

***Junio 5, 2022***

***Estado de biodiversidad, índice de  
biodiversidad y valorización de  
servicios ecosistémicos que proveen el  
arbolado de la zona urbana del  
Municipio de Querétaro***

Autor: Horacio de la Concha D.



## Agradecimientos,

Publicado 5 de Julio de 2022

### Autor

M.Sc. Horacio de la Concha, director general de Agrinet SA de CV, quien fue responsable del perfil del proyecto, integridad de la información y elaboración del análisis de datos y resultados del reporte.

### Agradecimientos del autor

En primera instancia, deseo agradecer al **INSTITUTO DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO DEL MUNICIPIO DE QUERÉTARO** por el esfuerzo realizado para la realización de este estudio. Gracias a la gestión del Instituto y con especial referencia a:

Maestro Alejandro Angulo Cabrera  
Director del IECC

M.C. Francisco Javier García Meléndez  
Coordinador de Investigación Ambiental

Asimismo, deseo agradecer a todas aquellas personas que estuvieron involucradas en la administración del proyecto como al ing. Mario A. Ramírez Ramírez Director de operación de GRUPO COPRI

Finalmente quien estuvo en la toma de datos y sin cuya colaboración y apoyo hubiera sido imposible su realización:

Como líderes de cuadrilla

y ayudantes

Alexis Emir Zapata Trejo  
Rubí Martínez Sandoval  
Irene Mendez Becies  
Arnulfo González Dzib  
Carmen Palestina Rees

Victor Vanuel Lopez Muñoz  
Patricia Sobreyra Paniagua  
Braulio Zamora Aguilar  
Jorge López Millán  
Ramon Senties Cardiel  
Esther Santos Vargas  
Adriana de la Torre de la Concha



## Tabla de contenido

ÍNDICE DE FIGURAS .....	1
ÍNDICE DE CUADROS .....	2
RESUMEN EJECUTIVO .....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS. ....	7
Objetivo General. ....	7
<b>Objetivos particulares. ....</b>	<b>7</b>
3. MÉTODOS.....	8
Parcelas.....	8
Árboles dentro de las parcelas.....	12
Exposición a la luz.....	13
Condición de copa .....	14
Información de gestión.....	15
Listado de especies. ....	17
Análisis de datos.....	18
Consideraciones en el procesamiento de datos. ....	18
4. REPORTE GENERAL DE LA ACTIVIDAD.....	21
5. RESULTADOS: COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA.....	24
Tamaño de los árboles .....	30
Índices de desempeño .....	31
Biodiversidad .....	34
6. SERVICIOS AMBIENTALES.....	37
Carbono (secuestro y almacenamiento) .....	37
Producción de Oxígeno.....	39
Incremento en Infiltración.....	39
Remoción de Contaminantes .....	40
Compuestos Orgánicos Volátiles.....	41
Valoración integral del servicio ecosistémico. ....	42
7. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES .....	45
Recomendaciones .....	50
Pronóstico .....	51
Distribución de la población por AGEB.....	55
8. BIBLIOGRAFÍA.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano esquemático de los polígonos a incluir en el muestreo por parcelas. ....	10
Figura 2. Croquis para toma de datos. ....	11
Figura 3. Relación de parámetros dasométricos y variables calculadas en i-Tree ECO. ....	19
Figura 4. Población por delegación (000 ha), coeficiente de variación y error estándar. ....	24
Figura 5. Principales familias de las especies encontradas en Querétaro. ....	25
Figura 6. Especies más importantes en el arbolado de la ciudad de Querétaro ....	26
Figura 7. Diámetro a la altura de pecho de las 10 principales especies de árboles. ....	30
Figura 8. Relación DAP-H de árboles muestreados para análisis de tamaño. ....	31
Figura 9. Condición de copa de las 10 principales especies por número de individuos y de acuerdo con la escala utilizada por i-Tree. ....	33
Figura 10. Producción de oxígeno por delegación ....	39
Figura 11. Eliminación de los principales contaminantes por mes. ....	40
Figura 12. Índice Vital Ecosistémico por delegación. ....	42
Figura 13. Índice Económico del servicio ambiental del arbolado de Querétaro. ....	43
Figura 14. Índice Arbóreo con los tres índices anteriores para cada delegación. ....	44
Figura 15. Valor del servicio ambiental proporcionado por el arbolado de Querétaro. ....	49
Figura 16. Condiciones y efecto en la población y cobertura de una corrida con PRONOSTICOS. ....	51
Figura 17. Respuesta de la población en el escenario base. ....	52
Figura 18. Valor monetario del servicio ambiental de remoción de contaminantes. ....	52
Figura 19. Cambio de población en el escenario de ejemplo. ....	54
Figura 20. Cambio en la capacidad de eliminar contaminantes en el escenario ejemplo. ....	54
Figura 21. Cantidad o población de árboles por AGEBA. ....	56

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Servicios ambientales del arbolado urbano (De la Concha, H,2017). .....	5
Cuadro 2. Parcelas para muestrear por delegación y la intensidad de muestreo resultante. ....	9
Cuadro 3. Parcelas para muestreo de áreas jardinadas seleccionadas por categoría.....	9
Cuadro 4. Categorías para seleccionar según el uso y cobertura del terreno. ....	12
Cuadro 5. Parámetros dasométricos a medir. ....	13
Cuadro 6. Categorías para evaluar condición de copa. ....	14
Cuadro 7. Categorías y su significado para capturar la información de gestión.....	16
Cuadro 8. Parcelas y árboles medidos. ....	21
Cuadro 9. Uso de la tierra establecido con las parcelas en 4 delegaciones. ....	22
Cuadro 10. Uso de la tierra del restante de delegaciones. ....	22
Cuadro 11. Cobertura del suelo evaluada para cada delegación. ....	23
Cuadro 12. Densidad de árboles por hectárea por delegación. ....	25
Cuadro 13. Especies más importantes por delegación por su población y condición. ....	27
Cuadro 14. Datos generados por i-Tree por delegación del arbolado.....	28
Cuadro 15. IVA calculado para cada delegación ordenado de mayor a menor. ....	28
Cuadro 16. Árboles públicos contra privados encontrados. ....	29
Cuadro 17. Ubicación de árboles con respecto a la calle. ....	29
Cuadro 18. Condiciones para las categorías de tamaño de árbol. ....	31
Cuadro 19. Valor de importancia de las primeras 10 especies. ....	32
Cuadro 20. Índice de desempeño relativo de 11 especies con más de 1%. ....	33
Cuadro 21. Cantidad y porcentaje de especies por origen y clase.....	34
Cuadro 22. Origen de las especies encontradas en el inventario. ....	35
Cuadro 23. Índices de biodiversidad calculados por i-Tree por delegación.....	35
Cuadro 24. Relación del arbolado con el carbono como servicio ambiental.....	37
Cuadro 25. Secuestro y equivalente en CO <sub>2</sub> de carbono por delegación. ....	38
Cuadro 26. Relaciones hídricas del arbolado de la ciudad de Querétaro.....	40
Cuadro 27. Eliminación de contaminantes.....	40
Cuadro 28. Compuestos Orgánicos Volátiles por Delegación.....	41
Cuadro 29. Índice de Alergenicidad por delegación. ....	42
Cuadro 30. Comparativo de datos entre arbolados de otras ciudades de México. ....	45
Cuadro 31. Necesidades de mantenimiento de largo plazo para el arbolado de Qro.....	46
Cuadro 32. Necesidades de labores urgentes a realizar en el arbolado de Querétaro.....	47
Cuadro 33. Situación del arbolado con respecto a los servicios y daños a la acera. ....	48
Cuadro 34. Programa de reforestación usado en el escenario ejemplo. ....	53

## RESUMEN EJECUTIVO

Para el inventario de la ciudad de Querétaro, los datos de **1,102** (44 ha) parcelas de campo localizadas a lo largo de la mancha urbana se analizaron usando el modelo i-Tree Eco V 6.0.24 desarrollado por el Servicio Forestal de USA, Estación de Investigación del Norte y otros organismos privados.

MÉTRICA DEL ARBOLADO	BIODIVERSIDAD	FUNCIONALIDAD
Número de árboles:	Especies más Comunes	Almacenamiento de C
791,100 (+/-45,445)	<i>Ficus benjamina</i> (15%) <i>Jacaranda mimosifolia</i> (6%) <i>Prosopis laevigata</i> (6%)	<b>112 x10<sup>3</sup> t</b> (Mex\$415 millón)
Cobertura arbórea	Familias comunes (48% pob.)	Secuestro de Carbono
8.9%	Moraceae (21%) Fabaceae (19%) Arecaceae (8%)	<b>3.5 x10<sup>3</sup> t</b> (Mex\$13.1 M/año)
Árboles < 15 cm diámetro	% introducidas (% pob)	Producción de Oxígeno
36.00%	62% (60%)	259 x10 <sup>3</sup> t/año
Densidad (árboles/ha)	Valores Estructurales	Eliminación de cont. <sup>1</sup>
43	Mex\$7.65 mil millones	<b>81.2 t/año</b> (Mex\$73 millón/año)

El área de la mancha urbana bajo estudio se estableció en **18,521 ha** donde se identificaron 7 delegaciones y se dispusieron las 1,102 parcelas al azar. Se encontraron **119** especies pero **10** especies, en su mayoría introducidas, solamente representan el **50%** de la población que mostró un área foliar de **3.9x10<sup>3</sup> ha**. ( $\pm 308$ ). Y tanto el % de especies como de individuos de la población el **60%** son especies introducidas. En cuanto a tamaño el promedio de altura en la muestra medida fue de **6.6 m** (+/-3.6) y de **DAP 19.8 cm** (+/-13) con un **60%** de la población clasificado como árbol mediano, es decir arriba del promedio y por debajo del promedio+ una desviación estándar. Por otro lado, el **33%** de la población se clasifica como árboles chicos, es decir por debajo de ambos promedios. En cuanto a condición de copa se encontró un **3%** de árboles muertos y un **74%** de la población con condición de mala a muriendo, es decir en la mitad inferior de la escala de condición.

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

Con estas condiciones de arbolado (métrica) y biodiversidad, el valor del servicio o beneficio ambiental anual del arbolado asciende a **\$92,984,652.00** pesos. Esto incluye en orden de importancia la eliminación de contaminantes (79%), el secuestro de carbono (14%) y finalmente el escurrimiento evitado (7%).

Para mejorar las condiciones del arbolado y que se traduzca en un mejor servicio ambiental, hay que mejorar la métrica del arbolado, definitivamente su biodiversidad y a través de mejor mantenimiento, cuidados y nutrición su funcionalidad. Todo bajo un programa de mejora constante (Plan de Manejo del arbolado) y seguimiento con metas precisas, identificables y cuantificables, como por ejemplo:

Mejora de métrica del arbolado	Mejora de la biodiversidad	Mejora constante y seguimiento
Mejorar los programas de mantenimiento	Paleta vegetal con especies nativas de alta capacidad de servicio ambiental	Promoción y educación de la población
Modificar la metodología de reforestación	Estricta supervisión de la selección de especies	Censo total de los parques públicos
Incrementar la cantidad de árboles plantados por el Municipio y la ciudadanía	Buscar eliminar y suspender el uso de Ficus y Jacaranda	Inventarios periódicos de evaluación de metas alcanzadas

Las propuestas de mejora de la métrica permitirían elevar el porcentaje de prendimiento junto con un mayor desarrollo de los árboles para que se integren más rápidamente al servicio ambiental, es decir árboles de mayor diámetro que tengan mayores probabilidades de sobrevivencia y al mismo tiempo alcancen la madurez y tamaño necesario para proveer de servicios ambientales. Promover la máxima en arboricultura de *“árbol justo en el lugar adecuado”* para reducir costos de mantenimiento y favorecer especies más adaptables y con mejores probabilidades de crecer.

Las propuestas de mejora de biodiversidad tienen como objetivo establecer una población *“inteligente”* que tenga una alta eficiencia en cuanto a servicios ambientales se refiere pero al mismo tiempo menores costos de mantenimiento para que la relación beneficio costo entre lo que aportan los árboles/el costo de mantenimiento del arbolado sea aún mayor.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La determinación del servicio ambiental y el análisis de la biodiversidad que tienen los árboles en un bosque urbano permite cuantificar y apreciar el beneficio que éstos nos brindan en una cada vez más contaminada atmósfera de las ciudades. El beneficio de los árboles se conoce desde hace ya mucho tiempo, sin embargo, no fue sino hasta hace poco que el trabajo de investigación permitió conjuntar todas las experiencias, conocimientos estadísticos y dasométricos en una herramienta (*i-Tree ECO*) que cumple varias funciones:

<b>Es una guía en la elaboración de los inventarios</b>	<b>Contiene las ecuaciones que permiten traducir la estructura del arbolado</b>	<b>Evalúa posibles escenarios de desarrollo de arbolados urbanos</b>
Permite manejar gran cantidad de información de manera segura, sencilla y ordenada.	Primero de los datos dasométricos a características morfo-fisiológicas y segundo, estas a servicio ambiental	Bajo supuestos de deforestación y reforestación para determinar el mejor curso de acción a seguir

Finalmente, pero no menos importante, permite una planeación y el cálculo del beneficio del arbolado en valor monetario (pesos), lo que a su vez ayuda a justificar la realización de gastos en su cuidado y a crear una conciencia de la necesidad de llevar a cabo un manejo del arbolado que, aunque tenga costos, muestra como los beneficios los sobrepasan con creces.

	<b>Beneficio</b>	<b>Por medio de</b>
<b>Ecológico</b>	Reduce contaminantes y la cantidad de gases de efecto invernadero.	Absorción de CO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>x</sub> y NO <sub>x</sub> . Fijación por medio de la fotosíntesis y retención de partículas en los dentro de las estomas.
	Aumenta la infiltración de agua de lluvia.	Por efecto de las raíces en la permeabilidad de los suelos.
<b>Económico</b>	Reduce el consumo de energía en confort. Aumenta la plusvalía de bienes raíces. Reduce 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>	Reduce el efecto de isla de calor. Disminuye la criminalidad Mejora la conectividad en vecindarios.	Reducción de ruido, mejora de paisaje visual, efecto calmante y tranquilizador, generar una sensación de confort en áreas sombreadas con mejor humedad relativa.

*Cuadro 1. Servicios ambientales del arbolado urbano (De la Concha, H,2017).*

La elaboración del inventario del arbolado urbano en conjunto con el análisis de su biodiversidad permite conocer las circunstancias del arbolado, su estructura y el nivel de funciones que permite generar diversas recomendaciones y lineamientos generales, para incrementar los servicios ambientales que prestan los árboles a la ciudad. Entre las recomendaciones que se pueden derivar de este estudio están las relacionadas a los programas de reforestación o arborización en la zona urbana, que se han venido realizando desde hace más de 8 años, y que han ido evolucionando en número de árboles plantados, selección de especies y métodos de plantación, pero sin una línea base de información.

Es también importante conocer las condiciones de estos árboles plantados, para detectar cambios en crecimiento, presencia de plagas, anomalías y otras afectaciones al arbolado, con el fin de tener una mejora constante en la estrategia de plantación y mantenimiento. Con este fin, se propone establecer unidades de seguimiento o indicadoras que pueden servir como puntos de alarma para cuando el arbolado muestre indicios de algún problema o reducción de vigor. Estas unidades indicadoras se evaluarán y serán sujetas de supervisión constante por el sistema satelital Sentinel que nos permite estimar el NDVI<sup>2</sup> para darle seguimiento al crecimiento anual del arbolado.

