan los árboles (Cuadro 4.7<sup>6</sup>). En este caso, el margen para mejora es muy amplio si se quiere buscar reducir la huella de carbono de los automóviles de León con el secuestro de C por los árboles. Sobre todo si consideramos que el 74% de los árboles son públicos, como se demuestra en la figura 4.9, y por lo tanto responsabilidad de la autoridad. En esta figura es importante notar que las zonas 2,4 y 5 tienen una proporción de árboles privados muy baja, lo que indica que una oportunidad de mejora que vale la pena explorar es la promoción de siembras entre la población. Para esto, sería necesario revisar más a fondo condiciones socioeconómicas y posibilidades de hacerlo para dirigir adecuadamente los programas y las líneas y estrategias de promoción y de apoyo a quien plante en su propiedad.



Figura IV-9 Arboles públicos y privados por zona.

<sup>6</sup> Notas de cálculo en el Anexo 5

## V. Expectativas y Pronostico

Los servicios ambientales que provee el arbolado del municipio determinados en el estudio forman la línea base para comparaciones a futuro. Considerando el PIB de la ciudad, su industria y tasas de crecimiento se pueden considerar escasos. Se podrían analizar las condiciones y niveles de contaminación actuales y tendencias para complementar las necesidades de mejora ambiental con el aumento del arbolado. Pero, lo que, si se deberá considerar como urgente, y se recomienda como siguiente paso, es la elaboración de un Plan Maestro de Manejo y Desarrollo Sustentable del Arbolado Urbano que guie, con la información del inventario, como llevar a cabo dicho incremento y mejora del arbolado. El inventario realizado señala las áreas que requieren más atención para crear un mejor ambiente para sus habitantes, estas áreas son las que presentan los más bajos niveles de servicios ambientales y por lo tanto a las que se les debe poner más atención.

Por otro lado, es importante considerar que el cambio climático, como se puede ver en la figura 5.1, va a tener cada vez más impacto en el ambiente de las ciudades y León no será excepción. Las altas temperaturas por el efecto de islas de calor y los gases invernadero son particularmente notables en los últimos años, por lo que debemos de establecer metas para tener un bosque Urbano en buenas condiciones para combatir dicho efecto

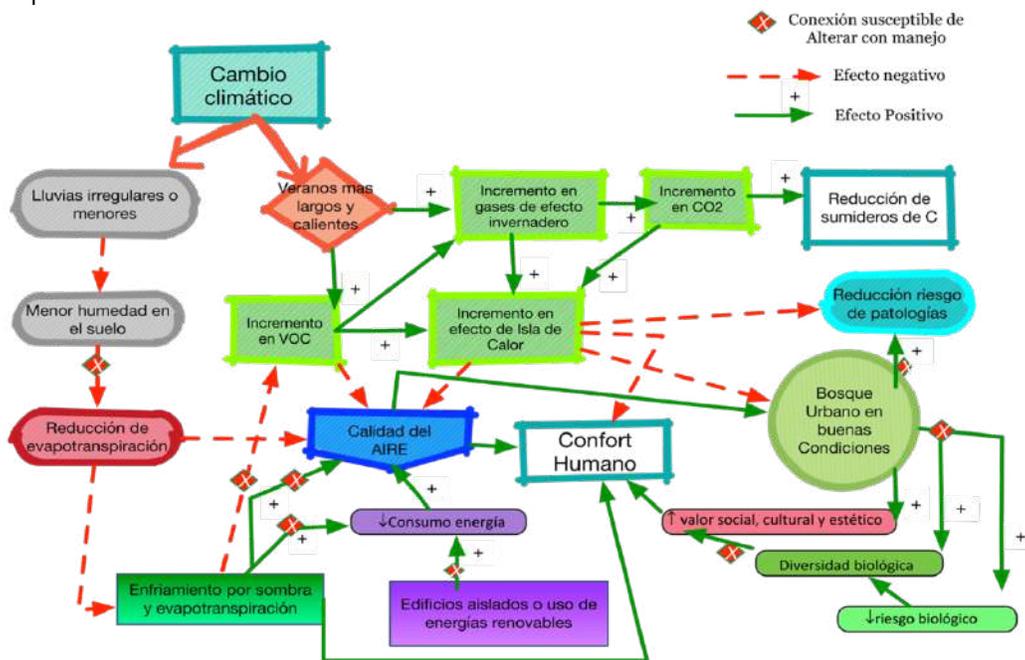


Figura V-1 Efectos del cambio climático en la vegetación urbana y puntos susceptibles de cambiar con manejo<sup>7</sup>.

El primer paso hacia la elaboración de una hoja de ruta es el establecimiento de metas concretas, medibles y realistas. Como lo señalo el matemático William T. Kelvin, Lord Kelvin, "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

<sup>7</sup> Chaparro, L.Y.J. Terradas. 2009. Ecological services of urban Forest in Barcelona. CREAF. Universitat Autònoma de Barcelona.

*siempre.*" En este sentido el inventario provee de indicadores y parámetros contra los cuales es posible establecer objetivos y si se establecen metas en función a servicios ambientales o a factores que indirectamente miden el desempeño de los árboles, se estará utilizando la manera más eficiente y trascendente para mejorar el arbolado. Las cantidades o montos para incluir en las metas deben de considerarse en función al presupuesto posible para los programas de mejora, y que deben formar parte del Plan Maestro cuya finalidad es que se definan acciones concretas para llegar a las metas específicas por zona de acuerdo con las necesidades detectadas.

Por ejemplo, basándose en la información del inventario y las condiciones en las que se encuentra la ciudad de León, con relación a crecimiento y necesidades de arbolado, se pueden establecer algunas metas que son factibles, alcanzables y con un presupuesto razonable. Como podrían ser:

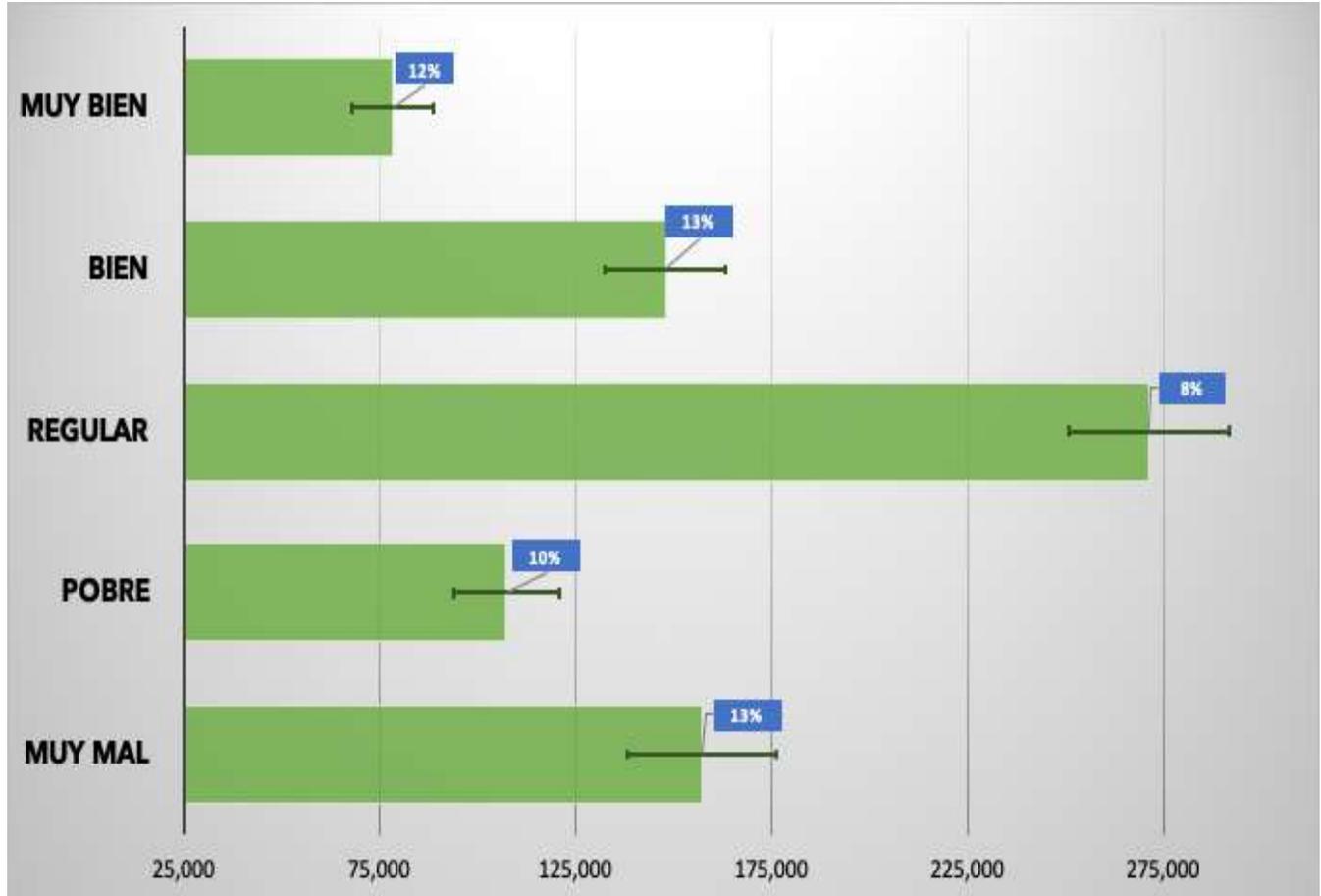
- 🌳 Elevar el porcentaje de cobertura arbórea en 1%/año para llegar a 15%, es decir duplicar la cifra actual en 7-9 años.
- 🌳 Incrementar la diversidad de especies, y reducir la exóticas.
- 🌳 Aumentar en 5%/anual la capacidad de secuestro de CO<sub>2</sub> del arbolado, es decir revertir los valores netos negativos y lograr tener valores positivos.

Cada una de estas metas se tiene que conseguir realizando una serie de acciones en conjunto ya que ninguna responde a la simple y trillada solución clásica de "Sembrar 15,000 árboles al año", ya que si bien es muy importante la reforestación esta debe hacerse de manera inteligente y acompañada de una guía sustentada en información de sitio y dentro de una estrategia de largo plazo con indicadores ambientales muy claros. Las metas como se mencionó anteriormente se deben de regionalizar y plantear por zona o incluso por colonia de acuerdo con las necesidades y recursos, y siempre buscando la participación ciudadana para la tarea. El presente inventario se trasladó a un sistema de información geográfica por colonia como ejemplo de lo que es posible hacer con la información del inventario. Ya que esta manera de visualizarla permite una definición puntual de objetivos (colonias) que facilita la planeación, presupuestación y seguimiento (Anexo 6).

La elaboración de un presupuesto forma parte de un plan maestro para el arbolado que se considera debe ser la siguiente fase posterior al inventario. Esto implica una revisión de los programas de reforestación que es necesario 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.

Como se estableció en la metodología, uno de los tres campos personalizados que se permite definir por el usuario de i-Tree, se utilizó para caracterizar la condición general del árbol, que iba más allá de solo la condición de copa. En este campo se clasifico dentro una de 5 categorías al árbol por su tronco, arquitectura, sitio y como se propuso, esta clasificación tendría una correlación con el riesgo potencial que puede llegar a tener al árbol. La figura 5.2 muestra la población por categoría y se puede ver que el 70% de la población está de regular a mal, es decir, existe un potencial muy alto

para mejora a través de un programa de mantenimiento y eventualmente con la sustitución de especies dentro de programa de reforestación efectivo.



*Figura V-2 Evaluación general de la población del arbolado de León, Gto., y su CV*

En cuanto a los programas de reforestación el i-Tree tiene dentro de una de sus funciones utilizar la información del inventario para realizar pronósticos a futuro de posibles escenarios. La pestaña de Pronósticos o "Forecast" se basa en la creación de escenarios con la premisa de "Que sucedería con el arbolado y su servicio ambiental Si...". Esta función nos permite plantear de acuerdo con índices de mortalidad (variables según las condiciones que establezcamos e incluso por eventos meteorológicos extremos) y programas de reforestación (donde podemos definir cantidad, tamaño y momentos de plantación, Fig. 5.3) que le va a pasar a una población, desde el punto de vista de número de individuos, porcentaje de cobertura, área basal, DAP, e incluso respuesta de crecimiento medido en área y biomasa foliar.

Y por el otro lado nos da conocer lo que puede suceder con el SA del efecto sobre el Carbono y la eliminación de los 5 contaminantes importantes, en monto y valor. Con esto podemos ver el impacto de programas de mejora a futuro. En la elaboración del presente inventario y para establecer escenarios realistas, se llevó a cabo un taller con personal de la dirección de medio ambiente para que aportaran opciones y condiciones de escenarios y programas, por ejemplo, de reforestación, en el arbolado de León. El taller tuvo un doble propósito ya que al mismo tiempo sirvió como capacitación para que conocieran la herramienta y pudieran usarla en un futuro. La figura 5.4 muestra los resultados obtenidos de los ejemplos planteados en el taller. En primera instancia se establecieron las condiciones básicas de cálculo y se realizó la corrida para ver el escenario donde la pregunta fue: ¿Qué pasaría con el arbolado de León si no hacemos nada por mejorarlo? Es decir, con la población como se encuentra, en las condiciones que esta, con las especies que tiene que le pasaría si no se replanta, o se mantiene. Se estableció ver el desarrollo por 15 años, y con las tasas de mortalidad “naturales” para arboles saludables, enfermos y muriendo como se indica en la figura 5.4. Básicamente si no se hace nada, la población de 760,000 en 15 años disminuiría por causas de muerte natural de los árboles a 205,000, es decir un 73% con su consecuente disminución de área foliar y por supuesto de SA por concepto de eliminación de contaminantes, aunque la disminución es menor que el efecto en la población eventualmente el SA sería de solo una tercera parte de lo que es hoy en día. La segunda opción, se basa en los mismos supuestos, pero ahora con un programa de reforestación de 15,000 árboles/año, que de acuerdo con los asistentes es muy factible de llevar a cabo toda vez que se han tenido experiencias de 23,200 en 2017, 8,852 en 2018, y 11,000 en 2019. Por cuestiones de tamaño y necesidades se decidió plantar 5,000 árboles en la zona 7 y 2,000 en las demás, a partir del año 1 y cada año lo mismo. Se utilizarán arbolitos de 2” o 5 cm de diámetro.

### Árboles a plantar

Aplica a estrato	<input type="text"/>
Establecer DAP de árboles nuevos a	<input type="text" value="7.50"/> centímetros
Árboles a plantar anualmente	<input type="text" value="1,000"/>
Empezar a sembrar en año	<input type="text" value="1"/> ¿Por cuántos años?
<input type="button" value="Añadir"/> <input type="button" value="Borrar"/>	

### Eventos meteorológicos

Tipo de estado del tiempo	<input type="text" value="Class 3 Hurricane"/>
El tiempo sucede en año	<input type="text" value="1"/>
Mortalidad anual resultante (%)	<input type="text" value="20.0"/>
<input type="button" value="Añadir"/> <input type="button" value="Borrar"/>	

*Figura V-3 Opciones de la función Pronóstico de i-Tree.*

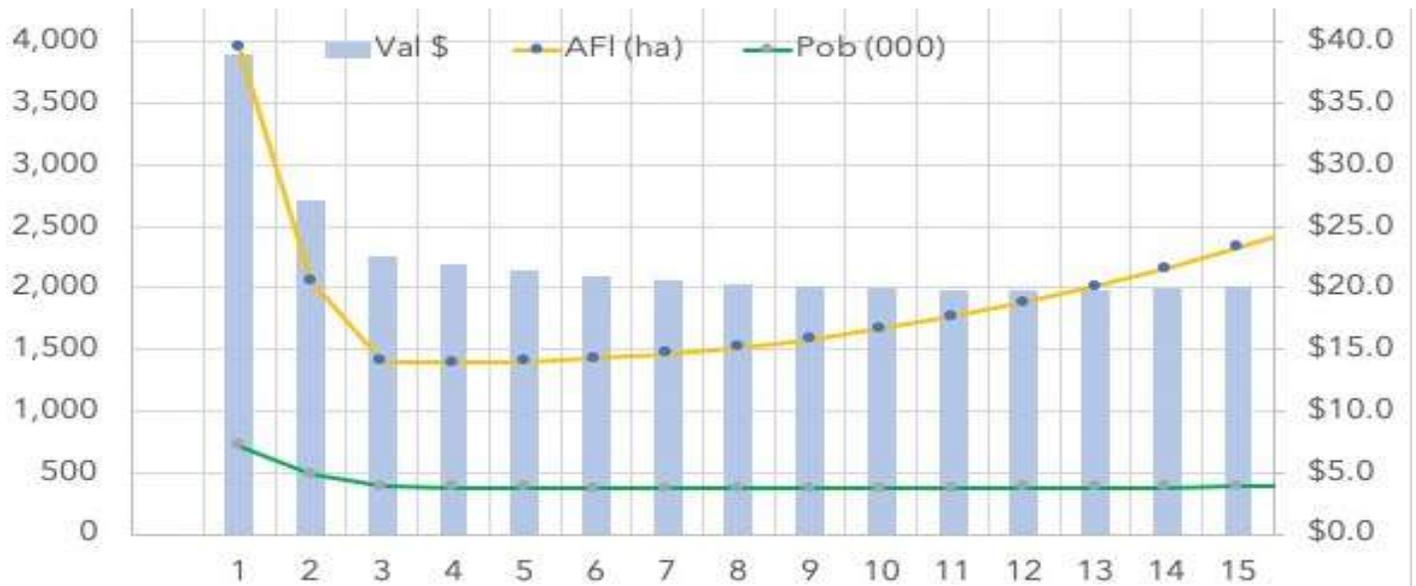


Condiciones básicas de los escenarios

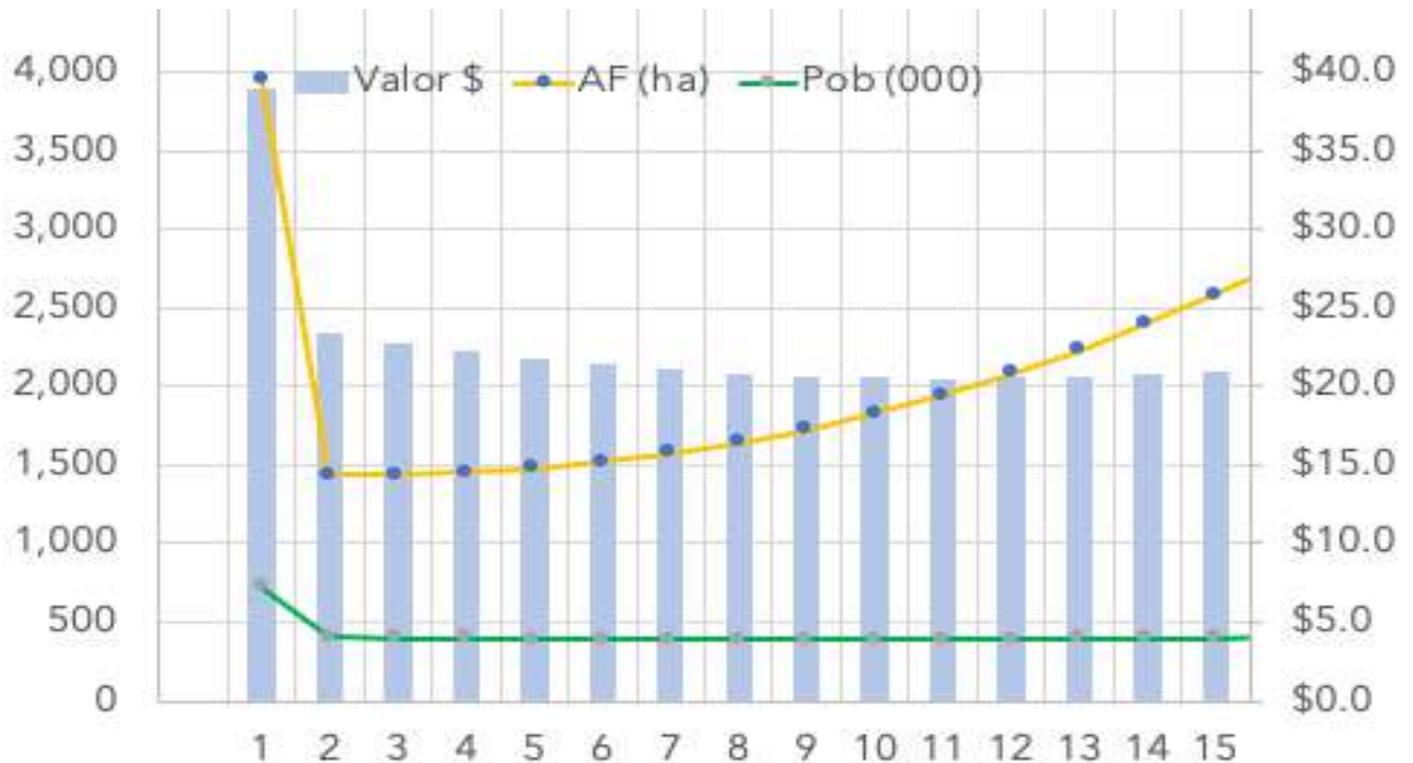
Número de años	15
Días del año sin helada	285
Base de índices anuales de mortalidad para árboles <b>saludables</b>	2.0%
Base de índices anuales de mortalidad para árboles <b>enfermos</b>	4.0%
Base de índices anuales de mortalidad para árboles <b>muriendo</b>	6.0%



Con un programa de reforestación con 2000 arboles por zona de la 1 a la 5 y 5000 en la 7 al año (15000 en total) y de 5 cm de DAP iniciando el año 01 hasta el año 15, es decir todo el periodo evaluado



Mismas condiciones que los 2 anteriores escenarios para tasa de diferencial de mortandad por zona en función a su situación económica. Zona 1 (1%), Zona 2 y 3(1.5%), Zona 4 y 5 (1.3%), zona 6 (0.5%) y zona 7 (2%).



Mismas condiciones que anterior pero menor mortalidad/zona con programas de mantenimiento más efectivos.

Zona	%
1	0.50%
2	0.50%
3	0.50%
4	0.50%
5	0.50%
6	0.00%
7	0.50%

Figura V-4 Escenarios con diferentes condiciones de desarrollo de la población y los SA en León.



Este escenario muestra claramente el impacto de la reforestación, y a pesar de que la población no cambia al menos el área foliar se incrementa y ciertamente la caída del SA no es tan grave ya disminuye de los actuales  $39 \times 10^6$  a solo  $36.5 \times 10^6$ , es decir solo un 6.5%, el valor del SA por eliminación de contaminantes. Los siguientes dos escenarios se desarrollan sobre el anterior solamente se añadió una mayor mortalidad diferencial por zona basándose en lo observado. En un escenario la suma total de la mortalidad que se añadió es de 9.1% mientras que en el otro escenario la mortalidad añadida total es de solo un 3%, basándose en la premisa de que un buen programa de mantenimiento del arbolado puede tener este efecto. A futuro, habrá que ir estableciendo pruebas para conocer y determinar realmente el impacto de un buen mantenimiento sobre el arbolado que no olvidemos tiene un valor estructural de \$6 mil millones de pesos. El escenario con mantenimiento y menor mortalidad tiene al final de los 15 años un mejor comportamiento que se puede resumir en el valor del SA por eliminación de contaminante que siempre fue superior y al final reporte casi \$5 millones más de servicio al cabo de los 15 años.

Reiterando lo mencionado a lo largo del presente reporte analítico, se requiere utilizar la información generada para implementar al menos los siguientes programas, con los siguientes criterios, que pueden mejorar de manera significativa y en mediano plazo el arbolado de León:

- 🌳 **Reforestación: con especies de alto SA**, mayor diversidad, con intervención de la población especialmente donde hay poca participación, y sobre todo con un alto índice de sobrevivencia.
- 🌳 **Mantenimiento:** En primera instancia sanitario con eliminación del muérdago, en mejora de sitio, y en mejora de arquitectura de canope (podas).
- 🌳 **Remoción de árboles muertos y de riesgo:** de preferencia con sustitución, programados, planeados y con la correcta difusión y explicación de motivos a la sociedad.



## VI. Bibliografía

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](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. Borrajo Millan J.M et al 2016. **Valor del Bosque Urbano de Madrid**. [https://www.itreetools.org/documents/549/Valor\\_Bosque\\_Urbano\\_Madrid.pdf](https://www.itreetools.org/documents/549/Valor_Bosque_Urbano_Madrid.pdf)
6. British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. **Residential wood burning emissions in British Columbia**. British Columbia.
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. Chaparro, L. Y J. Terradas. 2009. **Ecological services of urban Forest in Barcelona**. CREAM. Universitat Autònoma de Barcelona <https://www.itreetools.org/documents/302/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf>
10. De la Concha D., H. 2017. **Inventario del Arbolado Urbano de la Ciudad de Mérida**. [https://www.itreetools.org/resources/reports/Inventario\\_Urbano\\_Merida\\_imprmir\\_en\\_dos\\_caras.pdf](https://www.itreetools.org/resources/reports/Inventario_Urbano_Merida_imprmir_en_dos_caras.pdf)
11. De la Concha D., H y Roche L. 2018. **Estudio diagnostico del arbolado urbano en parques públicos de Mérida** <http://www.itreetools.org/resources/lang/es/InventarioParquesMerida2018.pdf>.
12. De la Concha D., H. y Sube J.L. 2018. **Cuantificación, diagnostico, y valorización del arbolado urbano del municipio de Guadalajara**. Dirección de Medio Ambiente del Municipio
13. FAO. 2016. **Directrices para la silvicultura urbana y periurbana**, por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes No 178, Roma, FAO.
14. Federal Highway Administration. 2013. **Highway Statistics 2011**. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.
15. Energy Information Administration. 2013. **CE2.1 Fuel consumption totals and averages**, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
16. Energy Information Administration. 2014. **CE5.2 Household wood consumption**. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
17. 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>
18. Georgia Forestry Commission. 2009. **Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet**. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission.



19. Hanou, I. 2012. **Assesing Cleveland Metroparks Tree Cover**. AMEC Earth & Enviromental for Cleveland Metroparks
20. 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](http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf)
21. 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.
22. Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2012. **i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions V 1.0**
23. 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/inforeg/scc-tds-final-july-2015.pdf>
24. Lovett, G.M. 1994. **Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective**. Ecological Applications. 4: 629-650.
25. McPherson, E.G. 2014. **Monitoring million trees LA: Tree performance During the early years and future benefits**. Arboriculture & Urban Forestry 40(5): 286-301.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. 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](http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf).
33. 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
34. Soares, A.L. et al. **Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal**. Urban Forestry & Urban greening (2011), doi:10.1016/j.ufug.2010.12.001



35. 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
36. 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.
37. Vargas, K.E.; McPherson, E.G., Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007a. **Interior West Tree Guide.**
38. 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.**
39. 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.
40. 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



## **ANEXOS**

Anexo 01 Listado de especies, familia, clase y clave de i-Tree encontradas en el inventario.

Anexo 02 Comparación por condición de copa entre Jacarandas y su beneficio ambiental.

Anexo 03. Servicio ambiental por almacenamiento de C y capacidad de secuestro por especie/zona.

Anexo 04. Comparativo de valores de arbolado y servicio ambiental entre varias ciudades

Anexo 05. Modelo y mediciones de campo de i-Tree Eco

Anexo 06. Anexo 6. Imágenes geográficas del inventario.