Así mismo se llevó a cabo un muestreo de áreas verdes jardinadas selectas que incluyen parques, plazas, camellones, glorietas, andadores y el área natural protegida del Cerro de las Campanas. El objetivo es conocerlas más a fondo, y en conjunto con el inventario general, determinar su biodiversidad, servicio ambiental y el estado actual del arbolado. Estas áreas están bajo el cuidado de la Secretaría de Servicios Públicos Municipales, de hecho, fueron ellos los que proporcionaron los polígonos. Estos fueron revisados y seleccionados por el Instituto de Ecología y Cambio Climático para concentrar esfuerzos en los más relevantes y significativos. Cabe mencionar que no son todas las áreas verdes de la ciudad y que no se consideraron ciertas categorías enviadas, como por ejemplo, la de "deportivos" ya que comúnmente no son áreas muy arboladas.

---

<sup>2</sup> NDVI=Normalized Differentiated Vegetation Index o índice normalizado de vegetación diferenciado.

## 2. OBJETIVOS.

### Objetivo General.

A través de un muestreo del arbolado 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 Querétaro, que nos permita establecer su servicio ambiental económico y ecológico. Así mismo, el inventario permitirá conocer las condiciones del arbolado plantado, su biodiversidad, y permitirá contar con la información necesaria para la toma de decisiones en el manejo, mejora y cuidado en los siguientes años.

### Objetivos particulares.

Los objetivos particulares para el inventario y el muestreo de áreas jardinadas son prácticamente los mismos, salvo que en las áreas jardinadas no aplican todos por ser más específico.

- Establecer una línea base o de referencia para utilizarla en la comparación a futuro de la efectividad de programas de mejora del arbolado.
- 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 árboles como activos de la ciudad.
- Cuantificar económicamente, en base a los precios establecidos internacionalmente, los beneficios económicos del arbolado.
- Diseñar un programa de seguimiento con parcelas permanentes de muestreo, que permita evaluar las condiciones del arbolado urbano en los siguientes años.
- Establecer zonas indicadoras para poder dar seguimiento vía satelital del desempeño del arbolado a través del NDVI del mismo.

### 3. MÉTODOS.

El inventario urbano y el muestreo de áreas jardinadas se realizó siguiendo la metodología y los protocolos específicos del programa informático o software "*i-Tree Eco*". Este programa está diseñado para utilizar datos compilados en campo de inventarios totales de árboles o de parcelas asignadas al azar, a lo largo de una área urbana. Esta información en conjunto con datos de clima y de contaminación de aire hacen posible cuantificar la estructura del bosque urbano, los efectos ambientales y el valor que proveen estos a la comunidad. Específicamente para el presente inventario se utilizó la herramienta en su versión V 6.0.24 del software *i-Tree Eco*, por lo que se recomienda revisar, para conocer más detalles, el manual que se encuentra en la página WEB de dicha herramienta<sup>3</sup>.

La definición de variables a evaluar y el establecimiento de parcelas de muestreo para realizar, en ambos casos 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.

#### **Parcelas.**

Para el inventario de la ciudad, se plantearon 1,190 parcelas circulares de muestreo, con dimensiones de 22.60 m de diámetro, en donde cada parcela le corresponde una superficie total de 405 m<sup>2</sup>, haciendo un total de 48.2 hectáreas. La superficie total de muestreo fue de 18,526 ha, resultando en una intensidad de muestreo de 0.26%. No se consideraron polígonos de menos de 34 ha de superficie de las delegaciones Santa Rosa Jáuregui ni de Felipe Carrillo, ni otras delegaciones que tenían áreas urbanas identificadas, pero de menos de esta superficie ya que con la intensidad de muestreo establecida se requieren al menos 15-20 ha./parcela por lo que se definió como superficie mínima poco más del doble (34 ha.) para que existiera la superficie necesaria para que al menos dos parcelas pudieran generarse en el polígono y poder realizar el manejo estadístico. En el cuadro 2 se presenta el resumen del número de parcelas por delegación y su superficie.

Para el caso de áreas jardinadas, se establecieron 214 parcelas, pero en este caso de 100 m<sup>2</sup>. Debido a la naturaleza de los polígonos se utilizaron 3 formas de parcelas, circulares, cuadradas y rectangulares en ese orden. La forma de la parcela depende del tipo de área jardinada, es decir en camellones el largo dependerá del ancho máximo del camellón. Por ejemplo, si el camellón es de 2 m de ancho el largo tendrá que ser de 50 m para completar la superficie deseada. El cuadro 3 muestra la superficie por categoría de área jardinada tal y como la entregó la dirección de Servicios Públicos, los polígonos que incluye y el número de parcelas asignadas

---

<sup>3</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)

para el muestreo. Como se mencionó anteriormente, se hizo una selección y se desecharon algunas categorías por no tener suficiente arbolado.

Las zonas en la ciudad se establecieron en concordancia con la división administrativa que se encuentra en el plano proporcionado por el Instituto de Ecología y Cambio Climático de Querétaro, con datos del 2020 del INEGI, y que presenta cierta homogeneidad de condiciones, uso de suelo, delimitación de avenidas, tipo de casa habitación, nivel socioeconómico y en algunos casos vegetación existente y antigüedad.

En la figura 2 se muestra la delimitación de la zona urbana y sus 7 delegaciones, las cuales son de diferente superficie, densidad de población, uso de suelo y en general de condiciones. En el anexo 01 se incluyen las coordenadas de la ubicación de las parcelas que se generaron al azar por el programa y el anexo 02 muestra la ubicación sobre los polígonos seleccionados.

No	Delegación	Clave	Hectáreas	Polígonos	Parcelas	Ha a Muestrear	Intensidad Muestreo
1	Sta. Rosa Jauregui	SRJ	4,296.57	24.0	260	10.5	0.25%
2	Félix Osores Soto	FOS	2,986.25	2.0	190	7.7	0.26%
3	Epigmenio Gonzáles	EG	3,201.82	3.0	200	8.1	0.25%
4	Villa Cayetano Rubio	VCR	1,201.45	1.0	80	3.2	0.27%
5	Centro Histórico	CH	1,964.61	1.0	150	6.1	0.31%
6	Felipe Carrillo Puerto	FCP	2,928.32	9.0	190	7.7	0.26%
7	Josefa Vergara y Hernández	JVH	1,947.03	1.0	120	4.9	0.25%
			<b>18,526</b>	<b>41.0</b>	<b>1,190</b>	<b>48.2</b>	<b>0.26%</b>

*Cuadro 2. Parcelas para muestrear por delegación y la intensidad de muestreo resultante.*

Para el muestreo en las áreas jardinadas, se aumentó la intensidad de muestreo general de 0.26% a 0.5% (el doble) y se redujo el tamaño de la parcela. La asignación de parcelas buscó tratar de cubrir bien cada categoría, pero el total de superficie muestreada fue el necesario.

No.	Categoría	Clave	Superficie (ha)	Polígonos	Parcelas	Ha a Muestrear	Intensidad Muestreo
1	<b>ANDADORES</b>	<b>AND</b>	126.8	28	48	0.48	0.12%
2	<b>Area Nacional Protegida</b>	<b>ANP</b>	4.0	1	5	0.05	0.01%
3	<b>CAMELLON</b>	<b>CAM</b>	102.0	123	32	0.32	0.08%
4	<b>JARDIN</b>	<b>JAR</b>	78.8	82	70	0.7	0.18%
5	<b>PARQUE</b>	<b>PAR</b>	84.7	63	55	0.55	0.14%
6	<b>PLAZA</b>	<b>PLA</b>	3.1	4	4	0.04	0.01%
<b>Total general</b>			<b>399.36</b>	<b>302</b>	<b>214</b>	<b>2.14</b>	<b>0.54%</b>
Intensidad de Muestreo			0.50%				-
Superficie a muestrear (ha)			2.00				-
Parcelas de 100 m2			200				-

*Cuadro 3. Parcelas para muestreo de áreas jardinadas seleccionadas por categoría.*

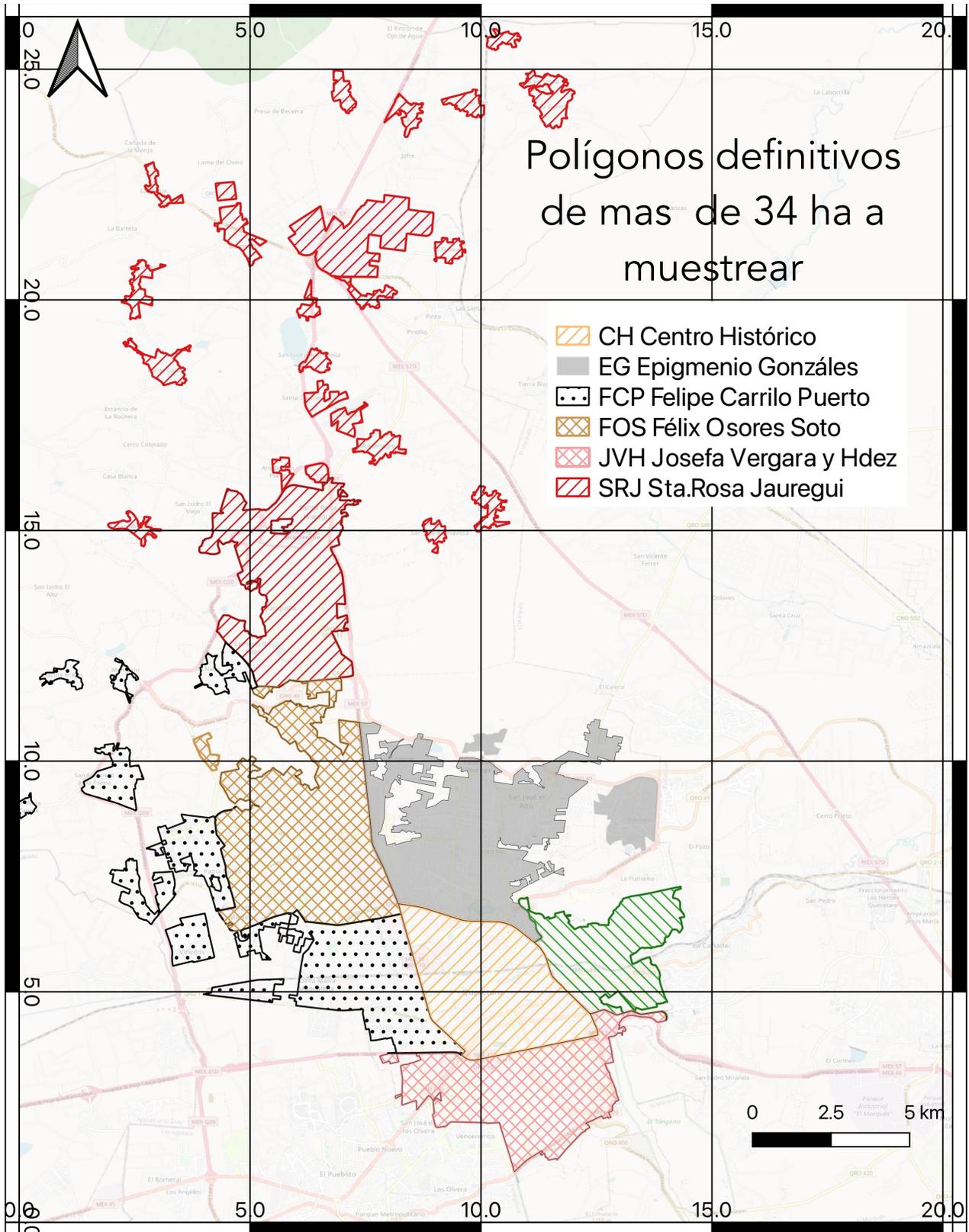


Figura 1. Plano esquemático de los polígonos a incluir en el muestreo por parcelas.

Se utilizó un formato de campo (figura 3) que incluye un croquis a escala para que se tomen datos en hojas de papel de las principales características de la parcela, la ubicación de los árboles y que sirve como documento fuente en caso de tener problemas con el programa. Se tomaron fotos desde el Norte de cada 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.

Las parcelas se ubicaron con un GPS Garmin E-Trex que tiene buen nivel de precisión. Los croquis y fotografías pueden ser empleadas para una auditoría de la calidad de la información y forman parte de los anexos presentados en este estudio y la memoria de cálculo.

La ubicación de las parcelas fue generada por el software i-Tree de manera aleatoria y los datos fueron previamente cargados, por lo que solo fue necesario además de "uso y cobertura" capturar el porcentaje medido, porcentaje de cubierta arbórea y el porcentaje plantable. Dicha información servirá para caracterizar por medio de extrapolación el arbolado de la ciudad.

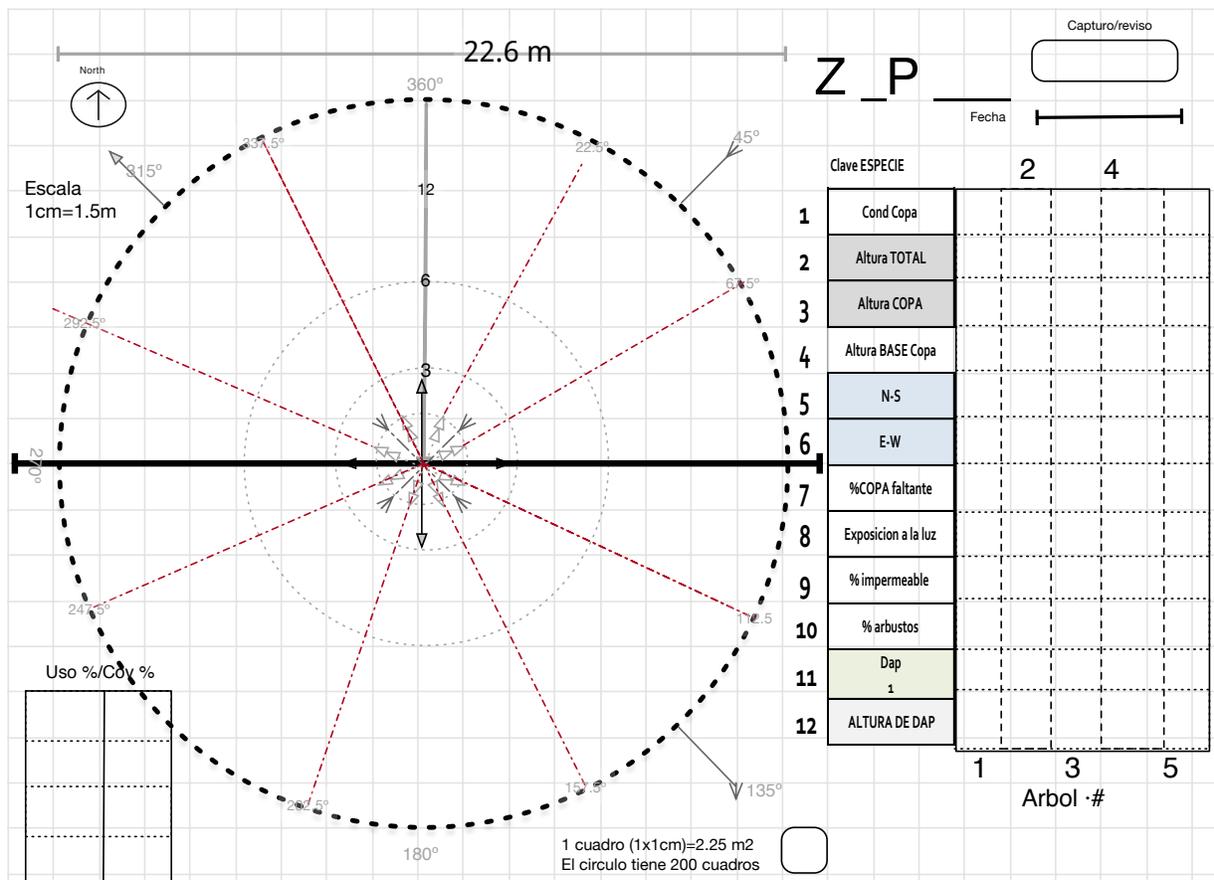


Figura 2. Croquis para toma de datos.