Anexo 01 Listado de especies, familia, clase y clave i-Tree



N	CIENTIFICO	Nombre Común	Familia	Clase	Clave i-Tree
1	Acacia	Acacia	Fabaceae	Magnolopsida	ACSP2
2	Acacia angustissima	Huisache	Fabaceae	Magnolopsida	ACAN3
3	Acacia farnesiana	Huizache	Fabaceae	Magnolopsida	ACFA
4	Acacia pennatula	Tepame	Fabaceae	Magnolopsida	ACPE2
5	Acacia retinodes	Acacia café	Fabaceae	Magnolopsida	ACRE2
6	Acacia schaffneri	Huizache chino	Fabaceae	Magnolopsida	ACSC2
7	Albizia lebeck	Acacia amarilla	Fabaceae	Magnolopsida	ALLE
8	Alnus	Aile Aliso	Betulaceae	Magnolopsida	AL
9	Bauhinia variegata	Arbol de las orquideas	Fabaceae	Magnolopsida	BAVA
10	Bougainvillea	Bougainvillea	Caryophyllales	Magnolopsida	BO9
11	Bougainvillea spectabilis	Bugambilia	Caryophyllales	Magnolopsida	BOSP
12	Bursera fagaroides	Palo xixote	Burseraceae	Magnolopsida	BUFA
13	Callistemon citrinus	Escobillon	Myrtaceae	Magnolopsida	CACI
14	Carica papaya	Papaya	Caricaceae	Magnolopsida	CAPA3
15	Casuarina equisetifolia	Casuarina	Casuarinaceae	Magnolopsida	CAEQ
16	Ceiba pentandra	Ceiba	Malvaceae	Magnolopsida	CEPE
17	Citrus	Citrico	Rutaceae	Magnolopsida	CISP
18	Citrus aurantifolia	Lima	Rutaceae	Magnolopsida	CIAU
19	Citrus aurantium	Naranja agrio	Rutaceae	Magnolopsida	CIAU2
20	Citrus limon	Limon	Rutaceae	Magnolopsida	CILI
21	Citrus reticulata	Mandarino	Rutaceae	Magnolopsida	CIRE3
22	Citrus sinensis	Naranja	Rutaceae	Magnolopsida	CISI
23	Crataegus mexicana	Tejocote	Rosaceae	Magnolopsida	CRME1
24	Delonix regia	Framboyan	Fabaceae	Magnolopsida	DERE
25	Duranta erecta	Duranta flor morada	Verbenaceae	Magnolopsida	DUER
26	Eriobotrya japonica	Nispero	Rosaceae	Magnolopsida	ERJA
27	Erythrina coralloides	Colorin	Fabaceae	Magnolopsida	ERCO
28	Eucalyptus calophylla	Palo de sangre	Myrtaceae	Magnolopsida	EUCA
29	Eucalyptus camaldulensis	Eucalipto rojo	Myrtaceae	Magnolopsida	EUCA1
30	Eucalyptus cinerea	Eucalipto dólar	Myrtaceae	Magnolopsida	EUCI
31	Eucalyptus globulus	Eucalipto	Myrtaceae	Magnolopsida	EUGL
32	Eucalyptus gunnii	Eucalipto dólar	Myrtaceae	Magnolopsida	EUGU
33	Euphorbia cotinifolia	Sangre libanesa	Euphorbiaceae	Magnolopsida	EUCO24
34	Euphorbia tirucalli	Arbol lápiz	Euphorbiaceae	Magnolopsida	EUTI
35	Eysenhardtia polystachya	Palo dulce	Fabaceae	Magnolopsida	EYPO
36	Ficus benjamina	Laurel lloron	Moraceae	Magnolopsida	FIBE
37	Ficus carica	Higo	Moraceae	Magnolopsida	FICA
38	Ficus elastica	Hule	Moraceae	Magnolopsida	FIEL
39	Ficus retusa ssp. Nitida	Laurel de la india	Moraceae	Magnolopsida	FIRE4
40	Ficus variegata	Ficus	Moraceae	Magnolopsida	FIVA
41	Firmiana simplex	Brachichito	Malvaceae	Magnolopsida	FISI
42	Fraxinus	Fresno	1 de 3 Oleaceae	Magnolopsida	FR



Anexo 01 Listado de especies, familia, clase y clave i-Tree



N	CIENTIFICO	Nombre Común	Familia	Clase	Clave i-Tree
43	<i>Fraxinus excelsior</i>	Fresno europeo	Oleaceae	Magnolopsida	FREX
44	<i>Fraxinus greggii</i>	Fresno greggi	Oleaceae	Magnolopsida	FRGR
45	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Fresno	Oleaceae	Magnolopsida	FRPE
46	<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	Oleaceae	Magnolopsida	FRUH
47	<i>Grevillea robusta</i>	Grevillea	Proteaceae	Magnolopsida	GRRO
48	<i>Hibiscus elatus</i>	Tulipan Majagua	Malvaceae	Magnolopsida	HIEL
49	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Tulipan	Malvaceae	Magnolopsida	HIROSI
50	<i>Ipomoea murucoides</i>	Casahuate, palo bobo	Convolvulaceae	Magnolopsida	IPMU
51	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Bignoniaceae	Magnolopsida	JAMI
52	<i>Koelreuteria</i>	Flama china	Sapindaceae	Magnolopsida	KO4
53	<i>Leucaena</i>	Guaje	Fabaceae	Magnolopsida	LE18
54	<i>Ligustrum</i>	Trueno	Oleaceae	Magnolopsida	LISP
55	<i>Ligustrum lucidum</i>	Trueno lila	Oleaceae	Magnolopsida	LILU
56	Magnolopsida	Latifoliada		Magnolopsida	MACLASS
57	<i>Mangifera indica</i>	Mango	Anacardiaceae	Magnolopsida	MAIN
58	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Melaleuca	Myrtaceae	Magnolopsida	MEQU
59	<i>Melia azedarach</i>	Paraiso	Meliaceae	Magnolopsida	MEAZ
60	<i>Moringa oleifera</i>	Moringa	Moringaceae	Magnolopsida	MOOL
61	<i>Morus alba</i>	Moral blanco	Moraceae	Magnolopsida	MOAL
62	<i>Morus celtidifolia</i>	Mora	Moraceae	Magnolopsida	MOCE
63	<i>Nerium oleander</i>	Rosa Laurel	Apocynaceae	Magnolopsida	NEOL
64	<i>Nicotiana glauca</i>	Gigante	Solanaceae	Magnolopsida	NIGL
65	<i>Opuntia</i>	Nopal	Cactaceae	Magnolopsida	OP3
66	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Nopal de tuna	Cactaceae	Magnolopsida	OPFI
67	<i>Pachycereus</i>	Cardon	Cactaceae	Magnolopsida	PA2
68	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Palo verde junco, retama	Fabaceae	Magnolopsida	PAAC
69	<i>Persea americana</i>	Aguacate	Lauraceae	Magnolopsida	PEAM
70	<i>Plumeria rubra</i>	Flor de mayo	Apocynaceae	Magnolopsida	PLRU
71	<i>Populus nigra</i>	Alamillo	Salicaceae	Magnolopsida	PONI
72	<i>Prosopis glandulosa</i>	Mezquite	Fabaceae	Magnolopsida	PRGL2
73	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	Fabaceae	Magnolopsida	PRLA6
74	<i>Prunus</i>	Ciruelo	Rosaceae	Magnolopsida	PR
75	<i>Prunus domestica</i>	Ciruelo	Rosaceae	Magnolopsida	PRDO
76	<i>Prunus laurocerasus</i>	Laurel real	Rosaceae	Magnolopsida	PRLA
77	<i>Prunus persica</i>	Durazno	Rosaceae	Magnolopsida	PRPE2
78	<i>Prunus serotina</i>	Capulin	Rosaceae	Magnolopsida	PRSE1
79	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Myrtaceae	Magnolopsida	PSGU
80	<i>Punica granatum</i>	Granada	Lythraceae	Magnolopsida	PUGR
81	<i>Quercus</i>	Encino	Fagaceae	Magnolopsida	QU
82	<i>Quercus lyrata</i>	Encino	Fagaceae	Magnolopsida	QULY
83	<i>Quercus palustris</i>	Roble de los pantanos	Fagaceae	Magnolopsida	QUPA
84	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	Euphorbiaceae	Magnolopsida	RICO3



## Anexo 01 Listado de especies, familia, clase y clave i-Tree



N	CIENTIFICO	Nombre Común	Familia	Clase	Clave i-Tree
85	<i>Salix babylonica</i>	Sauce lloron	Salicaceae	Magnolopsida	SABA1
86	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Salicaceae	Magnolopsida	SAHU
87	<i>Schefflera</i>	Aralia	Araliaceae	Magnolopsida	SC3
88	<i>Schefflera actinophylla</i>	Aralia pulpo	Araliaceae	Magnolopsida	BRAC
89	<i>Schinus molle</i>	Pirul	Anacardiaceae	Magnolopsida	SCMO
90	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Pirul chino	Anacardiaceae	Magnolopsida	SCTE
91	<i>Spathodea campanulata</i>	Galeana	Bignoniaceae	Magnolopsida	SPCA
92	<i>Stenocereus</i>	Pitaya	Cactaceae	Magnolopsida	ST7
93	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarindo	Fabaceae	Magnolopsida	TAIN
94	<i>Thevetia peruviana</i>	Fraile, petatillo	Apocynaceae	Magnolopsida	THPE3
95	<i>Ulmus parvifolia</i>	Olmo chino	Ulmaceae	Magnolopsida	ULPA
201	<i>Cycas</i>	Cyca	Cycadaceae	Cycadopsida	CY4
301	<i>Adonidia merrilli</i>	Palma Kerpis	Arecaceae	Liliopsida	ADME
302	<i>Areca</i>	Palma areca	Arecaceae	Liliopsida	AR24
303	<i>Cocos nucifera</i>	Palma cocotera	Arecaceae	Liliopsida	CONU
304	<i>Phoenix canariensis</i>	Palma canaria	Arecaceae	Liliopsida	PHCA
305	<i>Phoenix reclinata</i>	Palmera de Senegal	Arecaceae	Liliopsida	PHRE
306	<i>Phoenix roebelenii</i>	Palma rubelina	Arecaceae	Liliopsida	PHRO
307	<i>Roystonea regia</i>	Palma real	Arecaceae	Liliopsida	RORE
308	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Cola de zorro	Arecaceae	Liliopsida	SYRO
309	<i>Washingtonia</i>	Washingtonia	Arecaceae	Liliopsida	WA4
310	<i>Washingtonia robusta</i>	Palma washingtonia	Arecaceae	Liliopsida	WARO
311	<i>Beaucamea recurvata</i>	Pata de elefante	Asparagáceas	Liliopsida	BERE
312	<i>Yucca</i>	Yucca	Asparagáceas	Liliopsida	YU1
313	<i>Yucca aloifolia</i>	Yucca	Asparagáceas	Liliopsida	YUAL
314	<i>Musa x paradisiaca</i>	Platano	Musaceae	Liliopsida	MUPA3
401	<i>Cupressus lusitanica</i>	Cedro blanco	Cupressaceae	Pinopsida	CULU
402	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cedro limon	Cupressaceae	Pinopsida	CUMA
403	<i>Cupressus sempervirens</i>	Cedro panteonero	Cupressaceae	Pinopsida	CUSE
404	<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Cupressaceae	Pinopsida	TAMU
405	<i>Thuja occidentalis</i>	Tuya occidental	Cupressaceae	Pinopsida	THOC
406	<i>Pinus</i>	Pino	Pinaceae	Pinopsida	PI2
407	<i>Pinus cembroides</i>	Pino pinonero	Pinaceae	Pinopsida	PICE
408	<i>Pinus engelmannii</i>	Pino apache, pino real	Pinaceae	Pinopsida	PIEN3
409	<i>Pinus greggii</i>	Ocote	Pinaceae	Pinopsida	PIGR
410	<i>Pinus maximartinezii</i>	Pino azul	Pinaceae	Pinopsida	PIMA1
411	<i>Pinus pinea</i>	Pino Blanco	Pinaceae	Pinopsida	PIPI2
412	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Pino Blanco	Pinaceae	Pinopsida	PIPS
413	<i>Pinus teocote</i>	Pino colorado	Pinaceae	Pinopsida	PITE2



Jacaranda mimosifolia



Condicion copa: Buena

IDParcela	1141	\$54,213.58	Valor
ID Árbol	1	525.70	Alm. C (kg)
DAP (cm)	46.70	\$75.18	(Mex\$)
Altura (m)	8.90	42.10	Sec. Bto C (kg/año)
Altura copa (m)	7.20	\$6.02	(Mex\$/año)
Cubierta del dosel (m²)	83.30	0.60	Escorrentamiento evitado (m³/año)
Área foliar (m²)	396.80	\$1.33	(Mex\$/año)
Biomasa foliar (kg)	29.70	1396.60	Elim. contaminación (g/año)
Índice del área foliar	4.80	\$390.95	(Mex\$/año)
Área basal (m²)	0.20	\$398.30	Beneficios totales (Mex\$/año)



Condicion copa: Regular

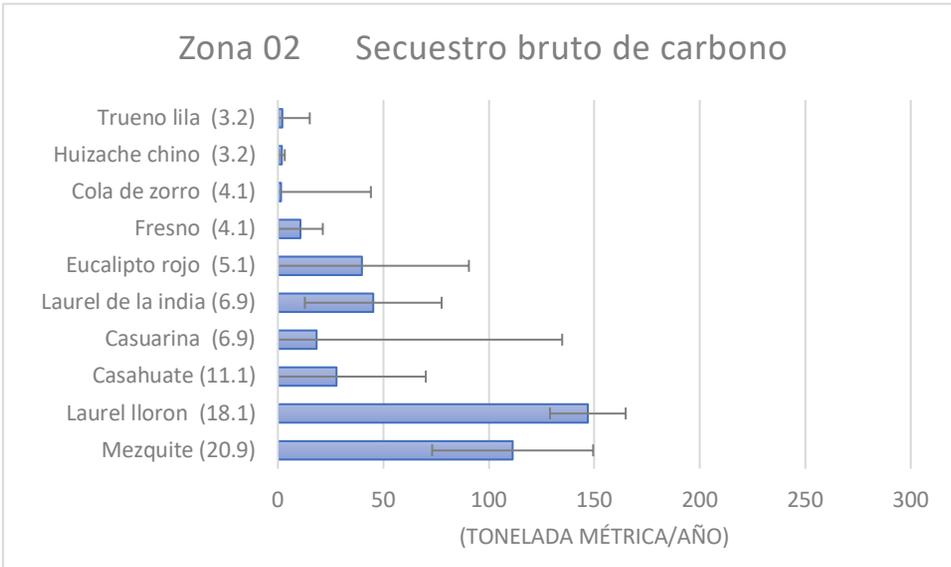
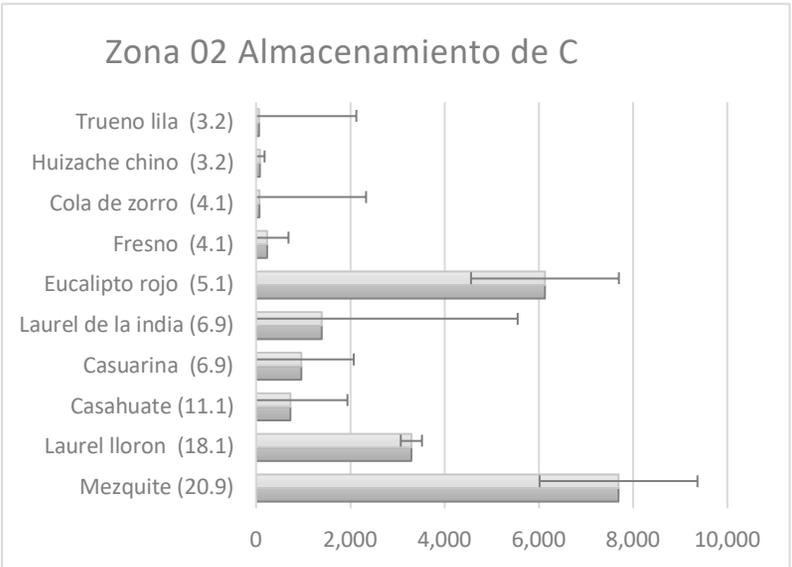
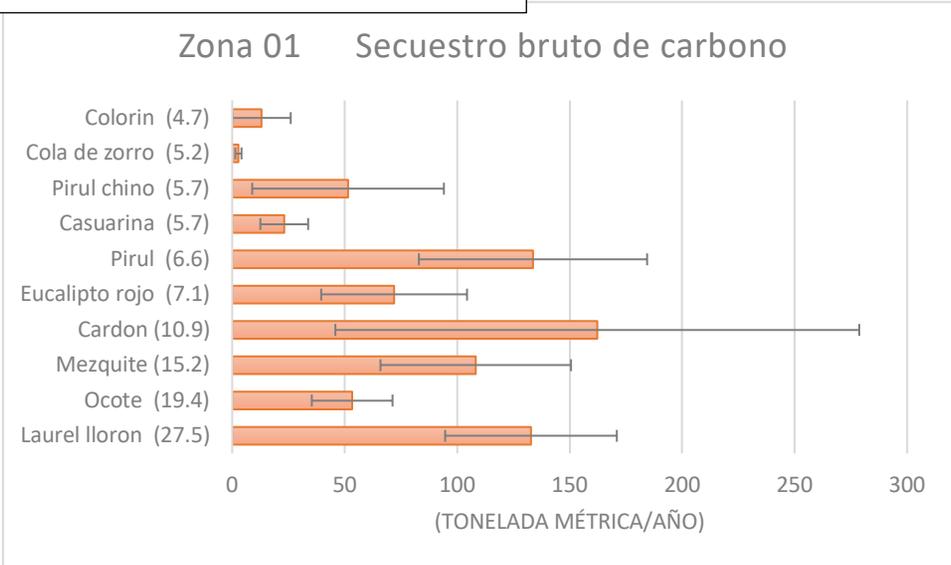
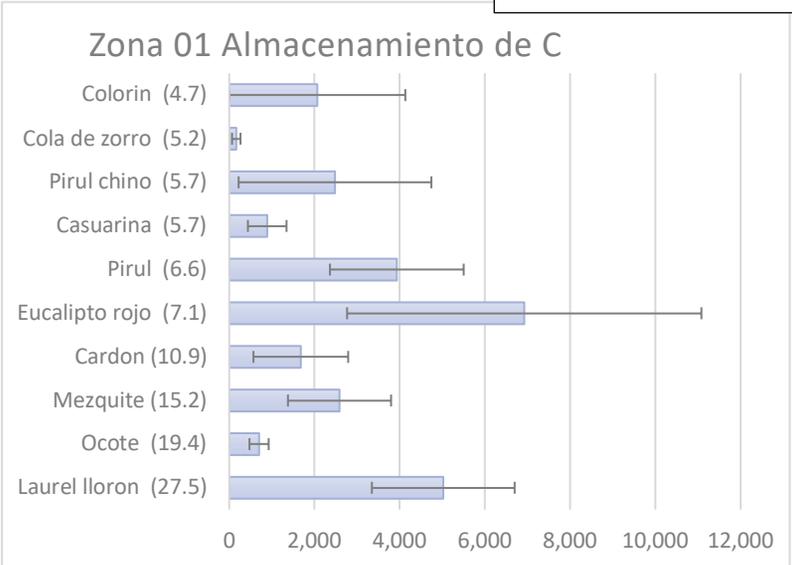
IDParcela	1066	\$3,413.46	Valor
ID Árbol	2	30.00	Alm. C (kg)
DAP (cm)	14.20	\$4.29	(Mex\$)
Altura (m)	6.80	6.80	Sec. Bto C (kg/año)
Altura copa (m)	3.50	\$0.98	(Mex\$/año)
Cubierta del dosel (m²)	13.90	0.10	Escorrentamiento evitado (m³/año)
Área foliar (m²)	40.70	\$0.14	(Mex\$/año)
Biomasa foliar (kg)	3.00	143.10	Elim. contaminación (g/año)
Índice del área foliar	2.90	\$40.06	(Mex\$/año)
Área basal (m²)	0.00	\$41.17	Beneficios totales (Mex\$/año)



IDParcela	203	\$175.41	Valor
ID Árbol	4	5.60	Alm. C (kg)
DAP (cm)	6.50	\$0.80	(Mex\$)
Altura (m)	3.70	0.10	Sec. Bto C (kg/año)
Altura copa (m)	1.90	\$0.02	(Mex\$/año)
Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	5.70	0.00	Escurrimiento evitado (m <sup>3</sup> /año)
Área foliar (m <sup>2</sup> )	1.90	\$0.01	(Mex\$/año)
Biomasa foliar (kg)	0.10	6.80	Elim. contaminación (g/año)
Índice del área foliar	0.30	\$1.91	(Mex\$/año)
Área basal (m <sup>2</sup> )	0.00	\$1.93	Beneficios totales (Mex\$/año)

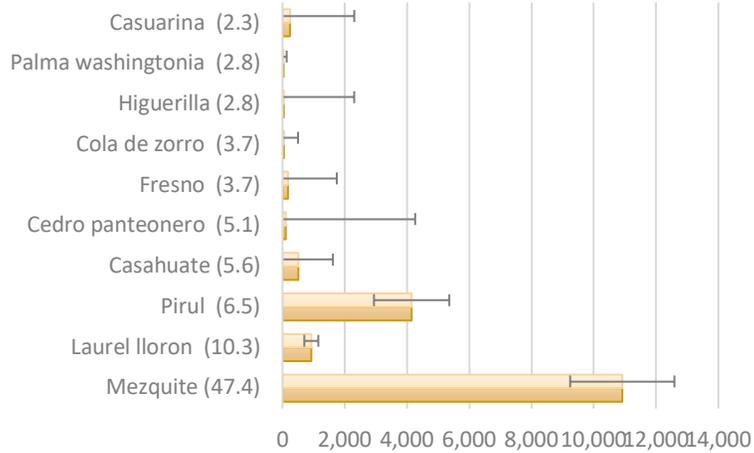
Condicion de copa: Muriendo

Anexo 3 Servicio ambiental por zona.