En la toma de datos de las parcelas, se estableció que se descartarían aquellas que fueran propiedad privada y que después de 3 intentos no fuera posible ver el arbolado. En; para el caso de las parcelas que se pudo asegurar que no había arbolado y que se encontraran dentro de áreas residenciales o industriales se contabilizaron siguiendo la metodología indicada en el manual y serían señaladas en el Web-link.

La información tomada en cada parcela incluyó 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 Acahual
R Residencia	8 Pasto
T Transporte	9 Pastizal abandonado
U Servicio	10 Agua
V Vacante	11 Otro material impermeable
W Cuerpo Agua	

Cuadro 4. Categorías para seleccionar según el uso y cobertura del terreno.

**Árboles dentro de las parcelas.**

La evaluación de los árboles en las parcelas se divide en los siguientes 4 apartados: 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, se toma una foto, y se establece un identificador de la foto para su clasificación posterior. El campo de comentarios es bastante amplio para indicar cualquier observación importante con muy buen margen de espacio para detallar.

## Detalles y Tallos.

Se evaluaron 11 parámetros dasométricos de todos los árboles que se encuentran en la parcela, para después de ubicarlos en el croquis e identificar la especie. A continuación, en el cuadro 4 se enlistan y describen dichos parámetros. Cabe mencionar que solo se midieron árboles de más de 3" (76 mm) de diámetro, ya que menores tienen mucho riesgo de sobrevivir y su servicio ambiental es muy bajo.

## Exposición a la luz

Se refiere a la cantidad de lados que reciben la luz del sol directa durante el día, es decir tiene que ver si el árbol tiene obstáculos que le hagan sombra en uno, dos o más lados.

Parámetro	Concepto	Unidad	Descripción
COPA	1 Condición Copa	%	Se refiere al estado del follaje en su estructura, sanidad y cantidad con respecto al tamaño del árbol.
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 consultar el manual para las opciones.
	9 % impermeable	%	Área cubierta por cualquier elemento impermeable al agua debajo del árbol en relación con los 405 m <sup>2</sup>
DAP: <sup>4</sup>	10 DAP1 hasta 6	cm	Diámetro medido con cinta diamétrica (hasta 6) > 7.6
	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 5. Parámetros dasométricos a medir.*

<sup>4</sup> Diámetro a la Altura del Pecho.

## Condición de copa

La **condición de copa** utiliza una escala de valores en porcentaje del 100% al 0%. Las categorías se presentan en el entre el 100% y 0%, se utiliza una escala de valores que varía cada 5% conjuntamente con las opciones de: árbol muerto (0%) o excelente (100%) lo 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.

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

*Cuadro 6. Categorías para evaluar condición de copa.*

La metodología consiste en categorizar, en primera instancia, al árbol dentro de las 5 grandes categorías (buena, regular, pobre, crítico y muriendo) de acuerdo con la escala de Likert. Después, se selecciona el rango de los que pertenecen a la categoría en base a un estimado de la condición de la copa en función a: la especie, diámetro y altura que tiene el árbol evaluado

(para la época en que se realiza la medición) con referencia la que debería de tener en condiciones ideales.

Con el objetivo de no utilizar únicamente el estimado de la copa como un único parámetro y poder contar con datos del tamaño de la copa, se tomaron las medidas del área de goteo en las direcciones N-S y E-O, así como la distancia vertical de la copa, 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 convertir estos datos en volumen y peso de biomasa.

Para el caso del muestreo de áreas jardinadas se prescindió del tamaño de la copa por razones de seguridad ya que las copas de los árboles en camellones están ubicadas en los arroyos de las calles y debido al tráfico vehicular era muy riesgoso para el personal por lo que no se tomaron estas mediciones.

Los datos de **tallo** se capturan en otro apartado del software, porque un árbol puede tener varios tallos y estos se tienen que tomar en cuenta. En el caso del i-Tree Eco se tiene capacidad de capturar hasta 6 tallos y se tiene que agregar a que altura se tomó dicho diámetro, para que el software haga los ajustes necesarios en los cálculos de biomasa. También se tiene la opción de indicar, en caso de no poder hacer la medición directa, indicar si el diámetro fue estimado, esto en caso de parcelas que estén inaccesibles pero que el árbol sea visible.

### **Información de gestión.**

El Cuadro 6 muestra la información de gestión y observaciones de manejo, que se registraron con respecto a recomendaciones de mantenimiento a corto y mediano plazo así como de conflicto de los árboles en aceras y con servicios. Básicamente consiste en dos campos para aspectos de mantenimiento, uno a corto y otro a mediano plazo, y otros 2 campos para definir conflictos con banquetas o servicios. Cabe mencionar que esos campos son fijos pero las categorías que se pueden incluir pueden ser desde 2 hasta 20 como se muestra en el cuadro 6. Finalmente, los campos personalizados que se definieron y cargaron en el software para determinar la condición general del árbol, su estado fitosanitario y agente causal en caso de tener algún ataque. En estos últimos campos se siguió la escala de Likert de 5 categorías para cada campo para tener una variación de *Muy Malo-Malo-Regular-Bueno-Muy Bueno*.

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. 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 calculado (desviación estándar).

ID	Descripción	Significado
I	MANTENIMIENTO	Hay que observar el árbol y lo primero que se determine que se le tiene que hacer para mejorar su condición es lo que se tiene que 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. Se debe seleccionar pensando en 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 requiera su control
5	Sustituir/Rejuvenecer	Cuando se estime que el árbol este muy maduro y se requiera sustituir.
II	LABOR PRIORITARIA	Las labores son auto explanatorias son labores de arboricultura normal que se podrían consultar en cualquier manual de arboricultura si hay duda. Tiene que ser consecuente y/o complementaria con lo seleccionado en mantenimiento. Y debe de ser la labor que sea mas urgente a realizar porque la <u>sobrevivencia del árbol depende de ello</u> . 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	Por causas de acumulación excesiva de basura, cascajo, hojas y ramas muertas que puedan traer enfermedades.
2	Adicionar mulch	Para mejorar el sitio a través de la adición de materia orgánica al suelo.
3	Aírear suelo	Se refiere a reducir la compactación es muy importante en banquetas y se puede hacer de varias maneras
4	Control fitosanitario	En arboles pequeños que requieran guías de soporte o incluso protección vs. rayos
5	Regar	Por la presencia media a alta de plagas o enfermedades
6	Trasplantar	Por situaciones de stress, es difícil de determinar pero necesario
7	Curar heridas	Cuando el árbol tenga daños mecánicos con riesgo de infección o clavos que haya que sacar.
8	Fertilizar	Por mostrar deficiencia de algún tipo o coloración amarillenta.
9	Monitorear riesgo	Por el tamaño y sitio de plantación o por trabajos en la calle o el área de goteo que puedan debilitar al árbol
10	Podar de aclareo	Eliminación de ramas excesivas o incluso de arboles muy pegados.
11	Podar para reducción altura	En arboles que afecten servicios aéreos, cables, etc. por su altura.
12	Podar para estructura	Sobre todo con ramas con malos ángulos que tengan riesgo de quebrarse
13	Podar para Sanidad	En ramas afectadas por parásitos por ejemplo o daño de enfermedades o ramas muertas
14	Podar para elevación de copa	En arboles en banquetas cuando las ramas inicien desde muy abajo que bloqueen el paso
15	Reducir pavimento	Cuando sea necesario romper el pavimento que esta pegado al cuello del árbol.
16	Derribo sin sustitución	Cuando el árbol este en un sitio de alto trafico que este estorbando y sea de riesgo.
17	Derribo con sustitución	Cuando el árbol este mal pero el sitio sea suficientemente bueno para volver a ocuparlo.
18	Incrementar permeabilidad	Cuando haya una superficie impermeable que sea necesario romper o cambiar para incrementar la permeabilidad.
19	Añadir tierra	Cuando el árbol este creciendo sobre una laja, piedra, o tepetate compactado que le deje poca tierra para sobrevivir.
III	CONFLICTO Con aceras	Para identificar arboles que afecten banquetas con sus raíces y considerarlo en presupuestos de mantenimiento.
1	Sin Daño	Cuando no hay ningún problema
2	Daño Parcial en aceras	Cuando existen levantamientos y daños superficiales pero que no afectan el paso o rodamiento de sillas de ruedas.
3	Daño Grave en la acera	Cuando ya el levantamiento va a requerir un mantenimiento mayor
IV	CONFLICTO Con Servicios	Cuando el problema es principalmente por cables, tuberías o cualquier otro servicio.
1	Sin problemas	No hay ningún problema pero tampoco riesgo a mediano plazo.
2	Hay servicios pero sin peligro	Cuando a mediano plazo si el árbol sigue creciendo puede llegar a existir, aunque por el momento no hay problema
3	Servicios en conflicto	Cuando ya es necesario realizar alguna acción correctiva.
V	GRADO DE DAÑO	Es una estimación del porcentaje de follaje, o tronco, afectado.
1	Incipiente < 10%	Cuando exista alguna plaga, enfermedad o planta parasita que este dañando menos del 10 % de un árbol
2	Bajo 10-30%	Cuando el daño sea entre el 10 y 30%
3	Medio 30-50%	Cuando el daño sea entre el 30 y 50%
4	Alto 50-70%	Cuando el daño sea entre el 50 y 70%
5	MUY alto > 70%	Cuando el daño sea mayor del 70% del árbol.
VI	AGENTE CAUSAL	Para indicar que es lo que esta causando el daño antes indicado.
1	Plaga de insecto	Cuando sea cualquier tipo de insecto en fase adulta o larva
2	Enfermedad (hongo/bacteria)	La presencia de hongos en cualquiera de sus manifestaciones o estadios
3	Parásito (Muérdago)	Por plantas parasitas y muérdagos que estén presentes.
4	Climático	Daño por sequía, helada, o cualquier otro factor climático.
5	Otros (cal/mecánico)	Daños físicos de cualquier tipo, clavos, posters, golpes de auto o pintura de cal
6	Tormenta/Huracán	Cuando sea posible ver daño por viento excesivo o inundación por huracán.
VII	CONDICIÓN GENERAL	En una escala del 1 (MUY MAL ) a 5 (Bien) Evaluar el estado general del árbol en función a su situación NO es solo la copa sino la condición del tronco, estructura y arquitectura de las ramas, si no tiene ramas con ángulos muy abiertos y con mala incurción, 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	MAL de forma, sanidad, etc.	Es un árbol en muy malas condiciones generales, mal sitio, y se relaciona con riesgo ALTO
2	Pobre y desahuciado	Un árbol con muchas limitantes para crecimiento y que no va a prosperar se relaciona con riesgo medio alto
3	Regular en malas condiciones	Árbol en condiciones no tan graves pero con daño y riesgo medio.
4	Regular y mejorable	Árbol con poco daño y riesgo bajo.
5	Bien de forma y estructura	Árbol sin riesgo en excelentes condiciones, sitio adecuado y buen desarrollo.

Cuadro 7. Categorías y su significado para capturar la información de gestión.

Se definieron de inicio **1,190 parcelas** que consideraban entre el 5% y 7% parcelas a desechar, ya que por experiencia siempre hay algunas donde no es posible medir por diferentes razones. Para el caso del muestreo de áreas jardinadas fueron **214 parcelas** que incluyeron 14 parcelas (7%) de más con la misma consideración.

El enlace para el web-Link a descargar en el móvil para la toma de datos con todos los parámetros precargados por categoría, información de parcelas y todo lo mencionado con anterioridad es:

Inventario	Áreas Jardinadas
<a href="https://t.ly/yoiw">t.ly/yoiw</a>	<a href="https://t.ly/_tVW">t.ly/_tVW</a>

### Listado de especies.

Tomando como referencia varios listados de especies del área de Querétaro, se analizó la existencia de las especies de flora en la base de datos del programa *i-Tree*, la cual a la fecha de elaboración de este inventario cuenta con 10,116 registros, que corresponde a 4 clases botánicas (Filicopsida, Ginkgoopsida, Liliopsida y Magnoliopsida), 485 géneros y 9,627 especies de flora.

Hay que recordar que para que una especie esté registrada en el programa se requiere que ésta cuente con las ecuaciones alométricas que estiman su crecimiento, su fisiología y sus servicios ambientales para que el programa realice los cálculos, no se trata únicamente de un listado de nombres ni basta agregarlo por nombre científico, o común.

Por otro lado, aún con los extensos registros de la base de datos, también hay que recordar que si alguna especie endémica muy particular a una zona no se encuentra es posible registrarla por género, lo que amplía mucho las posibilidades de asociarlas y aunque utilice ecuaciones "genéricas" al menos permite no tener que desechar al individuo muestreado.

Cuando un individuo no se encuentra por su género, es posible clasificarlo por su clase, dentro de las 4 clases mencionadas y aunque en este caso las ecuaciones que se usarían para los cálculos son aún más generales o promedio, es preferible a no tomar en cuenta al individuo. Por experiencia, y como ejemplo en el caso del inventario de Playa del Carmen sí se encontraron especies muy endémicas de la zona que no estaban en la lista y que se clasificaron por su clase, pero en porcentaje fueron no significativas apenas llegaron al 2% de toda la población por lo cual el impacto en los números finales no se considera relevante.

## **Análisis de datos.**

La información obtenida en campo se procesó con el software *i-Tree* ECO V 6.0.24, el cual cuenta con la metodología de diseño, captura, proceso y generación de reportes para analizar un arbolado urbano.

De la larga lista de los reportes generados por el programa, que son mas de 100, serán utilizados como base para el análisis del arbolado de la ciudad de Querétaro. Estos reportes son los siguientes:

**Reportes Formateados:** son aquellos que genera el sistema con los datos tomados y hay de varios tipos; los que describen la (a) Composición y estructura (C y E) del arbolado (44 diferentes reportes), (b) Los que detallan los Costos y Beneficios (44), y (c) Detalles de los datos medidos (15). Dentro de cada tipo hay reportes por especie, por estrato, reportes de datos básicos o datos calculados generados por las ecuaciones alométricas.

**Gráficos** los 16 reportes de este tipo son precisamente gráficas de los datos de la base de información de contaminación, clima y otros que fueron utilizados para los cálculos. Son de tipo informativo y no el resultado de ningún cálculo.

**Reportes del Pronóstico:** los reportes de este tipo son iguales a los formateados, es decir de CyE y Beneficios, pero son generados a partir de los datos originales y en función a la tasa de reforestación y mortalidad que se establezca son los mismos, pero para varios años, es decir para ver tendencias a futuro de comportamiento del arbolado basados en ciertos supuestos establecidos. Esta herramienta es muy útil para planeación.

En los entregables, está el **archivo** con terminación **.ieco** con la información de campo ya capturada, y procesada, para tener acceso a todos los reportes, y el personal interesado pueda realizar los análisis y pronósticos con los criterios y consideraciones que se requiera empleando el software.

## **Consideraciones en el procesamiento de datos.**

Previo a la discusión de los resultados, existen dos factores, que es importante recalcar sobre la información generada por el *i-Tree* ECO. En primera instancia, **la manera** en que la información es generada y en segundo lugar la **cantidad y tipo** de información generada.