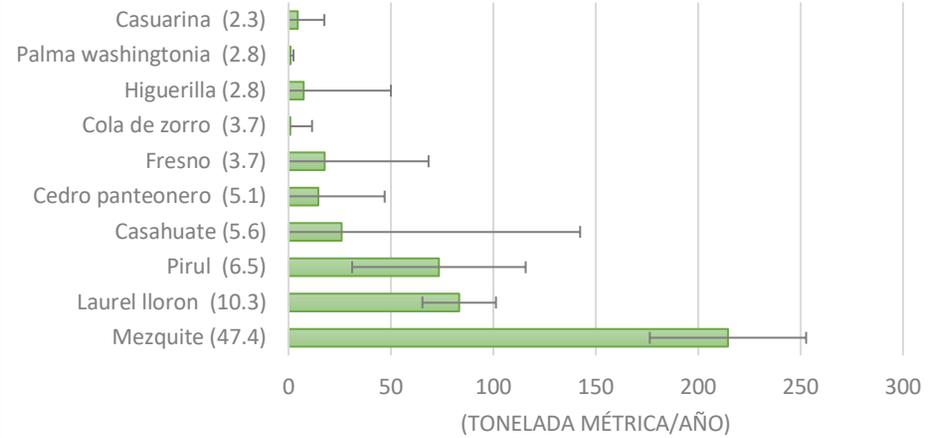




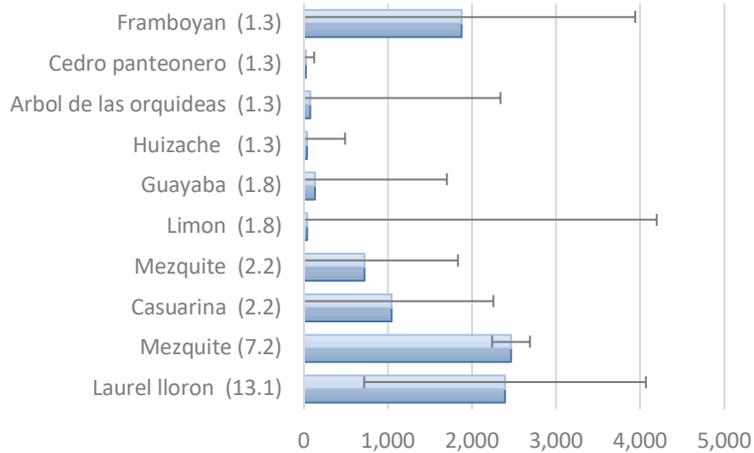
### Zona 03 Almacenamiento de C



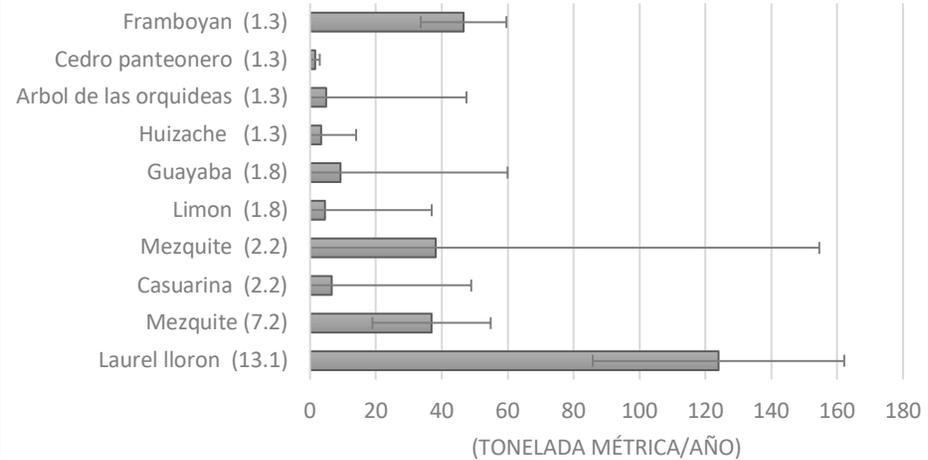
### Zona 03 Secuestro bruto de carbono



### Zona 04 Almacenamiento de C

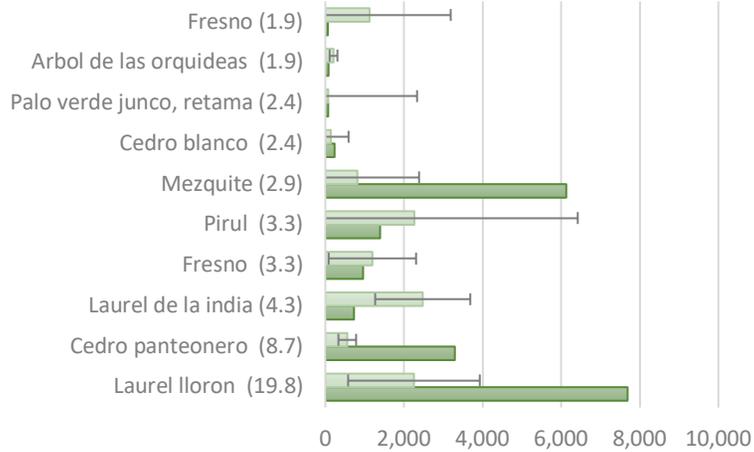


### Zona 04 Secuestro bruto de carbono

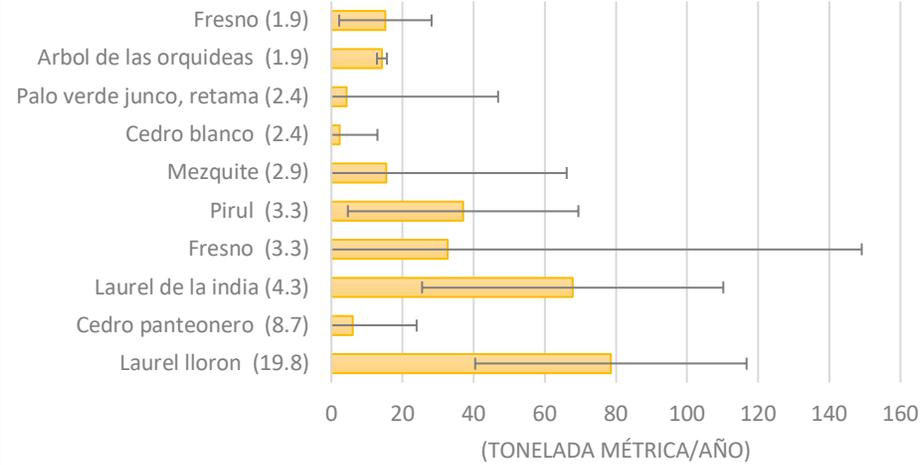




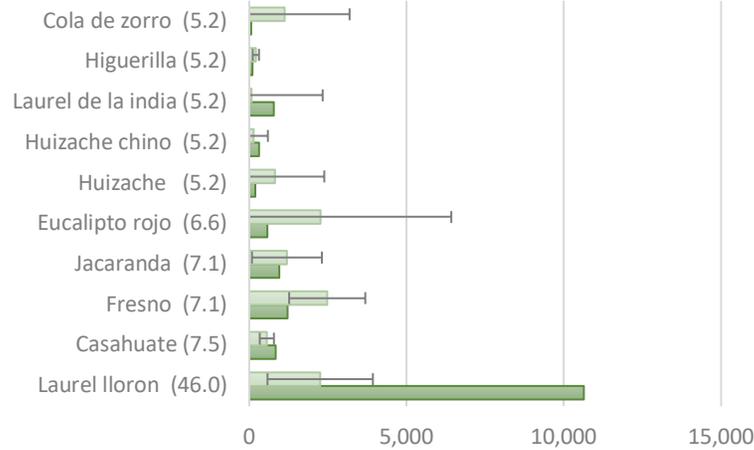
### Zona 05 Almacenamiento de C



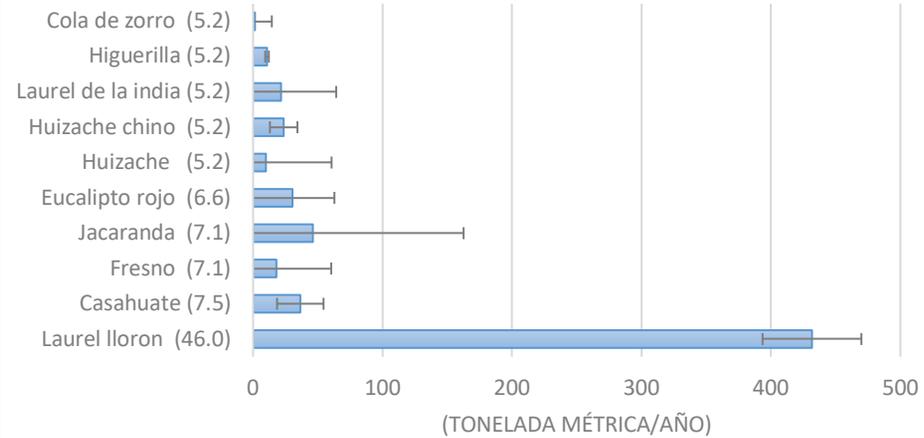
### Zona 05 Secuestro bruto de carbono



### Zona 07 Almacenamiento de C



### Zona 07 Secuestro bruto de carbono



# A 4. Comparativo de valores de arbolado y servicio ambiental



CIUDAD	% cobertura árboles	Población. (1,000)	Almacenamiento C (t)	Sec. C. (t/año)	Eliminación de cont. (t/año)	Densidad árb/ha	Almacenamiento C (t/ha)	Sec. C. (t/ha/año)	Eliminación de cont (kg/ha/año)
Toronto, ON, Canada	26.6	10,220	1,108,000	46,700	1,905	160.4	17.4	0.73	29.9
Atlanta, GA	36.7	9,415	1,220,000	42,100	1,509	275.8	35.7	1.23	44.2
Los Angeles, CA	11.1	5,993	1,151,000	69,800	1,792	48.4	9.4	0.36	14.7
New York, NY	20.9	5,212	1,225,000	38,400	1,521	65.2	15.3	0.48	19
London, ON, Canada	24.7	4,376	360,000	12,500	370	185.5	15.3	0.53	15.7
Chicago, IL	17.2	3,585	649,000	22,800	806	59.9	10.9	0.38	13.5
Phoenix, AZ	9	3,166	286,000	29,800	511	31.8	2.9	0.3	5.1
Baltimore, MD	21	2,479	517,000	16,700	390	118.5	25	0.8	18.6
Philadelphia, PA	15.7	2,113	481,000	14,600	522	61.9	14.1	0.43	15.3
Washington, DC	28.6	1,928	477,000	14,700	379	121.1	29.8	0.92	23.8
Oakville, ON , Canada	29.1	1,908	133,000	6,000	172	192.9	13.4	0.61	12.4
Albuquerque, NM	14.3	1,846	301,000	9,600	225	53.9	8.8	0.28	6.6
Boston, MA	22.3	1,183	290,000	9,500	257	82.9	20.3	0.67	18
Syracuse, NY	26.9	1,088	166,000	5,300	99	167.4	23.1	0.77	15.2
Woodbridge, NJ	29.5	986	145,000	5,000	191	164.4	24.2	0.84	31.9
Minneapolis, MN	26.4	979	227,000	8,100	277	64.8	15	0.53	18.3
San Francisco, CA	11.9	668	176,000	4,600	128	55.7	14.7	0.39	10.7
Morgantown, WV	35.5	658	84,000	2,600	65	294.5	37.7	1.17	29.2
Moorestown, NJ	28	583	106,000	3,400	107	153.4	27.9	0.9	28.1
Hartford, CT	25.9	568	130,000	3,900	52	124.6	28.5	0.86	11.5
Jersey City, NJ	11.5	136	19,000	800	37	35.5	5	0.21	9.6
Casper, WY	8.9	123	34,000	1,100	34	22.5	6.2	0.2	6.2
Freehold, NJ	34.4	48	18,000	500	20	94.6	35.9	0.98	39.6
<b>PROMEDIO</b>	22.44	2,577	404,478	16,022	494	114.6	19.0	0.6	19.0
<b>MINIMO</b>	8.9	48	18,000	500	20	22.5	2.9	0.2	5.1
<b>MAXIMO</b>	36.7	10,220	1,225,000	69,800	1,905	294.5	37.7	1.23	44.2
<b>Desv STD</b>	8.57	2,804	398,743	17,917	593	75.00	10.19	0.30	10.47
<b>Coef Variación</b>	<b>38.2%</b>	<b>108.8%</b>	<b>98.6%</b>	<b>111.8%</b>	<b>119.9%</b>	<b>65.5%</b>	<b>53.7%</b>	<b>47.1%</b>	<b>55.1%</b>

Valores por HECTAREA



## Apéndice 5. Modelo y mediciones de campo de i-Tree Eco

i-Tree Eco está diseñado para usar datos de campo estandarizados de parcelas ubicadas al azar y datos locales de la contaminación del aire y meteorológicos por hora para cuantificar la estructura del bosque urbano y sus numerosos efectos (Nowak y Crane 2000), incluyendo:

- Estructura del bosque urbano (p. ej., composición de las especies, salud de los árboles, área de las hojas, etc.).
- Cantidad de contaminación del aire que el bosque urbano elimina por hora y su mejoramiento de la calidad del aire asociado a lo largo del año.
- Carbono total almacenado y carbono neto secuestrado anualmente por el bosque urbano.
- Efectos de los árboles en el uso de la energía de los edificios y efectos consiguientes en las emisiones de dióxido de carbono de las fuentes eléctricas.
- Valor estructural del bosque, así como el valor para la eliminación de la contaminación del aire y almacenamiento y secuestro de carbono.
- Posible impacto de infestaciones de plagas, como el escarabajo asiático de cuerno largo, el barrenador esmeralda del fresno, la lagarta peluda y la enfermedad holandesa del olmo.

Típicamente, todos los datos de campo se recopilan durante la temporada de hojas para evaluar correctamente el dosel de los árboles. La recopilación típica de datos (la recopilación de datos actual puede variar según el usuario) incluye uso de la tierra, cubierta del suelo y de los árboles, características individuales de los árboles de las especies, diámetro del tallo, altura, ancho de la copa, copa faltante y muerte regresiva, y la distancia y dirección a edificios residenciales (Nowak et al 2005; Nowak et al 2008).

Durante la recopilación de datos, los árboles se identifican a la clasificación taxonómica más específica posible. Los árboles que no se clasifican a nivel de la especie pueden clasificarse por género (p. ej., fresno) o grupo de especie (p.ej., madera noble o latifoliada). En este reporte, la especie, género o grupo de especie de los árboles se denomina de manera colectiva como especie del árbol.

Características de los árboles: Se evaluó el área de las hojas de los árboles usando las mediciones de las dimensiones de la copa y el porcentaje de copa faltante. En caso de que dichas variables no se hayan recopilado, el modelo las calcula. No existe disponible un análisis de especies invasivas para estudios fuera de Estados Unidos. Para EEUU, las especies invasivas se identifican usando una lista de especies invasivas para el estado en el que se ubica el bosque urbano. Las listas no son exhaustivas y cubren especies invasivas con varios grados de invasión y distribución. En casos donde un estado no tuvo una lista de especies invasivas, se crea una lista con base en las listas de los estados adyacentes. Las especies de árboles que se identifican como invasivas por la lista estatal de especies invasivas se comparan con los datos de distribución de las nativas. Esto ayuda a eliminar a las especies que están en la lista estatal de especies invasivas, pero que son nativas del área de estudio.

Eliminación de la contaminación del aire: La eliminación de la contaminación se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y material particulado menor a 2.5 micrones. El material particulado menor a 10 micrones ( $PM_{10}$ ) es otro contaminante importante del aire. Dado que i-Tree Eco analiza material particulado menor a 2.5 micrones ( $PM_{2.5}$ ) el cual es una subserie de  $PM_{10}$ ,  $PM_{10}$  no se incluye en este análisis.  $PM_{2.5}$  por lo general es más relevante en las discusiones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud humana.

Los cálculos de la eliminación de la contaminación del aire se derivan de los cálculos de la resistencia del dosel de los árboles al ozono, sulfuro y dióxido de nitrógeno por hora con base en un híbrido de los modelos de deposición de doseles de hojas grandes y de multicapas (Balducchi 1988; Balducchi et al 1987). Ya que la eliminación de monóxido de carbono y material particulado por la vegetación no está directamente relacionada con la transpiración, los índices de eliminación (velocidades de deposición) para dichos contaminantes se basan en los valores promedio medidos de la literatura (Bidwell y Fraser 1972; Lovett 1994) que se modificaron según la fenología y área de las hojas. La eliminación del particulado incorporó un índice de suspensión del 50 por ciento de partículas de regreso a la atmósfera (Zinke



1967). Las últimas actualizaciones (2011) al modelaje de la calidad del aire se basan en mejores simulaciones del índice del área de las hojas, procesamiento e interpolación del estado del tiempo y la contaminación, y valores monetarios actualizados de los contaminantes (Hirabayashi et al 2011; Hirabayashi et al 2012; Hirabayashi 2011).

Los árboles eliminan  $PM_{2.5}$  cuando el material particulado se deposita en la superficie de las hojas (Nowak et al 2013). Dicho  $PM_{2.5}$  depositado puede volverse a suspender en la atmósfera o eliminarse durante la lluvia y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede conducir a una eliminación y valor de la contaminación positiva o negativa dependiendo de varios factores atmosféricos. Por lo general, la eliminación de  $PM_{2.5}$  es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, existen casos donde la eliminación neta es negativa o las partículas vuelven a suspender conducen a mayores concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (p. ej., sin lluvia), los árboles vuelven a suspender más partículas de las que eliminan. La re suspensión puede conducir a un aumento general de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  si las condiciones de la capa límite son menores durante los períodos de re suspensión neta que durante los períodos de eliminación neta. Debido a que los valores de eliminación de la contaminación se basan en el cambio en la concentración de la contaminación, es posible contar con situaciones donde los árboles eliminan  $PM_{2.5}$  pero aumentan las concentraciones y por ello tienen valores negativos durante períodos positivos de eliminación general. Dichos eventos no son comunes, pero pueden suceder.

Para reportes en Estados Unidos, el valor predeterminado de la eliminación de la contaminación del aire se calcula con base en la incidencia local de los efectos adversos a la salud y en los costos nacionales de externalidades promedio. El número de efectos adversos a la salud y el valor económico asociado se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno y material particulado menor a 2.5 micras usando datos del Programa de Asignaciones y Análisis de Beneficios Ambientales (BenMAP) de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (Nowak et al 2014). El modelo usa un enfoque en función del daño que se basa en los cambios locales de la concentración de la contaminación y la población. Los costos nacionales de externalidades promedio se usan para calcular el valor de la eliminación del monóxido de carbono (Murray et al 1994).

Para reportes internacionales, se usaron valores locales de la contaminación definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en los valores europeos de externalidades promedio (van Essen et al 2011) o en las ecuaciones de regresión BenMAP (Nowak et al 2014) que incorporan cálculos de población definidos por el usuario. Luego los valores se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario.

Para este análisis, el valor de la eliminación de la contaminación se calcula con base en los precios de Mex\$32,197 por tonelada métrica (monóxido de carbono), Mex\$453,466 por tonelada métrica (ozono), Mex\$67,728 por tonelada métrica (dióxido de nitrógeno), Mex\$24,675 por tonelada métrica (dióxido de sulfuro), Mex\$0 por tonelada métrica (material particulado menor a 2.5 micrones), por no tener datos de las estaciones locales.

Almacenamiento y secuestro de carbono: El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en las partes de la vegetación leñosa sobre el suelo y bajo el mismo. Para calcular el almacenamiento actual de carbono, se calcula la biomasa de cada árbol usando ecuaciones de la literatura y los datos de los árboles medidos. Los árboles maduros con mantenimiento tienden a tener menos biomasa de la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque (Nowak 1994). Para ajustar la diferencia, los resultados de la biomasa para árboles urbanos maduros se multiplicaron por 0.8. No se hizo ninguna modificación para árboles en condiciones naturales. La biomasa del peso seco de los árboles se convirtió a carbono almacenado multiplicándola por 0.5.

El secuestro de carbono es la eliminación del dióxido de carbono del aire por las plantas. Para calcular la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente, se añadió el crecimiento promedio del diámetro del género correspondiente y la clase de diámetro y condición del árbol al diámetro existente del mismo (año x) para calcular el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año x+1.



Los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se basan en los valores de carbono locales calculados o personalizados. Para los reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en el valor del carbono para Estados Unidos (Agencia de Protección Ambiental de EEUU 2015, Grupo de Trabajo Interagencial del Costo Social del Carbono 2015) y se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario.

Para este análisis, los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se calculan con base en Mex\$143 por tonelada métrica.

Producción de oxígeno: La cantidad de oxígeno producido se calcula a partir del secuestro de carbono con base en los pesos atómicos: liberación neta de O<sub>2</sub> (kg/año) = secuestro neto de C (kg/año) x 32/12. Para calcular el índice de secuestro neto de carbono, la cantidad de carbono secuestrado como resultado del crecimiento del árbol se reduce por la cantidad perdida que resulta de la mortalidad del árbol. Por lo tanto, el secuestro neto de carbono y la producción anual neta de oxígeno del bosque urbano consideran la descomposición (Nowak et al 2007). Para proyectos de inventario completo, la producción de oxígeno se calcula a partir del secuestro bruto de carbono y no considera la descomposición.