En cuanto a cómo se genera la información, el *i-Tree* ECO se basa en los datos dasométricos de los árboles medidos para estimar (a través de diferentes ecuaciones), primero las características morfológicas y fisiológicas importantes de los árboles y en segundo lugar a partir de estas características deducir el servicio ambiental que pueden ofrecer dichos árboles.

Para el caso de este Inventario realizado, es importante mencionar que en la última versión del *i-Tree* ECO 6.0.24 ya se cuenta con ecuaciones específicas para árboles tropicales, las cuales, en el diseño del proyecto se consideró emplearlas para tener una mayor precisión en los

cálculos de los parámetros morfo-fisiológicos, así como el su servicio ambiental. La figura 4 muestra de manera comprensiva la relación de los parámetros dasométricos con los morfo-fisiológicos calculados y los de servicio ambiental en el *i-Tree* ECO y también los índices utilizados para la comparación entre las delegaciones de la ciudad para el Inventario.

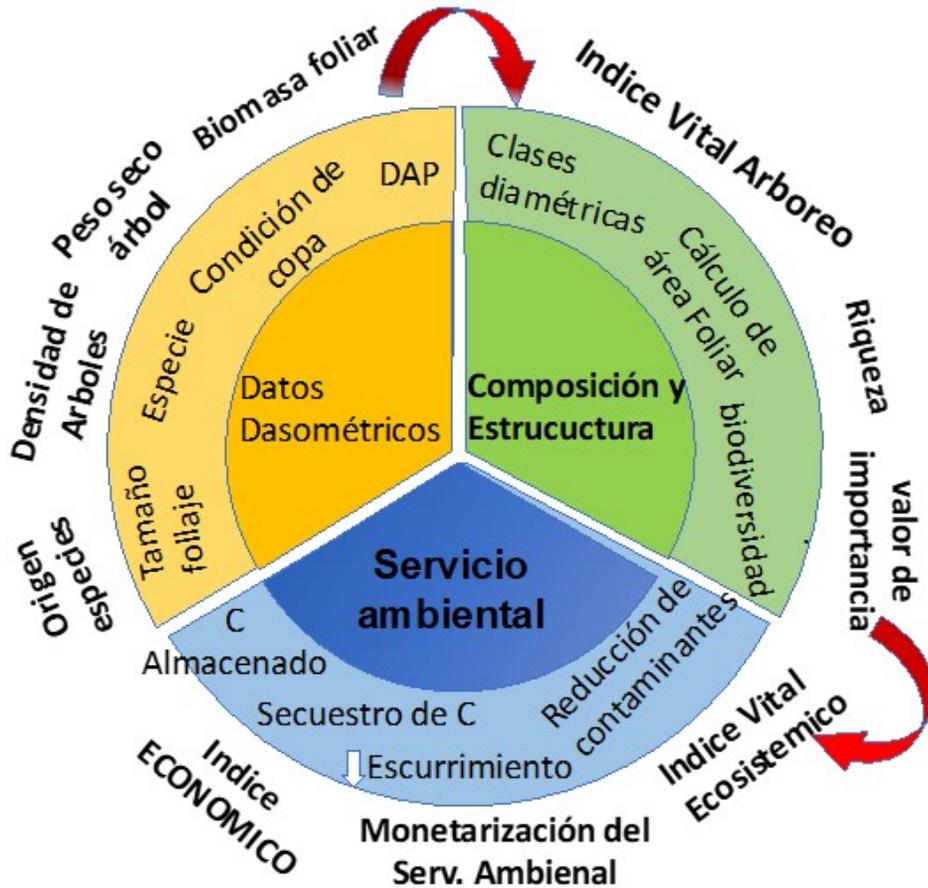


Figura 3. Relación de parámetros dasométricos y variables calculadas en *i-Tree* ECO.

En cuanto a la información generada es muy importante conocer que incluye, ya que una de las fortalezas del *i-Tree* es la gran cantidad y especificidad de esta que permite hacer análisis a profundidad de casos específicos. Es por lo tanto importante conocer como está organizada y que contiene, para que por ejemplo, si se necesita o desea conocer el comportamiento de una especie en particular en una zona en particular, de un cierto DAP, es relevante saber que se puede realizar. El *i-Tree* ECO V6.0.24 indica en su reporte de metadatos del proyecto (Anexo 03) los reportes que están disponibles de acuerdo con las especificaciones de diseño, datos medidos, etc.

1. Composición y estructura (44)	Aquí se presentan los datos básicos, es decir los datos medidos y las variables de primer nivel (datos morfo-fisiológicos) calculadas para la POBLACIÓN <sup>5</sup> a partir de los árboles medidos en las parcelas de muestra.
2. Costos y beneficios (23)	Esta categoría presenta los 6 beneficios ambientales relevantes calculados a partir de las variables morfo-fisiológicas del arbolado según las ecuaciones seleccionadas. Beneficios ambientales por concepto de carbono almacenado, capacidad de secuestro, eliminación de contaminantes, modificación de la escorrentía o aumento de infiltración y producción de oxígeno.
3. Detalles de los datos medidos (14)	En estos reportes se presentan los datos de los árboles medidos individualmente sin extrapolación a la población. En esta sección es posible encontrar los valores para árboles específicos de interés.
4. Gráficos (16)	Básicamente agrupa los valores ambientales utilizados en las ecuaciones de cálculo de los beneficios ambientales y son gráficos para el año de datos de contaminantes que en este caso fue 2015.
5. Reportes del pronóstico (32)	Una vez realizados los cálculos de beneficios ambientales el i-Tree ECO tiene una opción para pronosticar a futuro el comportamiento de arbolado según escenarios que varían de acuerdo con reforestaciones, tasas de mortalidad e incluso eventos catastróficos.

En virtud que en este Inventario se zonificó de acuerdo con las 7 delegaciones en las que está dividida la zona urbana; y a que la **especie** es muy importante en la selección de la ecuación a utilizar, la misma información se presenta agrupada en relación a estos dos conceptos, estrato o delegación y especie, y a diferentes niveles. Es decir, se presentan cuadros resumen, donde se agrupa toda la población de acuerdo con las categorías establecidas, por ejemplo de agente causal de daño, también es posible encontrar reportes agrupados por delegación y por especies y por la combinación de ambos. En resumen, existen 20 posibles formas de agrupar la información además de las 3 mencionadas que pueden ser por tiempo (fecha, año o mes), parcela, unidad de área y por árbol medido en el caso de los reportes de detalle de los datos medidos.

---

<sup>5</sup> A través de estadísticos como promedio y error estándar que permite el cálculo del coeficiente de variación.

## 4. REPORTE GENERAL DE LA ACTIVIDAD

El inventario se inició el lunes 9 de mayo del 2022, con el levantamiento de las parcelas asignadas al azar. Se establecieron 5 cuadrillas totalmente equipadas para la toma de datos y se capacitaron a los ayudantes locales para la toma de datos. De las parcelas definidas a medir se logró medir el 93% de las consideradas para el inventario, y el 97% de las estimadas para las áreas verdes, el cuadro 8 resume los datos alcanzados para el trabajo. Se midieron 2,255 árboles de los cuales 102 (4.5%) estaban muertos.

Concepto	INVENTARIO	AREAS VERDES
Parcelas Totales	1,190	214
Muestreadas	1,102	208
ha de parcelas muestreadas	44.08	2.08
Arboles medidos	1,840	415
Arboles Muertos	58 (3%)	44 (11%)

*Cuadro 8. Parcelas y árboles medidos.*

El porcentaje de parcelas medidas estuvo dentro de lo estimado ya que en trabajos de este tipo es común no poder acceder a parcelas que caen en zonas privadas o muy restringidas como lo fue el cuartel militar de la ciudad donde se hizo el esfuerzo, pero simplemente no se recibió la autorización para entrar. Por otro lado, también existieron algunos fraccionamientos privados y algunas industrias donde no se nos permitió la entrada a pesar de presentar y enviar oficios explicando la naturaleza del trabajo. En el caso del fraccionamiento el Campanario se contactó a las oficinas administrativas para solicitar acceso tanto al campo de golf como a la zona residencial donde había varias parcelas designadas y durante las últimas 2 semanas del levantamiento, se estuvo esperando la respuesta y nunca llegó. Desafortunadamente esto dejó fuera al campo de golf y su arbolado del inventario. En otros casos las parcelas abarcaban casas donde no había nadie o donde no nos permitieron la entrada. Cabe mencionar que el levantamiento se hizo en plena época de secas lo que dificultó la identificación ya que algunos individuos no presentaban hojas.

El cuadro 9 y 10 muestran el uso de la tierra para las 7 delegaciones de la ciudad y la tendencia es muy clara; los mayores porcentajes son el tipo Residencial y el de Transporte (calles, avenidas, vialidades) seguido por el comercial/industrial menos en Epigmenio González (EG) y en Villa Cayetano Rubio (VCR) donde aún hay bastantes lotes vacantes. La diferencia entre los cuadros 9 y 10 se debe a que en el 10 se incluyen los campos de golf en las delegaciones donde se encuentran y los cuerpos de agua ubicados en Santa Rosa Jauregui (SRJ) que abarcan

1.6% de la superficie de dicha delegación. La única delegación que aún muestra algo de bosque es VCR con un 6% de su superficie.

Cl	Uso de la tierra	Centro Histórico	Epigmenio González	Felipe Carrillo Puerto	Félix Osores Soto
1	Agricultura	0.0	1.7	3.3	0.0
2	Comercial/Indus	<b>23.4</b>	7.2	<b>13.4</b>	<b>20.3</b>
3	Cementerio	0.7	0.0	0.0	0.0
4	Bosque	0.0	0.0	1.8	0.6
5	Institucional	9.6	3.4	0.4	2.4
6	Residencia Mult	0.7	0.0	8.1	2.0
7	Otro	0.4	2.2	2.0	1.9
8	Parque	1.5	2.7	2.7	1.2
9	Residencial	<b>33.8</b>	<b>35.5</b>	<b>30.5</b>	<b>30.7</b>
10	Transporte	<b>24.3</b>	<b>23.1</b>	<b>23.0</b>	<b>18.2</b>
11	Servicios	2.6	1.2	3.3	4.3
12	Vacante	3.0	<b>23.0</b>	11.5	18.3

Cuadro 9. Uso de la tierra establecido con las parcelas en 4 delegaciones.

CL	Uso de la tierra	Josefa Vergara y Hernandez	Santa Rosa Jauregui	Villa Cayetano Rubio
1	Agricultura	0.0	3.4	0.0
2	Comercial/Indus	<b>15.4</b>	<b>14.0</b>	1.8
3	Cementerio	0.0	0.0	0.0
4	Bosque	0.0	1.6	6.0
5	Campo Golf	5.9	1.3	0.0
6	Institucional	8.3	2.5	9.2
7	Residencia Mult	0.0	1.4	5.6
8	Otro	3.1	2.6	2.6
9	Parque	0.0	1.5	0.0
10	Residencial	<b>31.1</b>	<b>33.5</b>	<b>32.6</b>
11	Transporte	<b>29.1</b>	<b>15.4</b>	<b>26.2</b>
12	Servicios	1.8	1.1	3.1
13	Vacante	5.4	20.1	<b>12.9</b>
14	Agua	0.0	1.6	0.0

Cuadro 10. Uso de la tierra del restante de delegaciones.

Estrato	SRJ	FOS	EG	VCR	CG	FCP	JVH	Área de estudio
<b>Edificio</b>	27.2	38.2	36.3	30.3	49.5	36.5	44.7	<b>36.4</b>
<b>Suelo</b>	38.1	25.4	27.1	20.2	11.4	23.0	11.7	<b>25.0</b>
<b>Asfalto</b>	8.7	11.2	14.1	12.4	19.9	11.9	16.1	<b>12.7</b>
<b>Espacio Plantable</b>	9.7	12.3	11.8	13.1	4.3	11.6	6.6	<b>10.1</b>
<b>Cemento</b>	6.5	8.1	9.5	13.0	10.2	8.3	11.4	<b>8.9</b>
<b>Sup. Impermeable</b>	5.1	3.4	3.7	14.2	7.1	5.7	7.5	<b>5.7</b>
<b>Pastizal</b>	2.6	7.0	3.2	2.5	0.7	8.6	4.6	<b>4.4</b>
<b>Acahual</b>	6.6	4.3	3.8	3.9		4.2	1.1	<b>3.9</b>
<b>Pastizal comercial</b>	2.2	1.1	0.2	2.4	0.4	0.5	2.0	<b>1.2</b>
<b>Rocoso</b>	0.7	0.6	2.0	0.6	0.8	1.0	0.9	<b>1.0</b>
<b>Agua</b>	2.3	0.7	0.1	0.6		0.3		<b>0.7</b>

*Cuadro 11. Cobertura del suelo evaluada para cada delegación.*

Por otro lado en la evaluación de la cobertura del suelo no es de sorprender que la principal categoría fue la de edificios o construcciones. En términos generales si sumamos las categorías de cobertura de suelo y los que lo hacen impermeable, como asfalto, cemento, tenemos un 64% total de suelo cubierto. Esto varía por delegaciones claro, ya que el caso extremo por ejemplo lo constituye el Centro Histórico (CH) donde no hay acahual ni superficie cubierta por agua y la mitad de la superficie esta construida por lo que en conjunto con el area asfaltada y el cemento abarca el 80% de la superficie cubierta. Es interesante ver que se considera que hay un 10% de la superficie con potencial para ser plantada, y en esto se incluyó incluso algunos estacionamientos que con la técnica adecuada se puede elaborar cajetes donde se pueden sembrar árboles que incrementen la permeabilidad general, den sombra y ademas provean de servicio ambiental.

Los resultados del análisis de áreas jardinada o verdes se presentan en un documento separado para poder entregarlo al área responsable y que la información este completamente enfocada en esas áreas y les sea de mayor utilidad.

## 5. RESULTADOS: COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA

De las 1,102 parcelas inventariadas únicamente el 51% tuvo árboles, pero gracias a la cantidad establecida se obtuvieron datos con un bajo coeficiente de variación ya que la población estimada para las 18,500 ha de área urbana fue de **791,059** con un error de **45,495** (6%). Lo anterior implica que la población es muy probable se encuentre entre los **836,000** y los **745,000** árboles. La siguiente figura (no. 4) indica la población por delegación (superficie en miles de hectáreas) y su coeficiente de variación.

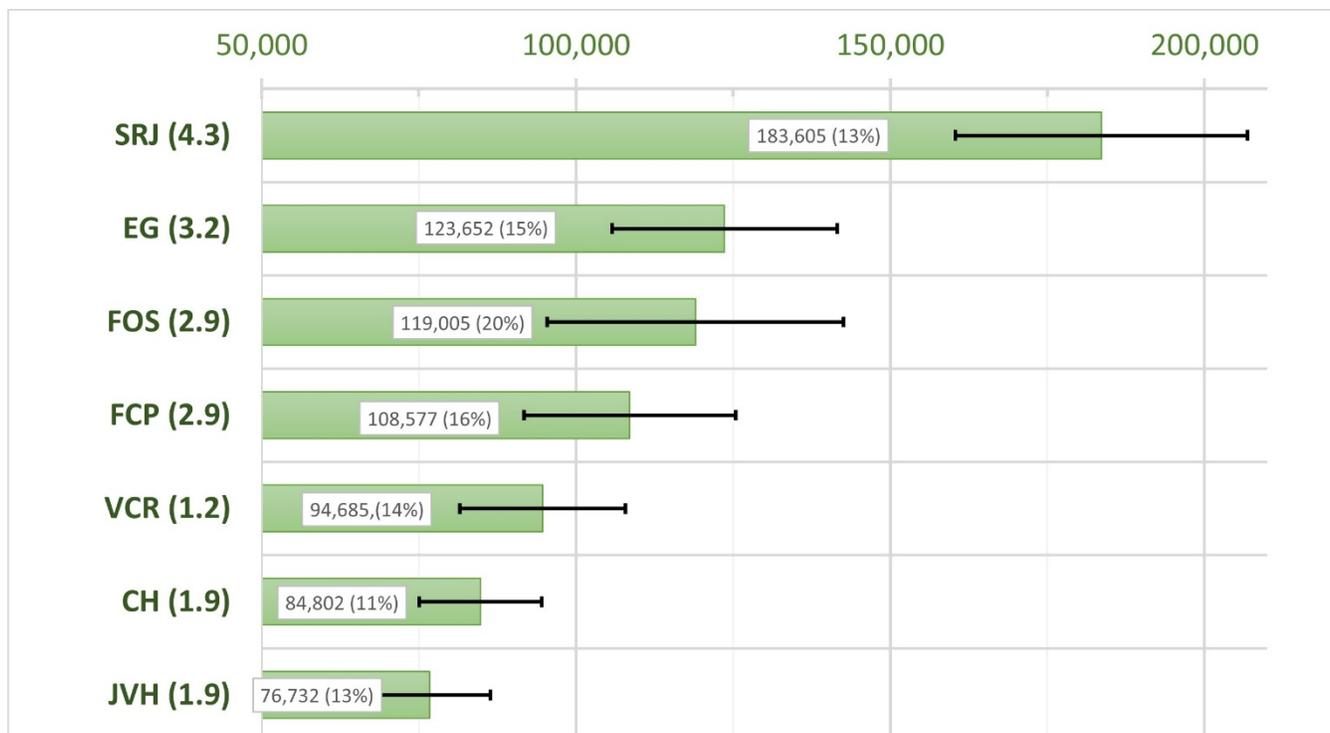


Figura 4. Población por delegación (000 ha), coeficiente de variación y error estándar.

El tamaño de la delegación tiene incidencia en el número de árboles con excepción de VCR que está por debajo en superficie, pero por arriba en población que CH y JVH. Por otro lado, a pesar de las diferencias entre EG, FOS y FCP en área, estadísticamente es posible decir que tienen la misma población ya que los errores estándar (barra horizontal en la punta) se empalman.

Con la información de superficie y población es posible calcular la densidad de árboles por hectárea. En el caso de la ciudad de Querétaro, la densidad encontrada es en promedio ponderado de 42.7 (árboles/ha.) con una variación de 37.1 hasta 78.8 que es un CV de 112%, el cual es muy alto. El cuadro 12 muestra las densidades por delegación y se puede ver que VCR, a pesar de no haber tenido acceso al Campanario, es la delegación con mayor cantidad de árboles por superficie, lo que habla de un mejor trabajo en la reforestación de los

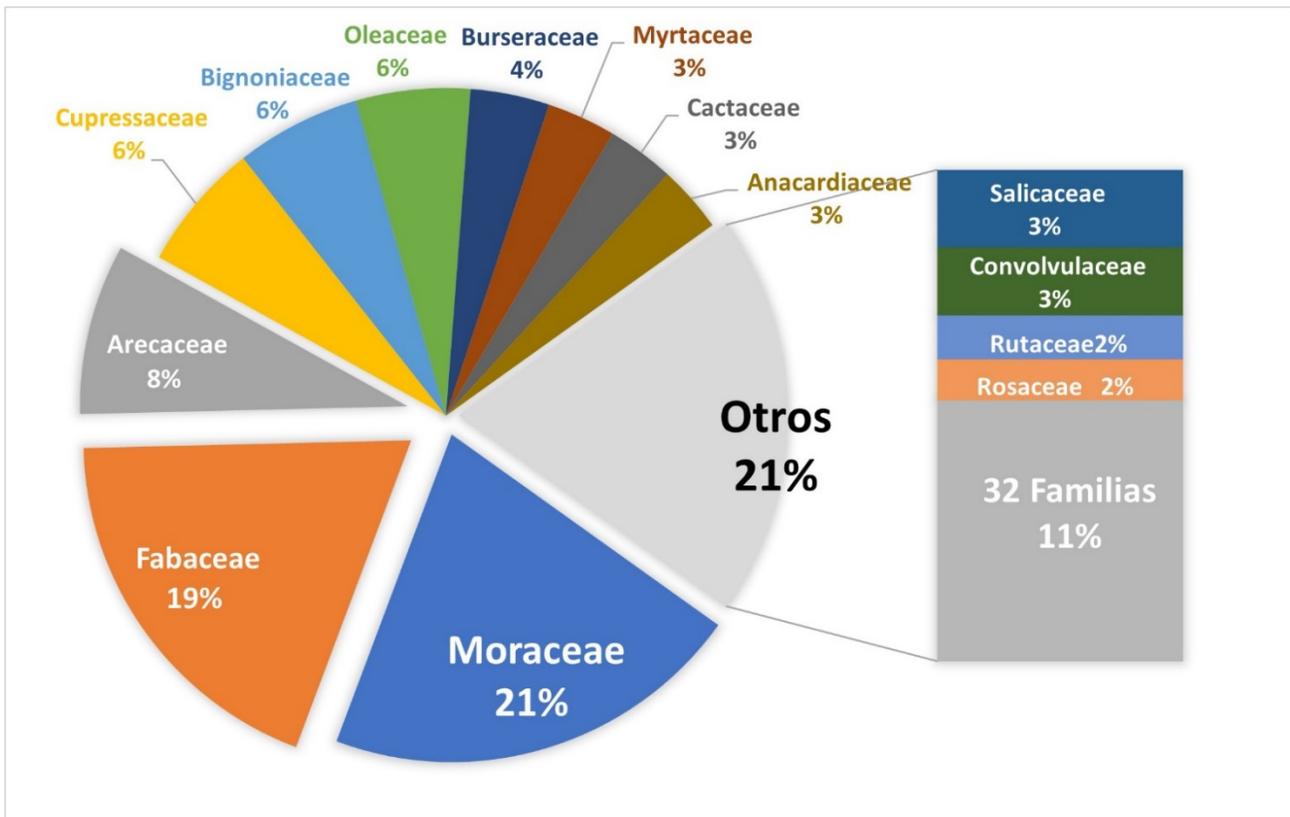
fraccionamientos en la delegación. Desafortunadamente es la delegación más pequeña así que el impacto es menor.

Del. (000 ha)	# de árboles	% población	Densidad (#/ha)
VCR (1.2)	94,685	12.0 %	78.8
CH (1.9)	84,802	10.7 %	43.2
SRJ (4.3)	183,605	23.2 %	42.7
<b>Ciudad</b>	<b>791,059</b>	<b>100.0 %</b>	<b>42.7</b>
FOS (2.9)	119,005	15.0 %	39.9
JVH (1.9)	76,732	9.7 %	39.4
EG (3.2)	123,652	15.6 %	38.6
FCP (2.9)	108,577	13.7 %	37.1

*Cuadro 12. Densidad de árboles por hectárea por delegación.*

En el tema de las especies encontradas en la ciudad, se identificaron 136 diferentes individuos; 17 por géneros y 119 por género y especie. Los 17 géneros contabilizan 43,755 individuos (5.5% de la población) de los cuales el género *Opuntia* es prácticamente la mitad de los individuos. La clasificación de un individuo como género para el cálculo de servicio ambiental, sigue contribuyendo, la única diferencia es que se utiliza una fórmula genérica que, aunque menos precisa que cuando se identifica al individuo por especie, sigue aportando resultados.

La razón de identificar por género algunos individuos fue por la falta de hojas u otros identificadores, o que el individuo está muerto o en muy mal estado, o simplemente porque la parcela tuvo que ser evaluada de lejos por problemas de acceso.



*Figura 5. Principales familias de las especies encontradas en Querétaro.*

De las 119 especies encontradas se clasifican dentro de 46 familias, 14 de monocotiledóneas o Liliopsida y 32 de dicotiledóneas o Magnolopsida. La figura 5 indica el porcentaje de individuos de la población clasificada por especie, es decir sin tomar en cuenta a los individuos clasificados solo por género, que se encontró en cada familia. Las especies de ficus como el benjamina, retusa, variegata y macrophylla, que conforman la familia Moraceae es la más numerosa seguida muy de cerca por la familia Fabaceae que incluye 18 especies como las acacias, prosopis, lysiloma y muchas de las nativas de zonas áridas. En tercer lugar, está la familia de las palmas con menos de la mitad de los individuos de la Fabaceae. Son 10 familias que conforman el 80% de la población y 20% por las 36 restantes, 10% entre 4 familias y el resto por 32 diferentes familias.

En lo que se refiere directamente a las 119 especies encontradas, la figura 6 muestra las principales especies donde tenemos que 10 especies conforman el 50% de la población, y junto con otras 15 llegan al 75% de la misma. En la discusión de resultados nos estaremos concentrando en estas 10 o 25 especies por su peso específico.

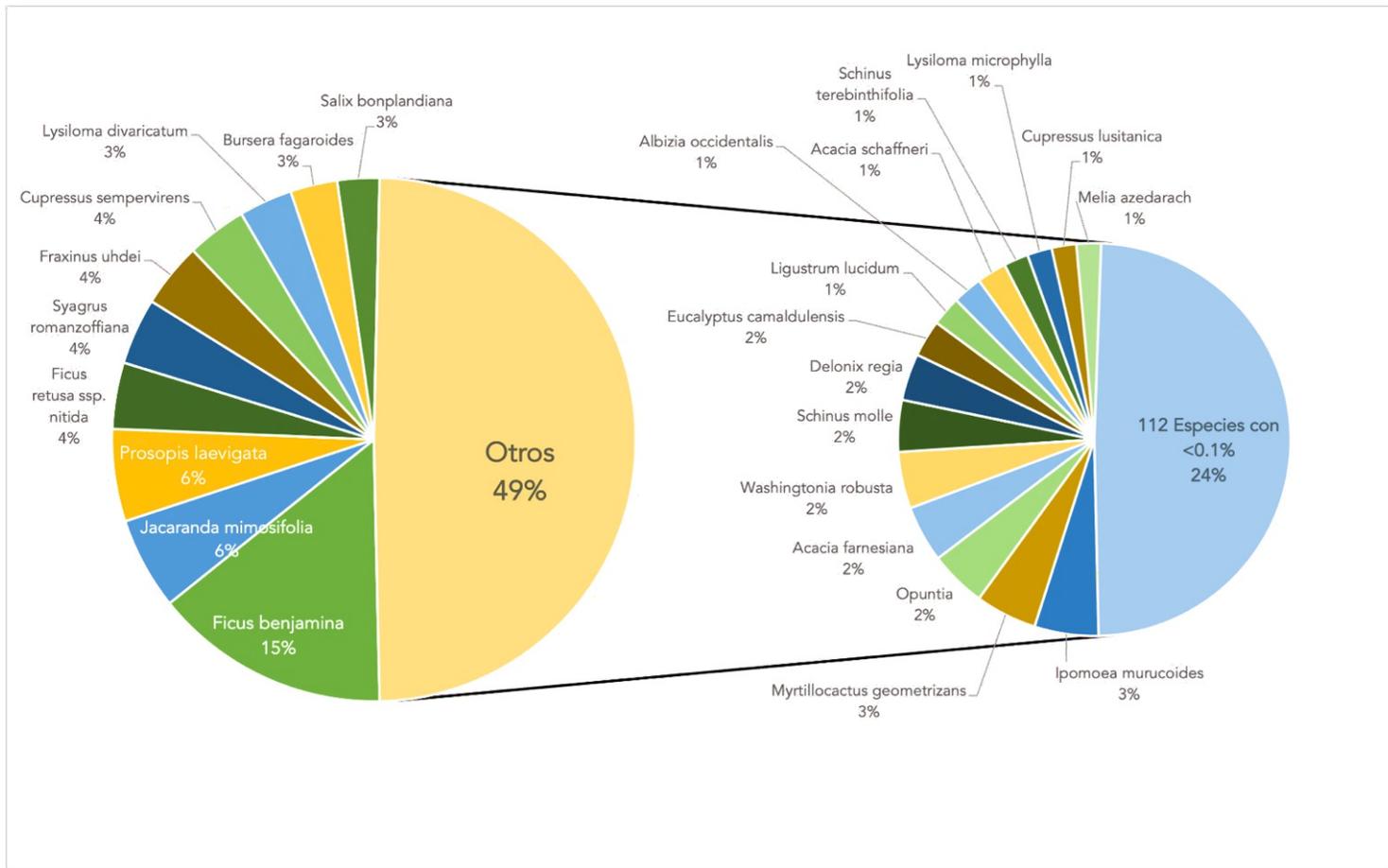


Figura 6. Especies más importantes en el arbolado de la ciudad de Querétaro

En cuanto a biodiversidad, a pesar de que se cumple aproximadamente la regla de sentido común de Santamour F.S. (1990) de no tener más del 10% de una especie salvo por el *Ficus benjamina*, no más de 20% de un género, otra vez a excepción de los Ficus, y no más del 30% de una familia, sí se puede decir que la biodiversidad es baja y se comprobará más adelante.

Santa Rosa Jauregui			Félix Osoros Soto			Epigmenio González		
Especie	Pob.	Condición%	Especie	Pob.	Condición%	Especie	Pob.	Condición%
<b>Total</b>	<b>183,605</b>	<b>45.6</b>	<b>Total</b>	<b>119,005</b>	<b>46.9</b>	<b>Total</b>	<b>123,652</b>	<b>46.9</b>
Prosopis laevigata	15,120	39.9	Ficus benjamina	19,403	34.6	Ficus benjamina	16,217	38.8
Syagrus romanzoffiana	12,096	70.2	Jacaranda mimosifolia	9,486	29.8	Prosopis laevigata	14,190	34.7
Jacaranda mimosifolia	7,344	32.2	Ficus retusa ssp. nitida	6,468	35.0	Jacaranda mimosifolia	8,919	24.0
Ficus benjamina	6,480	37.4	Syagrus romanzoffiana	3,881	70.3	Syagrus romanzoffiana	3,649	75.7
Ficus retusa ssp. nitida	4,320	39.6			Ficus retusa ssp. nitida	1,622	63.1	
Villa Cayetano Rubio			Centro Histórico			Felipe Carrillo Puerto		
Especie	Pob.	Condición%	Especie	Pob.	Condición%	Especie	Pob.	Condición%
<b>Total</b>	<b>94,685</b>	<b>53.5</b>	<b>Total</b>	<b>84,802</b>	<b>46.9</b>	<b>Total</b>	<b>108,577</b>	<b>59.9</b>
Ficus benjamina	9,537	37.0	Ficus benjamina	29,731	39.1	Ficus benjamina	10,166	52.9
Jacaranda mimosifolia	4,768	42.2	Jacaranda mimosifolia	11,487	48.6	Prosopis laevigata	5,693	55.1
Ficus retusa ssp. nitida	4,087	25.3	Ficus retusa ssp. nitida	5,744	63.5	Ficus retusa ssp. nitida	4,067	43.4
Syagrus romanzoffiana	3,406	76.7	Prosopis laevigata	3,379	42.1	Syagrus romanzoffiana	3,660	93.7
Prosopis laevigata	2,044	60.8	Syagrus romanzoffiana	338	82.5	Jacaranda mimosifolia	2,033	60.5
			Josefa Vergara y Hernández					
			Especie	Pob.	Condición%			
			<b>Total</b>	<b>76,732</b>	<b>43.7</b>			
			Ficus benjamina	24,277	32.9			
			Ficus retusa ssp. nitida	6,503	16.3			
			Syagrus romanzoffiana	5,202	65.5			
			Prosopis laevigata	1,734	75.5			
			Jacaranda mimosifolia	1301	54.2			

Cuadro 13. Especies más importantes por delegación por su población y condición.