Escurrimiento evitado: El escurrimiento superficial evitado anual se calcula con base en las precipitaciones interceptadas por la vegetación, en particular la diferencia entre el escurrimiento anual con y sin vegetación. Aunque las hojas de los árboles, las ramas y la corteza pueden interceptar la lluvia y mitigar así el escurrimiento evitado, sólo se toman en cuenta las precipitaciones interceptadas por las hojas.

El valor del escurrimiento evitado se basa en los valores locales calculados o los definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, se utiliza el valor promedio nacional para Estados Unidos y se convierte al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario. El valor de EEUU para el escurrimiento evitado se basa en las Series del Manual de Árboles Comunitarios del Servicio Forestal de EEUU (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 del escurrimiento evitado se calcula con base en el precio de Mex\$2.36 por m<sup>3</sup>.

Valores estructurales: El valor estructural es el valor de un árbol con base en el mismo recurso físico (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar). Los valores estructurales se basan en los procedimientos de valoración del Consejo de Tasadores de Árboles y el Paisaje, que usa la información de especie, diámetro, condición y lugar del árbol (Nowak et al 2002a; 2002b). El valor estructural puede no incluirse en proyectos internacionales si no se cuentan con datos locales suficientes para concluir los procedimientos de valoración.

Posibles impactos de las plagas: El análisis completo de posible riesgo de plagas no está disponible para estudios fuera de Estados Unidos.

Efectos de los árboles relacionados: El valor relativo de los beneficios de los árboles reportado en el capítulo 4.e, se calcula para mostrar a lo que el almacenamiento y secuestro de carbono y la eliminación de la contaminación del aire equivalen en cantidades de emisiones de carbono municipal, emisiones de automóviles de pasajeros y emisiones de viviendas.

Las emisiones de carbono municipal se basan en las emisiones de carbono per cápita de EEUU 2010 (Centro de Análisis de la Información de Dióxido de Carbono 2010). Las emisiones per cápita se multiplicaron por la población de la ciudad para calcular las emisiones totales de carbono de la ciudad.

Los índices de emisión de vehículos ligeros (g/mi) para CO, NO<sub>x</sub>, COV, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> para 2010 (Buro de Estadística del Transporte 2010; Heirigs et al 2004), PM<sub>2.5</sub> para 2011-2015 (Junta de Recursos del Aire de California 2013) y CO<sub>2</sub> para 2011 (Agencia de Protección Ambiental de EEUU 2010) se multiplicaron por las

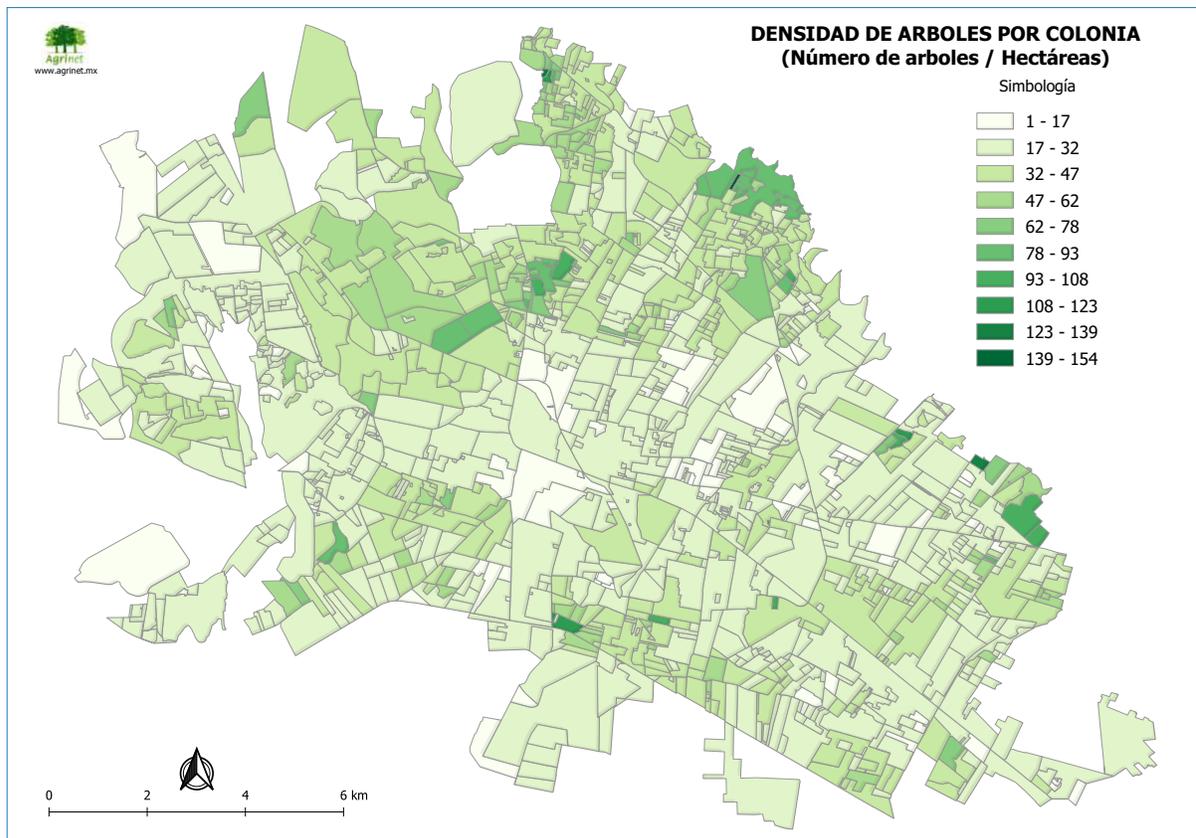
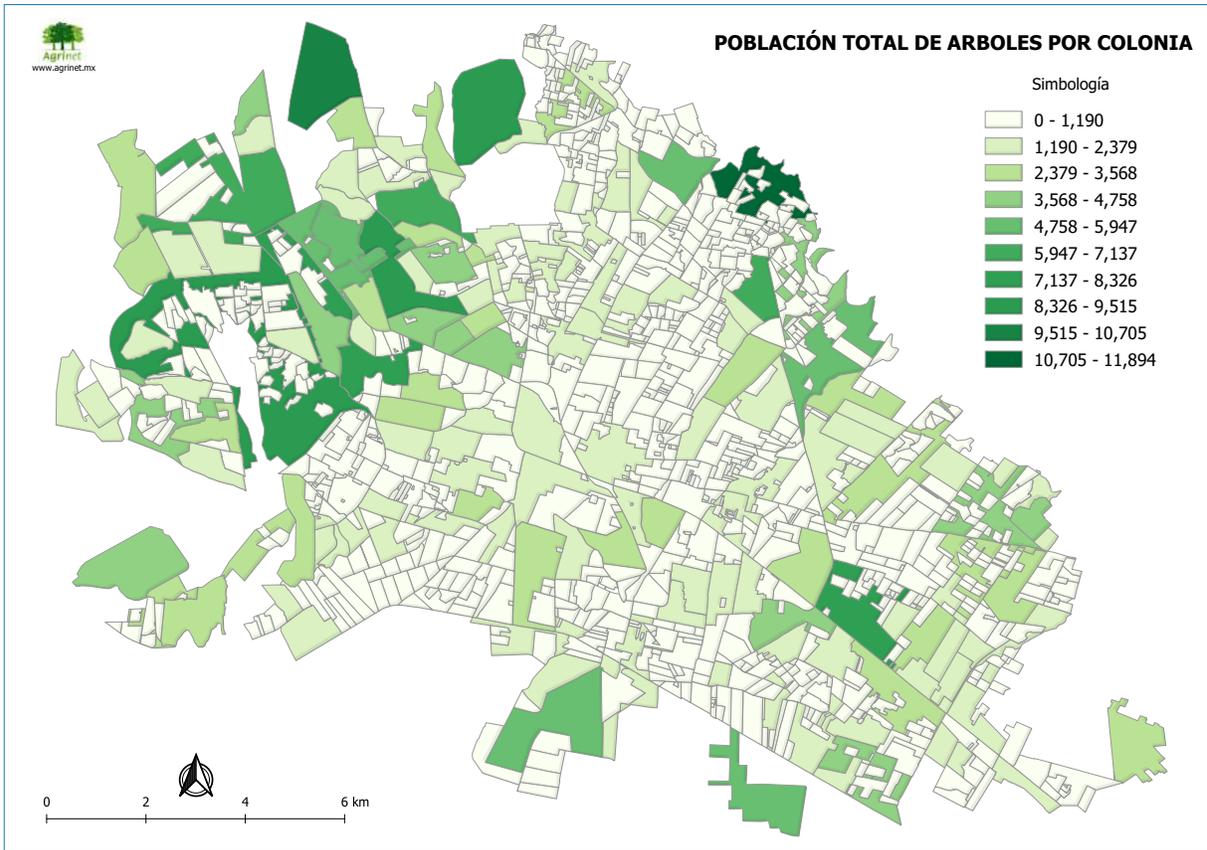


millas promedio conducidas por vehículo en 2011 (Administración Federal de Caminos 2013) para determinar las emisiones promedio por vehículo.

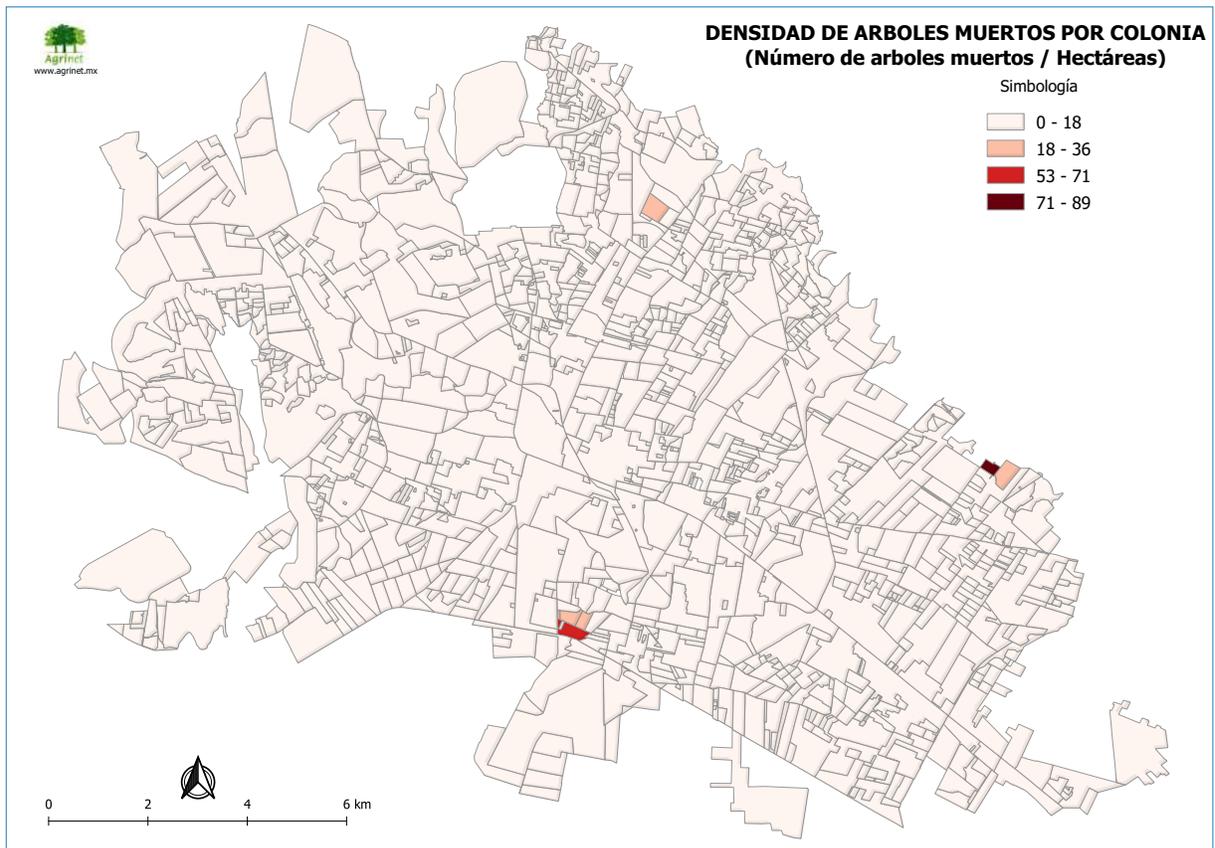
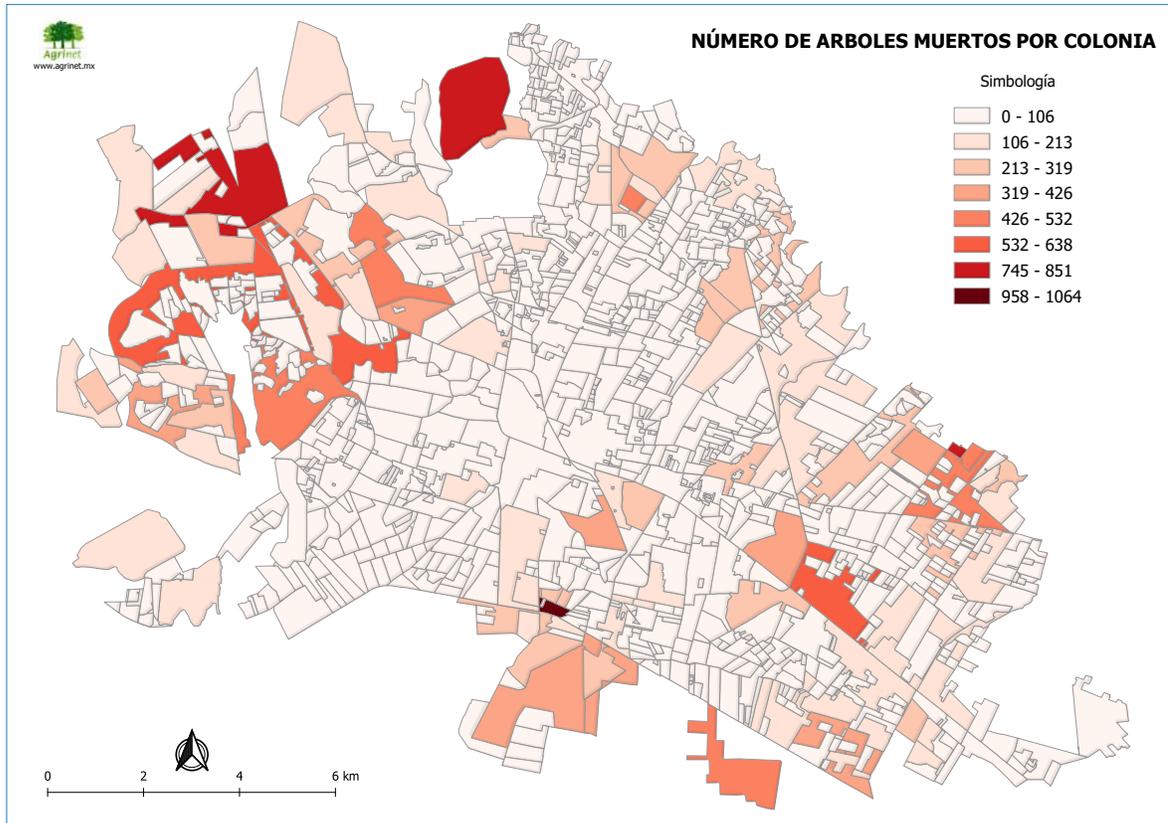
Las emisiones de las viviendas se basan en la electricidad promedio kWh utilizada, gas natural Btu utilizado, gasolina Btu utilizada, keroseno Btu utilizado, LPG Btu utilizado, y madera Btu utilizada por vivienda en 2009 (Administración de Información de Energía 2013; Administración de Información de Energía 2014)

- Las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de las plantas eléctricas por kWh son de Leonardo Academy 2011. La emisión de CO por kWh asume que 1/3 del uno por ciento de emisiones de C es CO con base en la Administración de Información de Energía 1994. La emisión de PM<sub>10</sub> por kWh de Layton 2004.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO por Btu para gas natural, propano y butano (promedio usado para representar LPG), Combustible #4 y #6 (promedio usado para representar gasolina y keroseno) de Leonardo Academy 2011
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> por Btu de madera de la Administración de Información de Energía 2014.
- Las emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y Sox por Btu con base en el total de emisiones y quema de madera (toneladas) de. (Ministerio de la Columbia Británica 2005; Comisión de Silvicultura de Georgia 2009

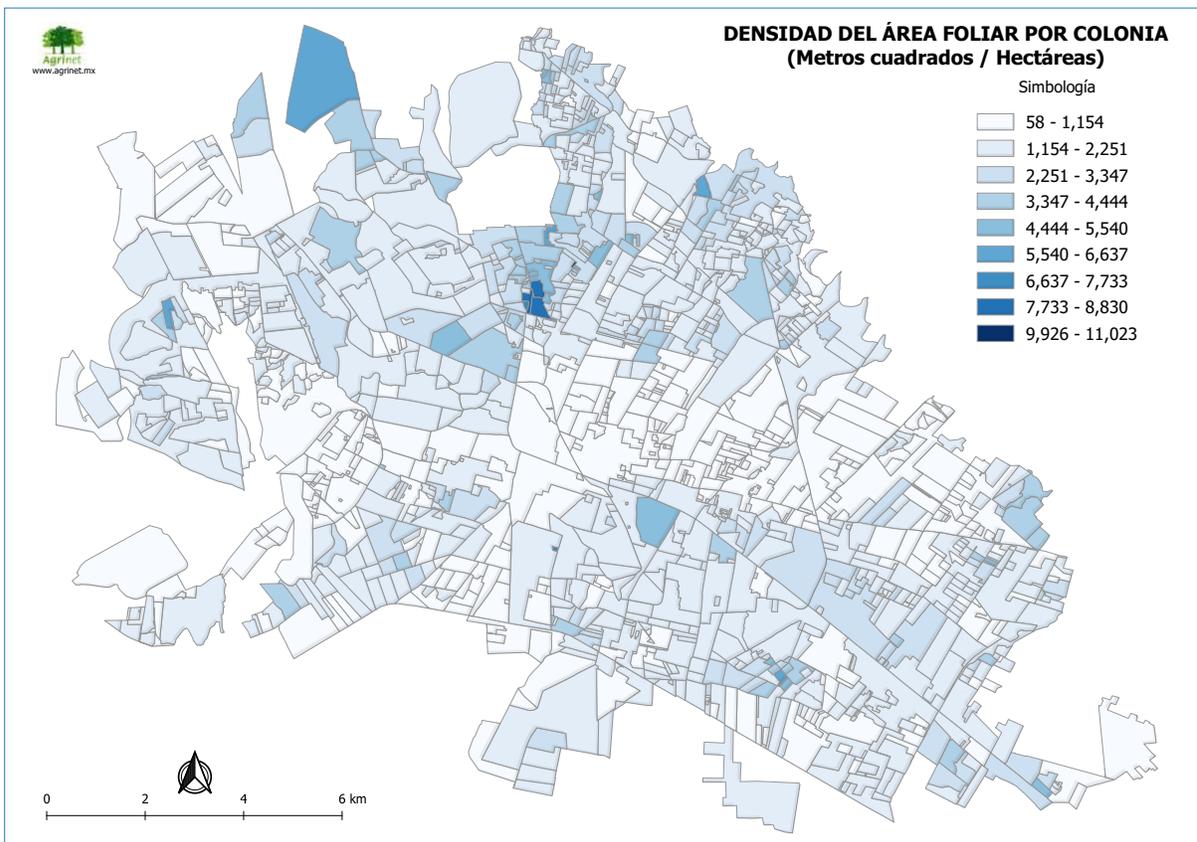
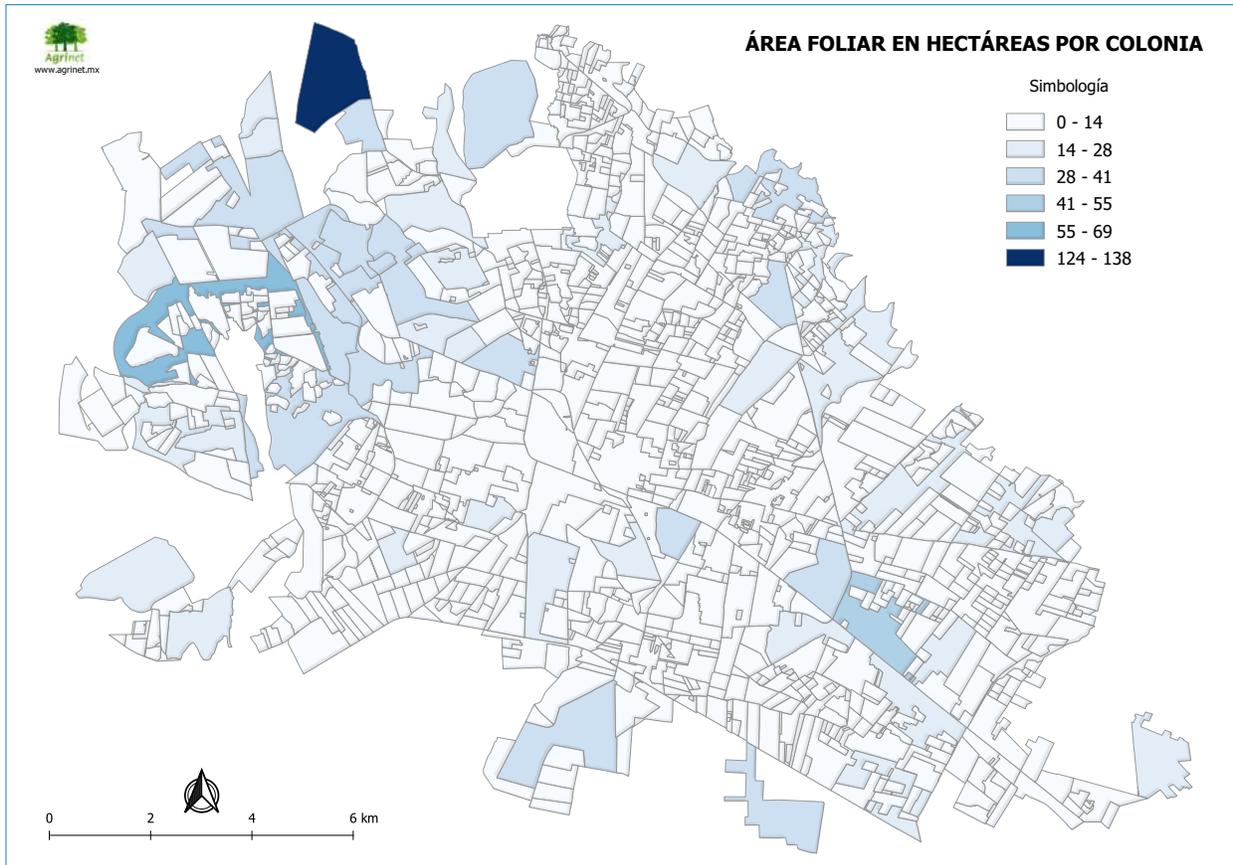
# Anexo 6. Imágenes geográficas del inventario.



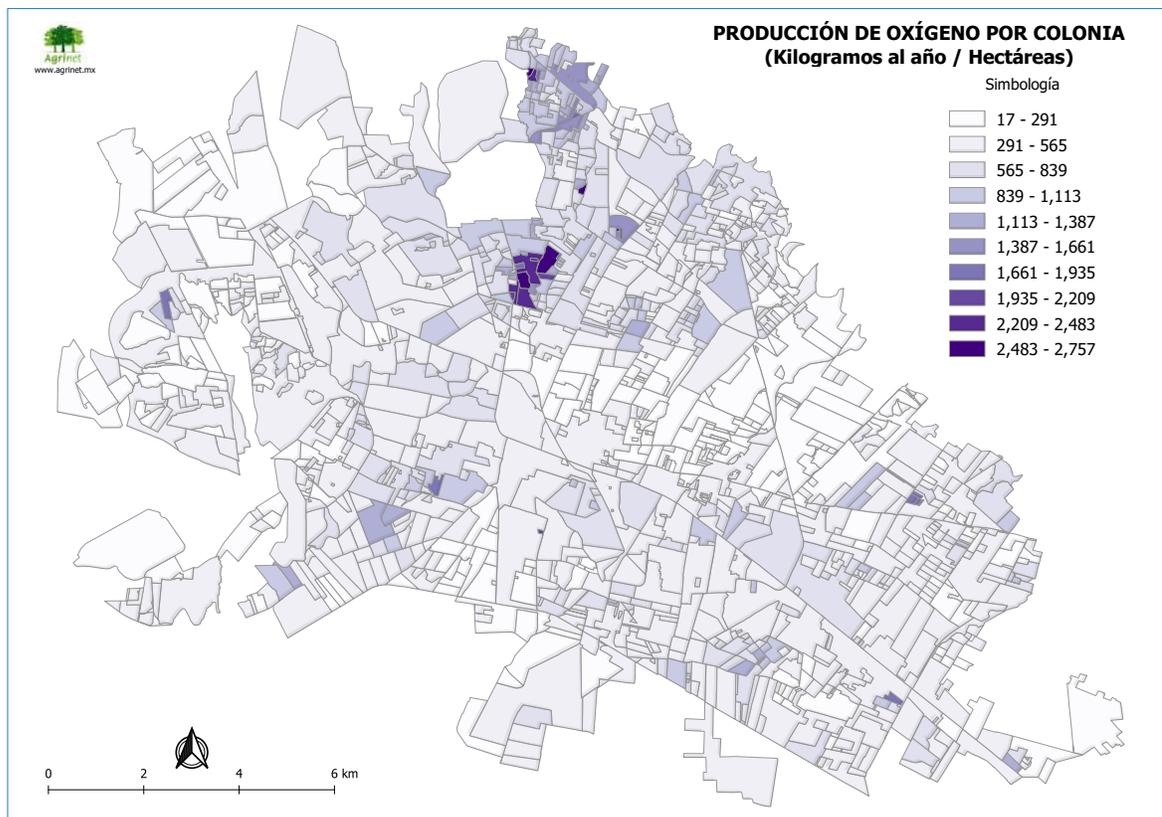
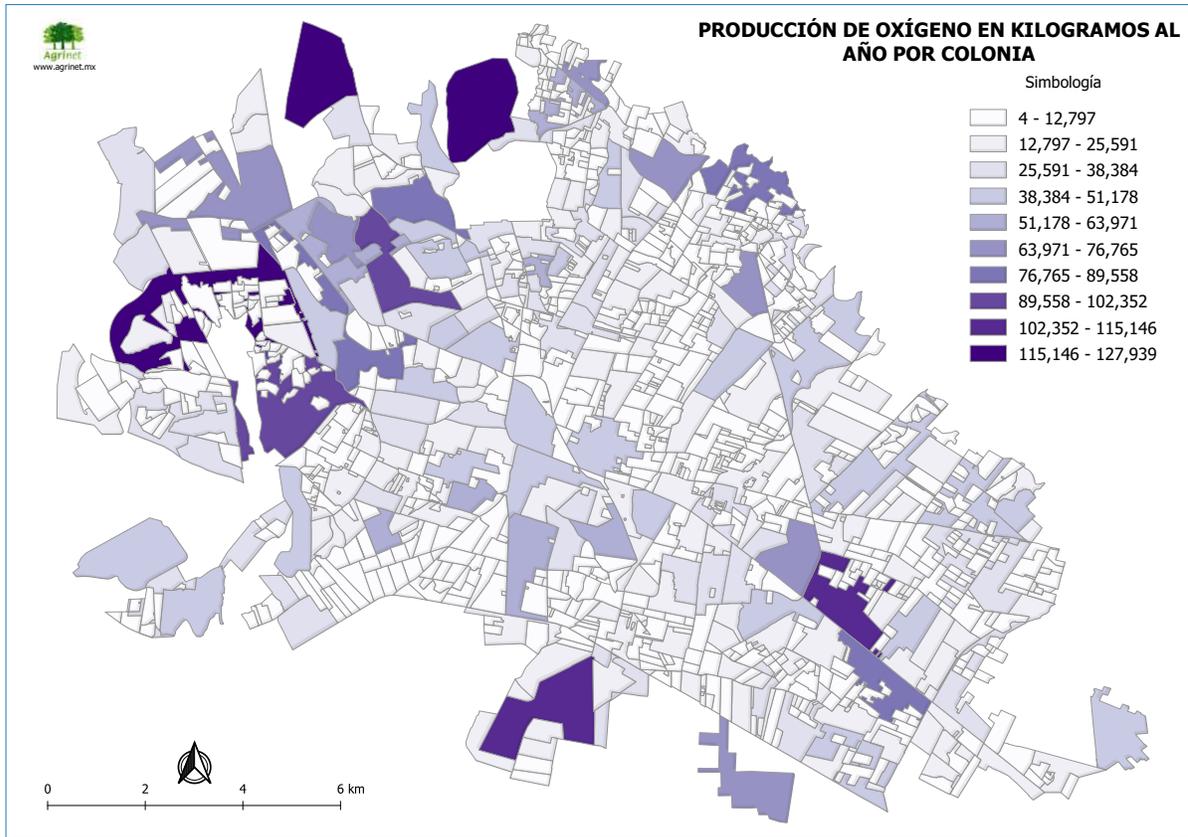
# Anexo 6. Imágenes geográficas del inventario.