La distribución de especies por delegación fue muy variable como podemos ver en el cuadro 13 donde solo se presentan las 5 principales. Los resultados de todas las especies en cada delegación se pueden ver en el reporte de i-Tree denominado *Resumen de la estructura por estrato y especie* donde además es posible ver información como la del cuadro 14. En el cuadro 13 se puede ver cómo cambia de lugar de importancia cada especie, e incluso que el mezquite (*Prosopis laevigata*) no se presenta en FOS o que por ejemplo, en una delegación, los laureles (*Ficus benjamina*) muestran un 53% de condición de copa mientras que presentan 37% de condición en otra.

Delegación (000 ha)	Pob.	Área foliar (ha)	Biomasa foliar (t)	Biomasa del peso seco del árbol (t)	Condición %
<b>SRJ (4.3)</b>	183,605	755.5	881.6	47,021	45.6
<b>EG (3.2)</b>	123,652	442.7	499.7	24,790	46.9
<b>FOS (2.9)</b>	119,005	722.4	728.3	33,639	46.9
<b>FCP (2.9)</b>	108,577	580.8	642.9	29,725	59.9
<b>VCR (1.2)</b>	94,685	434.3	449.8	26,783	53.5
<b>CH (1.9)</b>	84,802	720.2	656.4	37,874	46.9
<b>JVH (1.9)</b>	76,732	322.5	323.2	25,404	43.7

*Cuadro 14. Datos generados por i-Tree por delegación del arbolado.*

A partir de la información de los datos dasométricos y el dato de la especie, i-Tree calcula los parámetros morfo-fisiológicos de área y biomasa foliar, y peso seco del árbol. El cuadro 14 muestra el total de estos parámetros por delegación ordenados de mayor a menor población. Con estos parámetros podemos ver que el CH, por ejemplo, con una población del 70% de FOS tiene más biomasa de peso seco de los árboles y esto se debe a que los árboles son más viejos y están más grandes. Por otro lado, el área foliar es la misma a pesar de ser menos árboles, pero es por lo mismo. El tamaño de la delegación y su población tienen un efecto sobre los parámetros morfológicos, pero no es directamente proporcional. Se recomienda para efecto de análisis recurrir a los reportes de i-Tree en formato Excel. Con esta información es que calcula el Índice Vital Arbóreo (IVA) siguiendo la metodología descrita en De la Concha H., (2018) y que se muestra en el anexo 05.

Delegación (000 ha)	Área foliar (ha)	Biomasa foliar (t/ha)	Peso Seco (t)	Condición Promedio	Valor	%
VCR (1.2)	12	12	12	10	<b>46</b>	95.8%
CH (1.9)	12	10	10	6	<b>38</b>	79.2%
FOS (2.9)	8	8	6	6	<b>28</b>	58.3%
FCP (2.9)	6	6	4	12	<b>28</b>	58.3%
SRJ (4.3)	4	4	4	4	<b>16</b>	33.3%
JVH (1.9)	4	2	6	4	<b>16</b>	33.3%
EG (3.2)	2	2	2	6	<b>12</b>	25.0%

*Cuadro 15. IVA calculado para cada delegación ordenado de mayor a menor.*

Este índice le otorga las mejores calificaciones a la zona con los valores más altos de cada parámetro, es un índice comparativo y lo que nos dice el cuadro 15 es que VCR tiene los árboles con los valores de los cuatro parámetros morfológicos incluidos más altos que las demás

delegaciones, normalizado a una hectárea. Por otro lado, el arbolado de EG se encuentra en las peores condiciones y muy por debajo seguido por JVH y SRJ.

Del. (000 ha)	Árboles públicos			Árboles privados		
	Número de árboles	% árboles públicos	% de todos los árboles	Número de árboles.	% árboles privados	% de todos los árboles.
SRJ (4.3)	28,513	9.40	3.60	155,092	31.80	19.60
FCP (2.9)	32,126	10.60	4.10	76,451	15.70	9.70
EG (3.2)	53,110	17.50	6.70	70,542	14.50	8.90
VCR (1.2)	27,248	9.00	3.40	67,438	13.80	8.50
FOS (2.9)	59,934	19.70	7.60	59,071	12.10	7.50
CH (1.9)	54,395	17.90	6.90	30,407	6.20	3.80
JVH (1.9)	48,554	16.00	6.10	28,178	5.80	3.60
<b>Total</b>	<b>303,880</b>		<b>38.40</b>	<b>487,179</b>		<b>61.60</b>

Cuadro 16. Árboles públicos contra privados encontrados.

El software i-Tree clasifica a través de la Web-Link los árboles por su ubicación y si son responsabilidad de la administración pública o si se encuentran en propiedad privada. Los cuadros 16 y 17 contienen esta información y se encuentran ordenados de mayor a menor de acuerdo con la clasificación más alta, es decir para los árboles públicos o privados, los segundos son el 62% de la población y la delegación con más árboles privados fue SRJ. Es importante notar que la tendencia no se mantuvo para el CH ni JVH donde los árboles públicos fueron casi del doble de los privados.

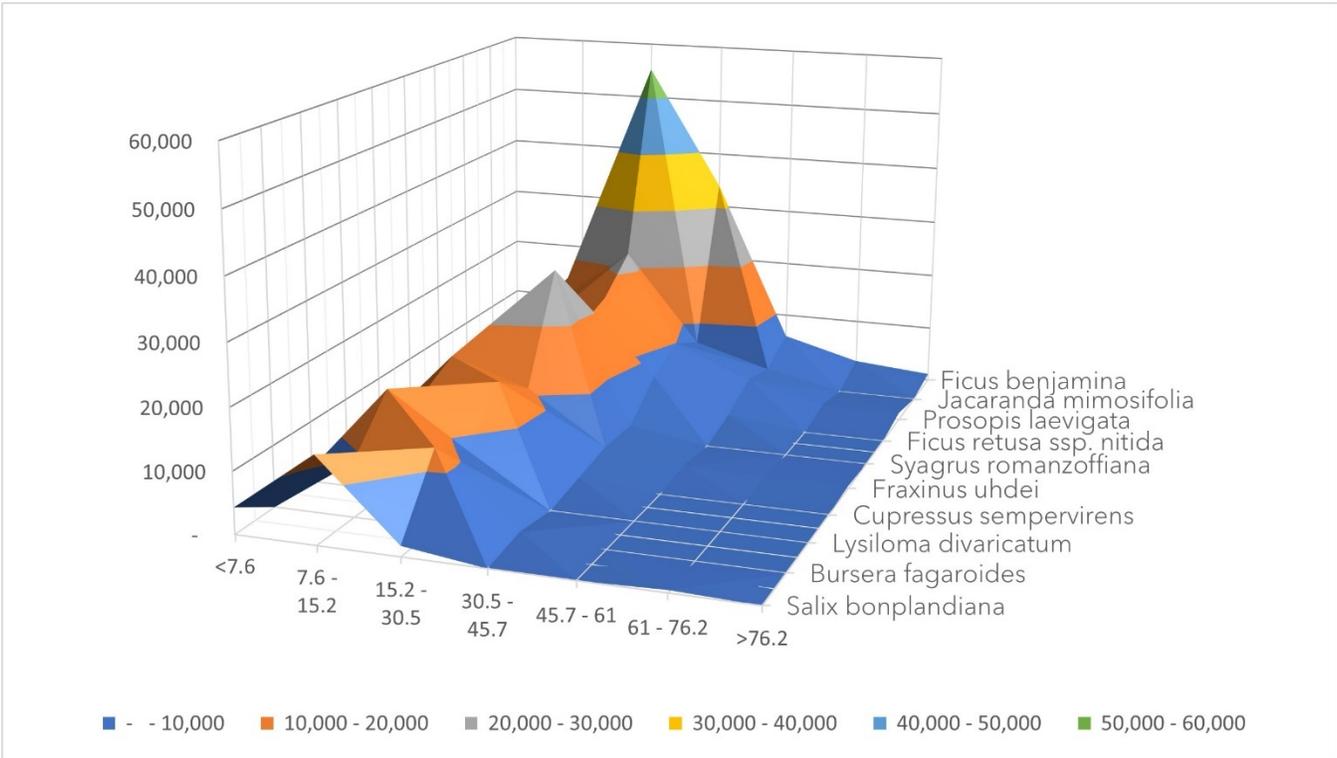
Del. (000 ha)	Árboles de la calle			Árboles que NO son de la calle		
	Número de árboles	% de árboles de la calle	% de todos los árboles	Número de árboles.	% de árboles que no son de la calle	% de todos los árboles.
SRJ (4.3)	30,241	10.40	3.80	153,364	30.60	19.40
FCP (2.9)	30,906	10.70	3.90	77,671	15.50	9.80
EG (3.2)	52,299	18.10	6.60	71,353	14.20	9.00
FOS (2.9)	48,723	16.80	6.20	70,282	14.00	8.90
VCR (1.2)	29,291	10.10	3.70	65,394	13.00	8.30
CH (1.9)	46,624	16.10	5.90	38,178	7.60	4.80
JVH (1.9)	51,588	17.80	6.50	25,144	5.00	3.20
<b>Total</b>	<b>289,672</b>		<b>36.60</b>	<b>501,386</b>		<b>63.40</b>

Cuadro 17. Ubicación de árboles con respecto a la calle.

En cuanto a la ubicación de los árboles, los que no son de la calle fue mayor a los de la calle y también la delegación SRJ fue la que más tuvo en esta situación. Así mismo el CH y JVH presentaron la misma tendencia de la propiedad de los árboles, es decir fue mayor el número de árboles de la calle que No de la calle, aunque la diferencia no fue mucha.

**Tamaño de los árboles**

El tamaño de los árboles se visualiza más fácilmente con el análisis del diámetro a la altura de pecho (DAP), en centímetros y con la altura (H) en metros. Para este análisis se construyó la figura 7 con los datos de la población y donde se muestra la cantidad de árboles por clase diamétrica para las 10 especies principales a manera de ejemplo. De esta figura se deriva que son muy pocos los árboles mayores a 45.7 cm. de diámetro y que la mayoría se encuentra entre 15 y 30 cm. el cual es un diámetro que se considera mediano.



*Figura 7. Diámetro a la altura de pecho de las 10 principales especies de árboles.*

Por otro lado, para la altura se utilizaron los datos de los árboles medidos en las parcelas, es decir muestreados, para construir la figura 8 que muestra la altura para cada DAP medido. Para establecer el tamaño de los árboles se establecieron 3 categorías basados en las siguientes condiciones:

Condiciones para la categoría					
Categoría	DAP (cm)		H (m)	Cantidad	%
Chicos	< 19.8	Y	< 6.6	601	33%
Medianos	> 19.8	O	> 6.6	1,090	59%
Grandes	> 19.8+1 DS	Y	> 6.6+ 1 DS	149	8%

Cuadro 18. Condiciones para las categorías de tamaño de árbol.

Cuando los valores de DAP y Altura son los promedios y DS es la desviación estándar de la muestra y de esta manera se definen como árboles chicos los que están por debajo de ambas medias, los medianos cuando tienen algún parámetro arriba de la media y los grandes los que tienen ambos parámetros sobre la media más una desviación estándar.

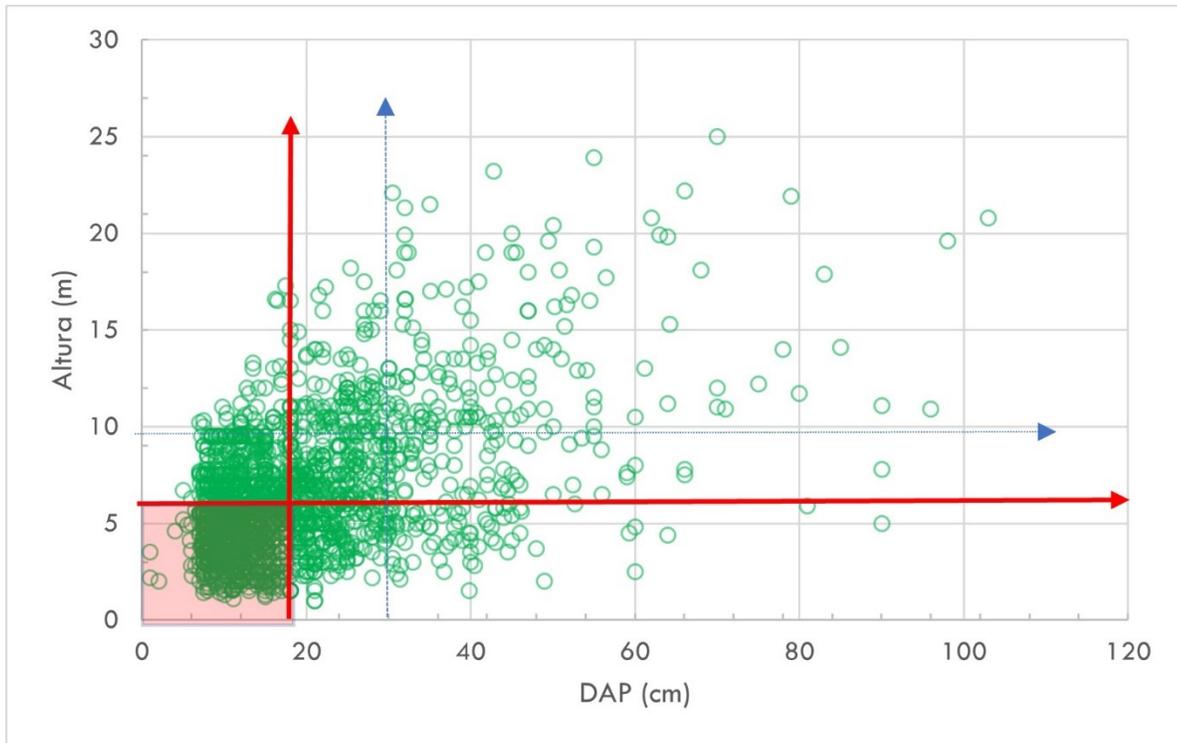


Figura 8. Relación DAP-H de árboles muestreados para análisis de tamaño.

### Índices de desempeño

Existen dos índices, el de Valor de importancia y el índice de desempeño relativo que ayudan a entender la estructura de la población por la importancia relativa de algunas especies en cuanto a servicio ambiental se refiere. Considerando que el follaje o copa es el factor más importante en el servicio ambiental debido a que es en las hojas donde se lleva a cabo este, en una especie la condición de copa o canope es mas importante que el número de árboles.

Por este motivo el Valor de importancia o VI se calcula para cada especie, sumando el % de cada una en la población más el % del follaje de ésta también dentro de la población.

	Especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de las hojas	Valor de importancia
1	Ficus benjamina (1)	14.60	15.90	30.50
2	Jacaranda mimosifolia (2)	5.70	8.70	14.40
3	Prosopis laevigata (3)	5.70	8.50	14.10
4	Schinus molle	2.10	7.90	10.00
5	Eucalyptus camaldulensis	1.50	8.30	9.80
6	Ficus retusa ssp. nitida (4)	4.10	2.80	7.00
7	Lysiloma divaricatum (8)	3.30	3.50	6.70
8	Fraxinus uhdei (6)	4.00	2.60	6.50
9	Syagrus romanzoffiana (5)	4.10	1.90	6.00
10	Salix bonplandiana (10)	2.60	2.70	5.40

Cuadro 19. Valor de importancia de las primeras 10 especies.