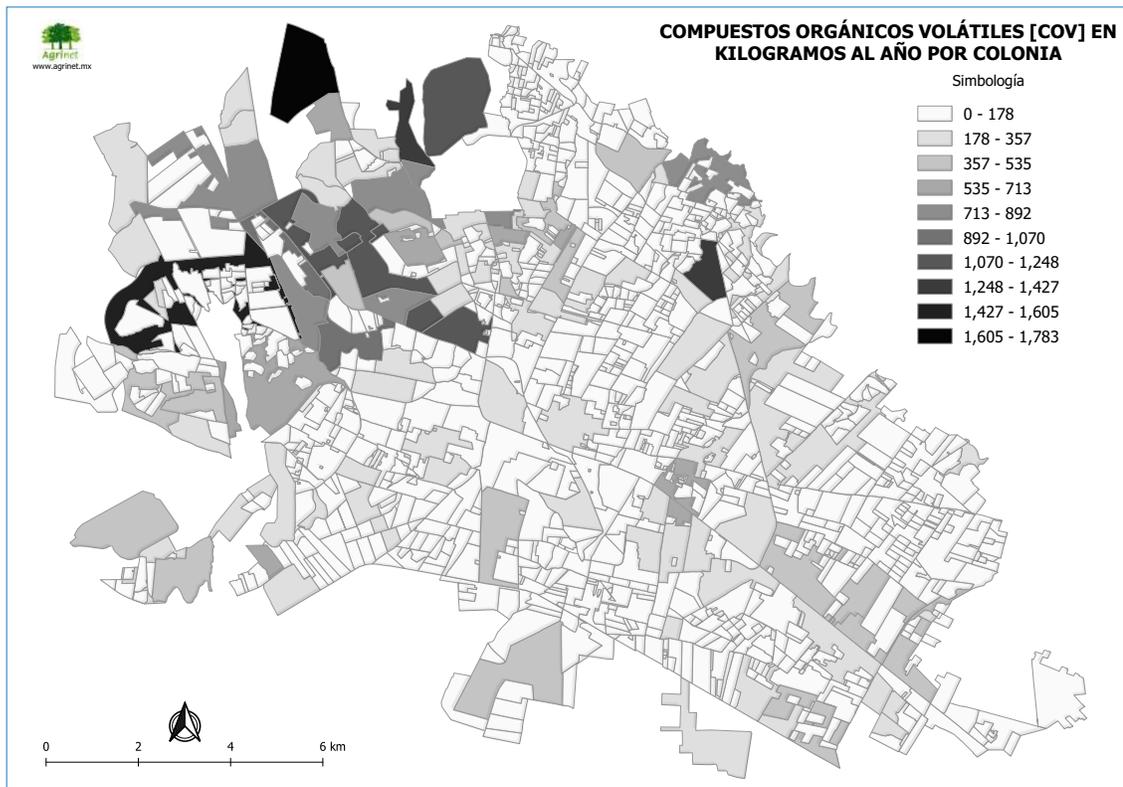
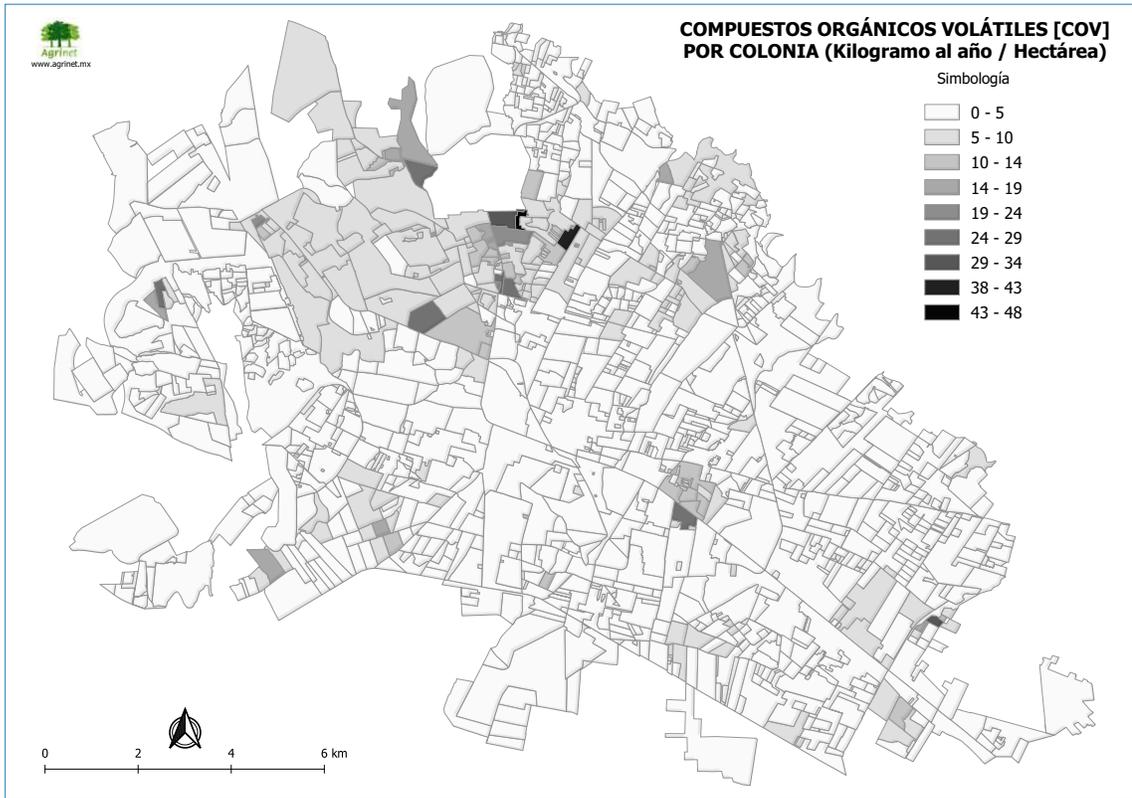
# Anexo 6. Imágenes geográficas del inventario.



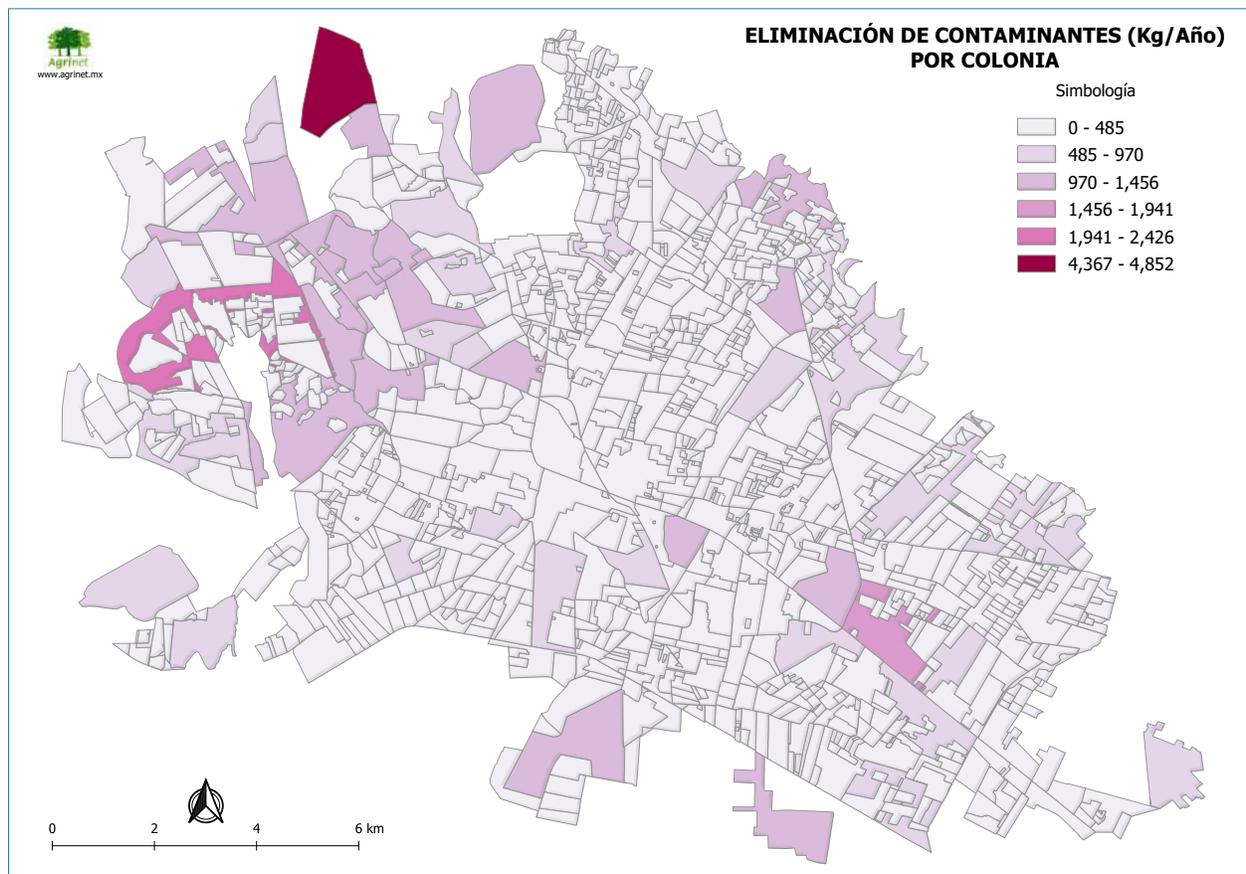
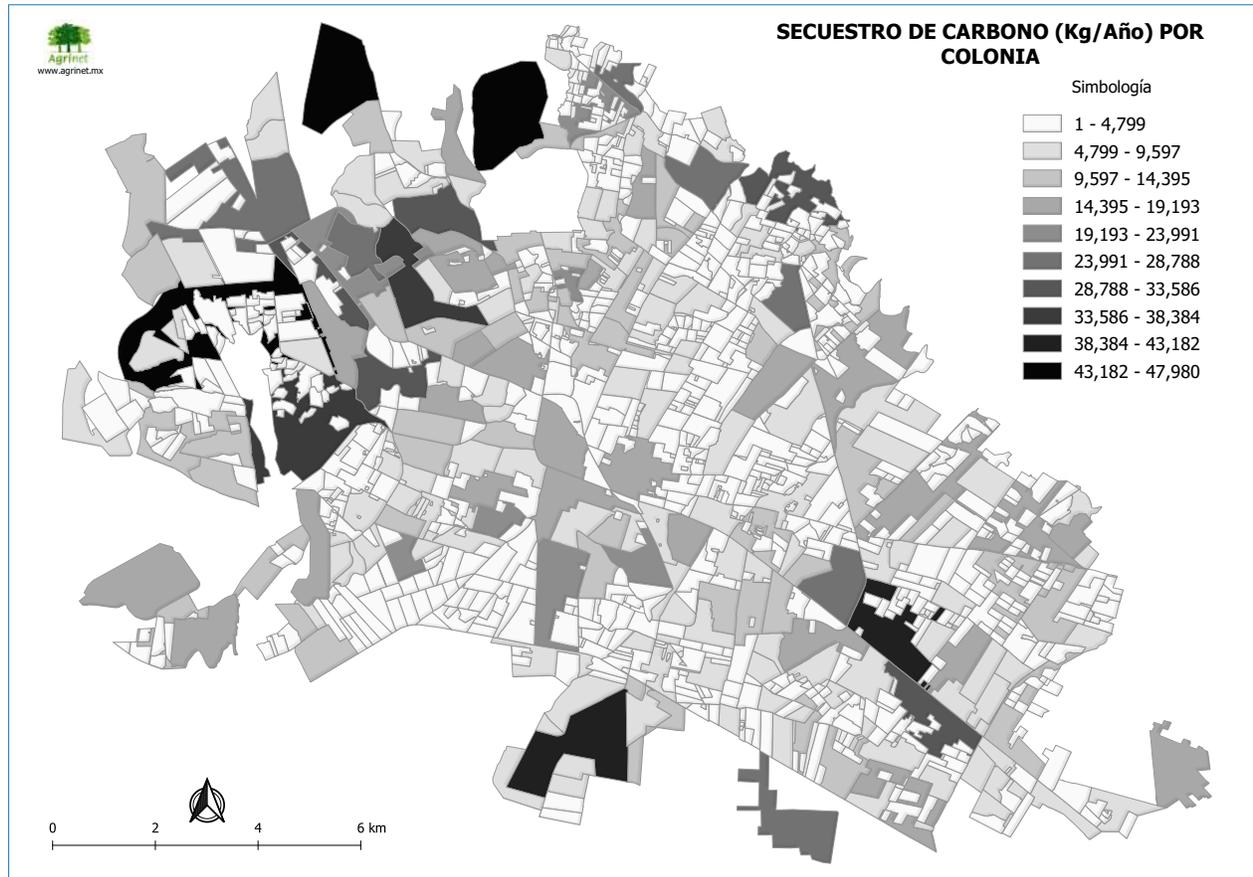
# Anexo 6. Imágenes geográficas del inventario.

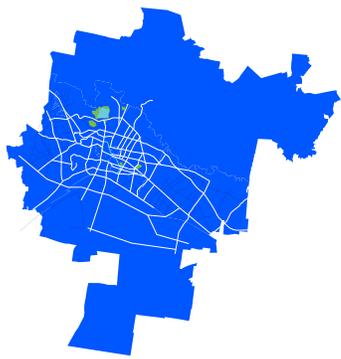


## Anexo 6. Imágenes geográficas del inventario.



# Anexo 6. Imágenes geográficas del inventario.





# INVENTARIO DEL ARBOLADO URBANO LEÓN, GTO.