De tal manera que una especie con menor cantidad de individuos, pero con buen follaje y/o en buenas condiciones, puede estar mejor posicionado que otra especie con más individuos, pero con peores condiciones de canope. Por ejemplo, en el cuadro 19, los pirules (*Schinus molle*) no están dentro de las 10 principales especies, pero por el estado de su canope suben en esta lista al lugar número 4 de importancia. Por otro lado, el coco plumoso (*Syagrus romanzoffiana*) cae del lugar número 5 por población hasta el 9 en este índice porque la aportación de su follaje al total de la población es muy bajo.

El índice de desempeño relativo (RPI por relative performance index sus siglas en inglés), cuadro 20, se calcula de acuerdo con el porcentaje de la población de cada especie que está en cada una de las categorías de condición de copa. En la figura 9 se muestran estas categorías para las 10 principales especies por número de individuos en la población y se muestra el porcentaje de la categoría de copa MALA como referencia y el porcentaje de árboles muertos. El RPI entre mayor sea significa que un mayor porcentaje de individuos de la especie está en los rangos de condición de copa mejores, es decir aceptable, buena o excelente. El cuadro 20 presenta las especies que tuvieron valores de RPI arriba de 1y la posición se refiere a su lugar en la lista de las 119 especies, y se seleccionaron a las primeras 11 que tuvieran más de 1% en la población. Para dar a entender el uso que se le puede dar a este índice, tomemos al coco plumoso como ejemplo; a nivel población se encuentra en el quinto lugar, pero si aplicamos el RPI baja al lugar 25 y esto porque si vemos en la figura 9 solo tiene un 40% de su canope en las categorías de copa pobre. Por otro lado, el Palo Xixote (*Bursera fagaroides*) cae desde el lugar 9 por número hasta el 74 con un RPI de apenas 1.05, ya que únicamente tiene un 30% de individuos en un nivel aceptable de canope.

Pos.	Especie	RPI	# de árboles	Error estándar	% de árboles
15	Washingtonia robusta	1.7	18,044	(±4,003)	2.3
19	Myrtillocactus geometrizans	1.63	19,869	(±5,090)	2.5
25	Syagrus romanzoffiana (5)	1.56	32,232	(±6,576)	4.1
34	Cupressus sempervirens (7)	1.42	29,081	(±7,768)	3.7
41	Lysiloma divaricatum (8)	1.35	25,973	(±9,779)	3.3
58	Acacia schaffneri	1.16	9,135	(±2,442)	1.2
62	Salix bonplandiana (10)	1.11	20,698	(±19,821)	2.6
63	Schinus molle	1.11	16,334	(±3,418)	2.1
74	Bursera fagaroides (9)	1.05	22,789	(±6,600)	2.9
78	Acacia farnesiana	1.02	18,205	(±3,977)	2.3
79	Delonix regia	1.02	14,846	(±4,037)	1.9
<b>80</b>	<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>791,059</b>	<b>(±45,445)</b>	

Cuadro 20. Índice de desempeño relativo de 11 especies con más de 1%.

Este índice nos sirve como indicador de lo sensible que es una especie a las condiciones de la ciudad y la interpretación es que sí el índice es alto la sensibilidad es menor y esa especie puede crecer y producir buen follaje en las condiciones específicas de un sitio en particular. Sin embargo, una nota de cuidado es que las monocotiledóneas generalmente tienen buenos índices porque sus follajes son más resistentes, pero menos abundantes y con menor servicio ambiental, que las dicotiledóneas. Pero es muy útil en comparaciones inter específicas, por ejemplo, entre las Acacias en este cuadro se observa que la *A. schaffneri* (Huizache Chino) tiene mejor desempeño en las condiciones de Querétaro que la *A. farnesiana* (Huizache Yóndiro).

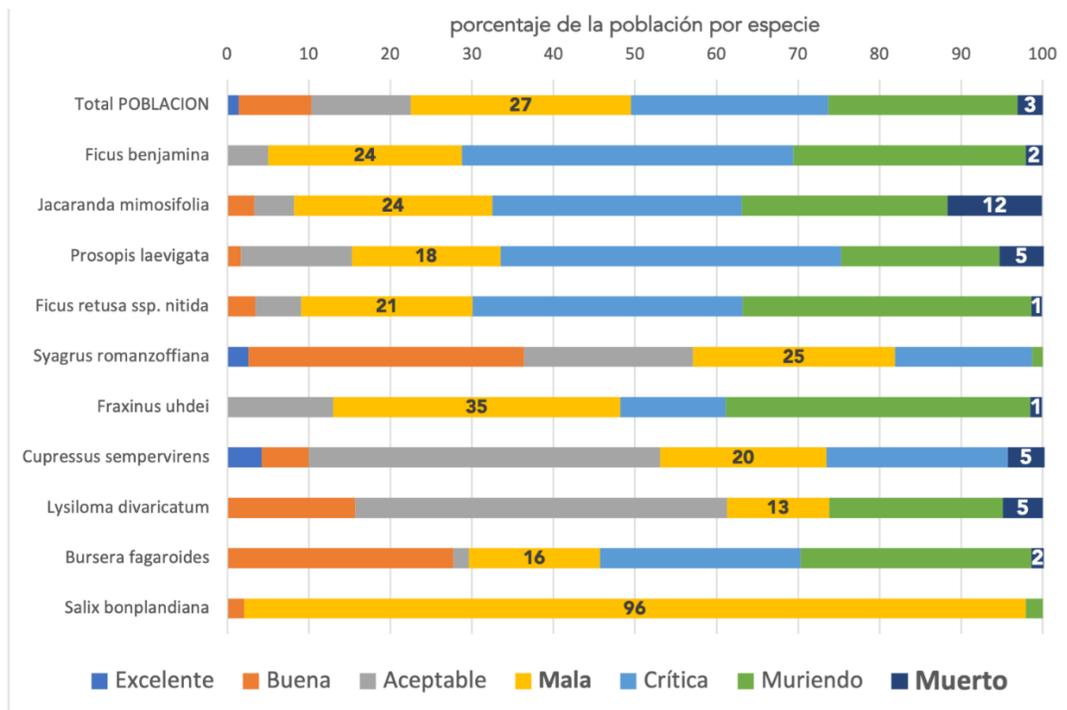


Figura 9. Condición de copa de las 10 principales especies por número de individuos y de acuerdo con la escala utilizada por i-Tree.

## Biodiversidad

Como ya se mencionó anteriormente se detectaron 119 tipos de especie, sin contar a los individuos clasificados únicamente por género. De estas 119 especies el cuadro 21 muestra su origen de acuerdo con la clasificación INTRODUCIDA vs NATIVA y por su clase para tener una idea muy general de la biodiversidad.

Clase/Origen	No. Especies	% de especies	Población (no.)	% de la población
Monocotiledóneas	10	8.40%	10,828	1.4%
Dicotiledóneas	64	53.78%	431,406	57.7%
<b>Total Introducidas</b>	<b>74</b>	<b>62.18%</b>	<b>442,234</b>	<b>59.18%</b>
Monocotiledóneas	3	2.52%	20,021	2.7%
Dicotiledóneas	42	35.29%	285,041	38.1%
<b>Total Nativas</b>	<b>45</b>	<b>37.82%</b>	<b>305,062</b>	<b>40.82%</b>
<b>Gran TOTAL</b>	<b>119</b>		<b>747,296</b>	

Cuadro 21. Cantidad y porcentaje de especies por origen y clase.

Básicamente las especies introducidas conforman el 60% de la población tanto por número de individuos como por el porcentaje del total de especies, siendo más relevantes la clase dicotiledónea, tanto en introducidas como en nativas. Es interesante observar que hay más especies de palmas introducidas que nativas, aunque la cantidad de palmas nativas es del doble que las introducidas. Por otro lado, un análisis de la figura 6, del listado de especies más importantes del arbolado de Querétaro, nos muestra que de las 10 especies que conforman el 50% de la población 8 son introducidas con un 42% de la población y únicamente 2 que conforman el 10% de la población son nativas.

El cuadro 22 es un reporte emitido directamente por i-Tree donde si sumamos las especies originarias de norte América y continentes vecinos (en negritas) sumamos el 44% de especies nativas, muy similar al análisis general realizado. Por la variabilidad que existe entre delegaciones es necesario revisar cuidadosamente el cuadro ya que por ejemplo las delegaciones JVH y CH tienen una alta concentración de especies de origen asiático, específicamente por el caso del *Ficus benjamina* (Laurel), esto lo podemos comprobar en el cuadro 13. En el caso del CH, el segundo grupo de especies en importancia son de sud América y esto es debido a la alta concentración de *Jacaranda mimosifolia*, que también se puede comprobar en el mismo cuadro 13. Por otro lado, SRJ, FOS y VCR tienen un alto porcentaje de especies de norte América y esto se debe a la presencia de *Prosopis laevigata* (mezquite), diferentes especies de Acacias y cactáceas del género *Opuntia*.

Delegación Continentes	SRJ	FOS	EG	VCR	CH	FCP	JVH	Área de estudio
Africa	1.7	0.4	1.0	0.7	0.4		0.6	0.6
Africa & Oceanía	0.2	5.9	1.0	1.5	2.8	0.4	2.3	1.9
Asia	5.2	2.2	6.9	8.0	6.5	4.9	7.0	5.6
Asia & Oceanía	8.1	16.7	14.6	12.4	37.8	11.0	36.0	17.3
Europe & Africa	1.2			0.7	1.2			0.4
Europe & Asia +	4.9	0.4	3.8	5.8	2.8	8.0	2.3	3.7
<b>North America</b>	38.8	39.0	27.8	39.4	9.8	40.3	20.3	32.5
<b>North America +</b>	1.7	0.7	0.3		0.8	0.4	1.2	0.8
<b>North &amp; South America</b>	12.3	4.8	21.5	3.6	5.7	15.2	5.2	10.5
<b>North &amp; South America +</b>	0.7	1.1	0.7		0.4	2.3		0.8
Oceanía	3.4	5.9	5.2	0.7	2.4	1.5	4.1	3.4
South America	13.5	16.4	8.3	11.7	20.7	8.4	11.0	12.8
Desconocido	8.1	6.3	8.7	15.3	8.5	7.6	9.9	9.0

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 22. Origen de las especies encontradas en el inventario.*

Otro reporte también emitido por el i-Tree es el de cálculo de índices de biodiversidad donde se incluyen el índice de diversidad Shannon-Wiener, el índice de diversidad de Menhinick y el de Simpson. En el cuadro 23 se pueden ver estos índices por delegación junto con el número de especies por hectárea, y la riqueza de cada estrato o cantidad de especies encontradas en cada delegación.

DELEGACIÓN	Riqueza	SPP/ha.	Shannon	Menhinick	Simpson
Villa Cayetano Rubio	37	21.00	3.20	3.20	21.90
Centro Histórico	43	7.40	2.70	2.70	6.50
Félix Osores Soto	44	6.40	3.00	2.70	12.90
Josefa Vergara y Hernández	44	9.80	2.90	3.40	8.40
Felipe Carrillo Puerto	51	7.10	3.20	3.10	16.00
Epigmenio González	65	8.20	3.40	3.80	19.20
Santa Rosa Jauregui	86	8.60	3.90	4.30	34.10
Área de estudio	135	3.10	3.80	3.20	22.60

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 23. Índices de biodiversidad calculados por i-Tree por delegación.*

El cuadro se encuentra ordenado de menor a mayor número de especies por hectárea o riqueza. Curiosamente la delegación con menos riqueza es VCR, pero tiene una mayor cantidad de especies por hectárea, esto se puede deber a las características de los fraccionamientos que hay en esa delegación, aunque son pocas especies, están muy dispersas y repetidas en las áreas comunes jardinadas.

Por su parte SRJ y EG son las delegaciones con más riqueza, esto probablemente debido a las zonas sin construcciones, es decir áreas naturales con vegetación nativa que incrementó el número de especies al grado de tener más del doble que VCR. En cuanto al CH es claro que su diversidad sea baja por falta de espacios plantables para árboles y los altos niveles de construcción. Para efecto de análisis se marcaron los índices de las delegaciones que estuvieran por arriba del área de estudio general, es decir del total para toda la ciudad, solo para indicar las delegaciones con mayor diversidad o diversidad arriba del promedio ponderado. En el anexo 6 se presenta la lista de especies con su cantidad y condición por delegación para su análisis más profundo.

## 6. SERVICIOS AMBIENTALES

Los servicios ambientales que calcula el i-Tree básicamente son 4 y utilizando los precios internacionales que maneja, lo convierte a valores monetarios para su análisis. Los 4 servicios ambientales son: el cálculo de carbono almacenado en madera, la capacidad de secuestro y fijación de carbono, la eliminación de contaminantes y finalmente el incremento en agua infiltrada o la reducción de agua de escorrentía. Existen diversos reportes de los beneficios ambientales de los arbolados como el de Soares, A.L. (2011) en Portugal y Chaparro, L. y J. Terradas en Barcelona además de todos los reportes realizados por todo el mundo y en EUA con i-Tree<sup>6</sup>.

### Carbono (secuestro y almacenamiento)

El carbono tanto almacenado como la capacidad de secuestro depende en gran medida en la especie de árbol, el tipo y estado del follaje y por supuesto el tamaño del árbol. La especie porque afecta la densidad de la madera y en este sentido no es lo mismo un tronco de una palma al de un mezquite por razones obvias. El tipo y estado del follaje es relevante ya que la fotosíntesis, es decir, el proceso de fijación del carbono atmosférico, se lleva a cabo en él y entre más y mejor se encuentre mejor serán los resultados. Finalmente, el tamaño del árbol es relevante ya que el tipo de crecimiento es volumétrico, es decir un canope o follaje crece en 3 sentidos y está bien documentado que con un incremento en 20% de DAP el follaje puede llegar a incrementos de 75 a 90%, de ahí la importancia del cuidado y mantenimiento de los arbolados para tener más árboles más grandes que muchos chicos.

Delegación (000 ha)	Árboles		Almacenamiento de carbono			Secuestro bruto de carbono		
	Población	SE	(tonelada)	SE.	(Mex\$)	(tonelada /año)	SE	(Mex\$/año)
<b>SRJ (4.3)</b>	183,605	±23,270	23,511	±3,276	86,699,394	761	±93	2,806,952
<b>FOS (2.9)</b>	84,802	±9,738	18,937	±2,858	69,834,190	426	±54	1,570,948
<b>EG (3.2)</b>	119,005	±23,587	16,819	±3,347	62,024,371	513	±126	1,891,072
<b>VCR (1.2)</b>	108,577	±16,846	14,862	±3,078	54,807,816	525	±94	1,934,979
<b>CH (1.9)</b>	94,685	±13,207	13,392	±2,698	49,384,192	480	±98	1,769,890
<b>FCP (2.9)</b>	76,732	±9,601	12,702	±2,946	46,840,694	335	±68	1,234,485
<b>JVH (1.9)</b>	123,652	±17,948	12,395	±2,264	45,708,885	508	±80	1,873,946

*Cuadro 24. Relación del arbolado con el carbono como servicio ambiental.*

En el cuadro anterior (24) se muestran los resultados del comportamiento del arbolado por delegación con respecto al carbono. El cuadro muestra la superficie y población por delegación y el error standard para dar idea de la variación estadística. También presenta el carbono

<sup>6</sup> t.ly/6kgXn

almacenado por delegación ordenado de mayor a menor, su error y el valor en pesos de este servicio. Aunque las cifras son diferentes, estadísticamente se pueden identificar y formar 3 grupos, el primero formado por el CH, FCP y JVH como las delegaciones con arbolados más pequeños y de menor C almacenado. Seguirían EG y VCR con arbolados más grandes a pesar de que la superficie de VCR es la menor de todas las delegaciones y finalmente quedarían FOS y SRJ, aunque este último por ser la más grande y con la mayor población no necesariamente la mayor cantidad de carbono nos sugiere que es debido a arboles grandes y/o en buen estado.

Delegación (000 ha)	Secuestro bruto de carbono (t/año)	Equivalente CO <sub>2</sub> (t/año)	Secuestro neto de carbono (t/año)	Equivalente CO <sub>2</sub> (t/año).
<b>SRJ (4.3)</b>	761	2,791	-208.1	-763.1
<b>FCP (2.9)</b>	525	1,924	-33.1	-121.4
<b>FOS (2.9)</b>	513	1,880	53.9	197.7
<b>EG (3.2)</b>	508	1,863	218.9	802.5
<b>VCR (1.2)</b>	480	1,760	181.1	663.9
<b>CH (1.9)</b>	426	1,562	-198.4	-727.4
<b>JVH (1.9)</b>	335	1,228	83.1	304.7
<b>TOTAL</b>	<b>3,547.6</b>	<b>13,008.9</b>	<b>97.3</b>	<b>356.9</b>

*Cuadro 25. Secuestro y equivalente en CO<sub>2</sub> de carbono por delegación.*

Por otro lado, la capacidad de secuestro de carbono es posible analizarla con más detalle en el cuadro 25 donde se encuentra la capacidad bruta, la neta y sus respectivos equivalentes en bióxido de carbono. La capacidad bruta se refiere al total de carbono fijo por la fotosíntesis durante el día, es decir con la presencia de luz, mientras que la neta es esta cantidad menos la cantidad liberada durante la noche por el proceso de respiración del árbol que lleva a cabo cuando consume sus reservas, forma estructura y utiliza la energía para el desarrollo de raíces y otras funciones. El problema es que en árboles viejos que pierden follaje pero que son grandes, la cantidad generada es mayor que la fijada y por eso se dan valores negativos como se encontró en el inventario del municipio de Guadalajara (De la Concha y Sube, 2018). En otras palabras, es causa de poblaciones viejas con pocos árboles jóvenes. Este fenómeno está directamente relacionado con la producción de oxígeno. El equivalente de CO<sub>2</sub> se calcula simplemente multiplicando el peso del carbono por 3.66 debido a las dos moléculas de oxígeno en el bióxido de carbono. Es importante distinguir que el monóxido de carbono (CO) no se incluye en estos cálculos, ya que como indica Bidwell y Fraser (1972) éste es considerado un contaminante y su proceso de fijación es diferente al CO<sub>2</sub>.

## Producción de Oxígeno

El oxígeno es un subproducto de la fotosíntesis y por otro lado es un insumo en el proceso de respiración. Por eso en árboles viejos donde se lleva a cabo un consumo de reservas por esta vía, el consumo de oxígeno es alto y si es más alto de lo que se produce en la fotosíntesis el valor neto es negativo como se puede ver las 3 delegaciones donde el secuestro neto también es negativo, SRJ, FCP y el CH (figura 10).

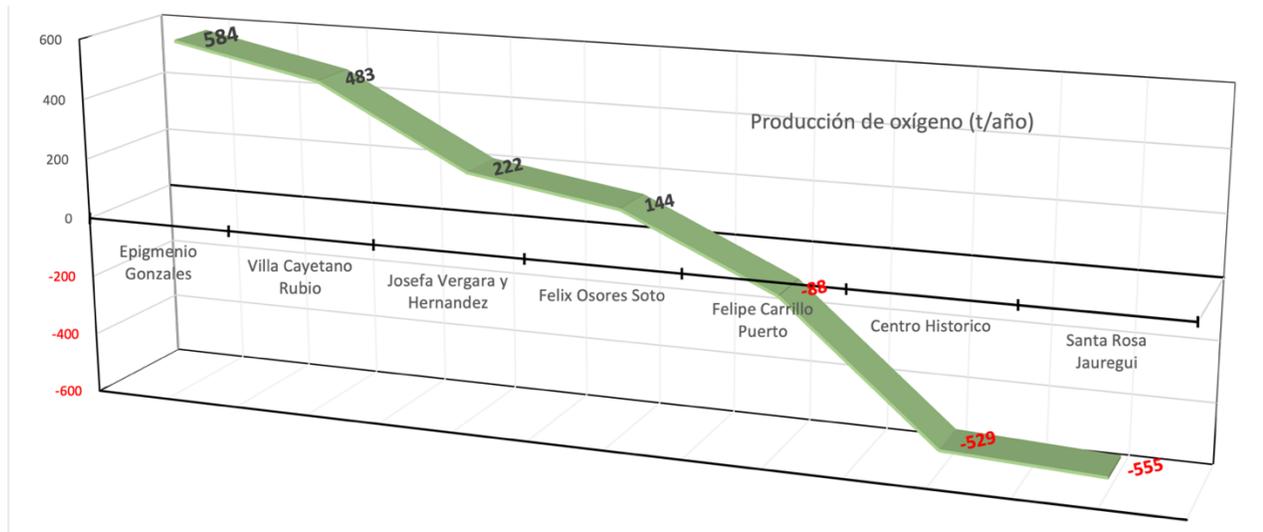


Figura 10. Producción de oxígeno por delegación

## Incremento en Infiltración

El incremento en infiltración se dá por dos efectos causados por los árboles; en primera instancia por el incremento en permeabilidad gracias a el sistema radicular y en segundo lugar por el agua que se detiene y se fija temporalmente en las hojas. El i-Tree genera toda la información que vemos en el cuadro 26 a este respecto. Todos los parámetros calculados tienen una relación directa con el área foliar y esto tiene que ver a su vez con el tamaño de los árboles, tipo y especie por supuesto. Por ejemplo, el CH con una superficie menor que SRJ y FOS prácticamente tiene la misma área foliar y por lo tanto casi el mismo servicio ambiental por este concepto.

Delegación (000 ha)	Área foliar (ha)	Posible evapotranspiración (m³/año)	Evaporación (m³/año)	Transpiración (m³/año)	Agua interceptada (m³/año)	Escorrentamiento evitado (m³/año)	Valor del escurrimiento evitado (Mex\$/año)
<b>SRJ (4.3)</b>	755.5	1,463,963	142,686	454,573	142,695	27,334	1,227,537
<b>FOS (2.9)</b>	722.4	1,399,847	136,437	434,665	136,446	26,137	1,173,776
<b>CH (1.9)</b>	720.3	1,395,691	136,032	433,374	136,041	26,059	1,170,291
<b>FCP (2.9)</b>	580.8	1,125,401	109,688	349,447	109,695	21,012	943,652
<b>EG (3.2)</b>	442.7	857,799	83,606	266,354	83,611	16,016	719,267
<b>VCR (1.2)</b>	434.3	841,515	82,019	261,298	82,024	15,712	705,613
<b>JVH (1.9)</b>	322.5	624,919	60,908	194,043	60,912	11,668	523,997
<b>Total</b>	<b>3,978.3</b>	<b>7,709,136</b>	<b>751,375</b>	<b>2,393,754</b>	<b>751,423</b>	<b>143,938</b>	<b>6,464,134</b>

El valor del escurrimiento evitado se calcula por el precio Mex\$44.909/m³. La estación meteorológica designada por el usuario reportó 55.7 centímetros de la precipitación anual total. Eco siempre utilizará las mediciones por hora que tengan la mayor cantidad de lluvia total o la lluvia enviada por el usuario, si la hubiera.

Cuadro 26. Relaciones hídricas del arbolado de la ciudad de Querétaro.

## Remoción de Contaminantes

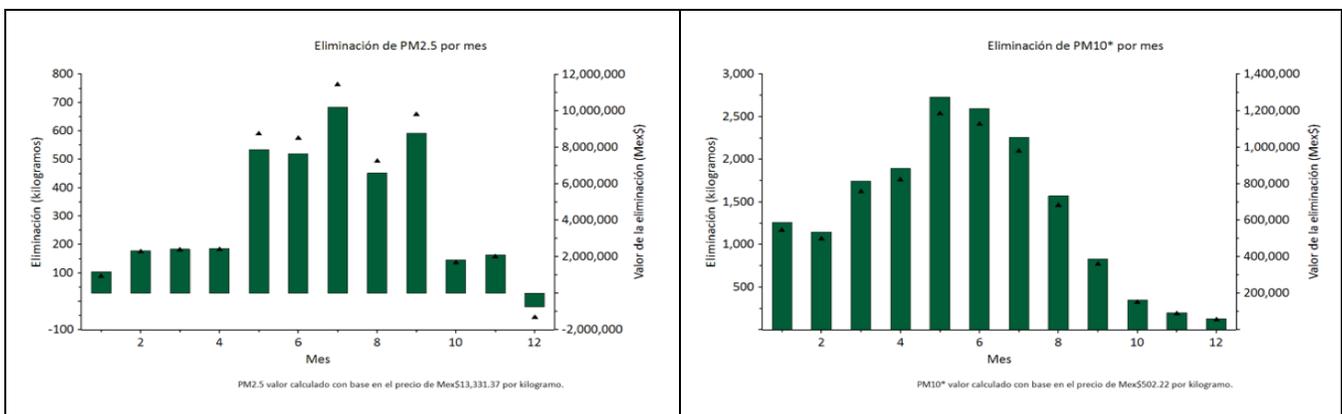
En el cuadro 27 se pueden ver los contaminantes evaluados por su remoción por las hojas de los árboles. El servicio ambiental mejor cotizado es el de remoción de las partículas suspendidas de menos de 2.5 micrones ya que estos contaminantes son muy dañinos a las vías respiratorias y por lo tanto dentro del costo estimado está el efecto en la pérdida de empleos y costo de hospitalización para su tratamiento. En su artículo Baldocchi,D (1987) detalla mas ampliamente como es este proceso y explica su modelo.

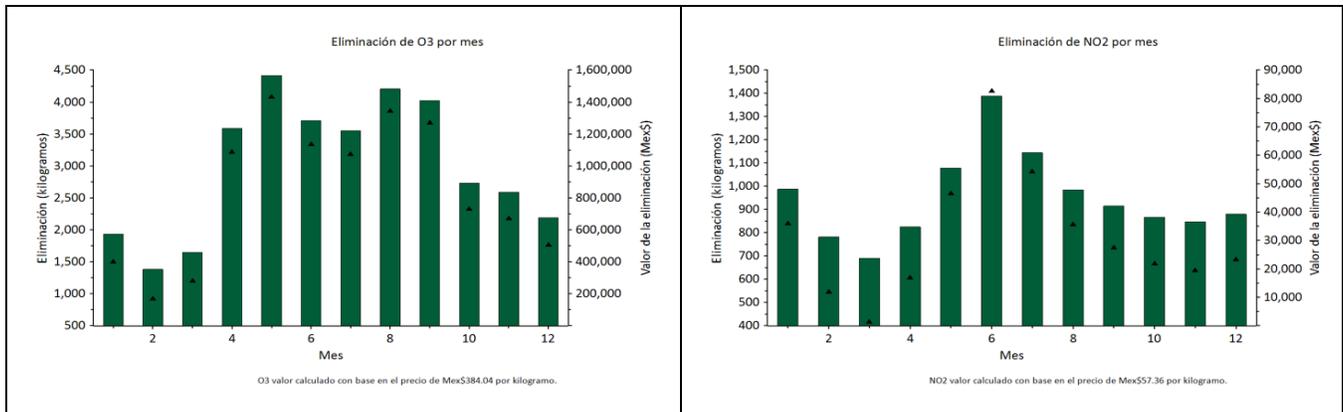
Contaminante	Eliminación (kg)	Valor (Mex\$)
<b>PM2.5</b>	3,940	\$52,525,767
<b>O3</b>	31,213	\$11,987,242
<b>PM10*</b>	15,513	\$7,790,750
<b>NO2</b>	9,404	\$539,425
<b>CO</b>	13,530	\$435,625
<b>SO2</b>	7,630	\$159,438

El valor de la eliminación de la contaminación se calcula con base en los precios de  
 Mex\$32.20 por kg (CO),  
 Mex\$384.04 por kg (O3),  
 Mex\$57.36 por kg (NO2),  
 Mex\$20.90 por kg (SO2),  
 Mex\$13,331.37 por kg (PM<sub>2.5</sub>),  
 Mex\$502.22 por kg (PM<sub>10</sub>).

Cuadro 27. Eliminación de contaminantes.

Figura 11. Eliminación de los principales contaminantes por mes.





### Compuestos Orgánicos Volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son moléculas que liberan los árboles con fines de atracción de insectos, y otras funciones ecológicas. En este parámetro, la especie, juega un papel determinante, por ejemplo, especies con altos niveles de isopreno son la casuarina y del género eucalipto y aunque esto no debe considerarse como un contaminante o efecto negativo si es conveniente considerarlo en programas de reforestación, sobre todo en parques públicos de alta concentración de usuarios.

Delegación (000 ha)	Monoterpeno. (kg/año)	Isopreno (kg/año)	COV totales (kg/año)
<b>CH (1.9)</b>	5,446	3,083	8,529
<b>EG (3.2)</b>	1,348	1,290	2,638
<b>FCP (2.9)</b>	2,642	3,343	5,985
<b>FOS (2.9)</b>	6,009	15,121	21,130
<b>JVH (1.9)</b>	1,400	2,173	3,573
<b>SRJ (4.3)</b>	5,263	10,246	15,510
<b>VCR (1.2)</b>	2,813	1,491	4,304
<b>TOTALES</b>	<b>24,921</b>	<b>36,748</b>	<b>61,669</b>

Cuadro 28. Compuestos Orgánicos Volátiles por Delegación.

La última versión del i-Tree además del efecto de los COV, calcula el índice de alergia y grado de Alergenicidad que se basa en las especies presentes por delegación y población. Este parámetro tiene que ver con las características del polen y otros factores más.

Delegación (000 ha)	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)	Desconocido (%)	Índice de Alergia	Grado de alergenicidad
<b>FOS (2.9)</b>	13	59	10	18	4.74	Medio
<b>CH (1.9)</b>	30	34	25	11	4.35	Medio
<b>SRJ (4.3)</b>	11	35	14	40	3.62	Medio
<b>VCR (1.2)</b>	10	27	21	42	3.44	Bajo
<b>JVH (1.9)</b>	45	15	11	28	2.84	Bajo
<b>EG (3.2)</b>	24	23	13	40	2.74	Bajo
<b>FCP (2.9)</b>	16	17	14	53	2.58	Bajo

Cuadro 29. Índice de Alergenicidad por delegación.

### Valoración integral del servicio ecosistémico.

Para la valoración integral desde el trabajo de parques de Mérida, en Agrinet desarrollamos el IVA para arbolado y el índice vital Ecosistémico (IVEc) que sigue la misma metodología (anexo 05). Este índice es un comparativo, en este caso entre delegaciones, que toma en cuenta los 4 principales servicios que efectúa un arbolado y que otorga la máxima calificación (de 12 puntos) a la delegación con el valor más alto y la más baja (2) a la que tenga el menor valor. En la figura 11 se puede ver que el mejor arbolado en términos de servicio ambiental se encuentra en VCR ya que como se comentó anteriormente aparentemente en los fraccionamientos de esa área se trasplantaron árboles grandes que en primer lugar inician más rápido con el servicio ambiental y segundo por su tamaño y el cuidado que han tenido tienen canopes o follajes en mucho mejores condiciones que en las otras delegaciones. En este comparativo el tamaño de delegación y la población de árboles se normalizó para poder hacer el comparativo equitativo.

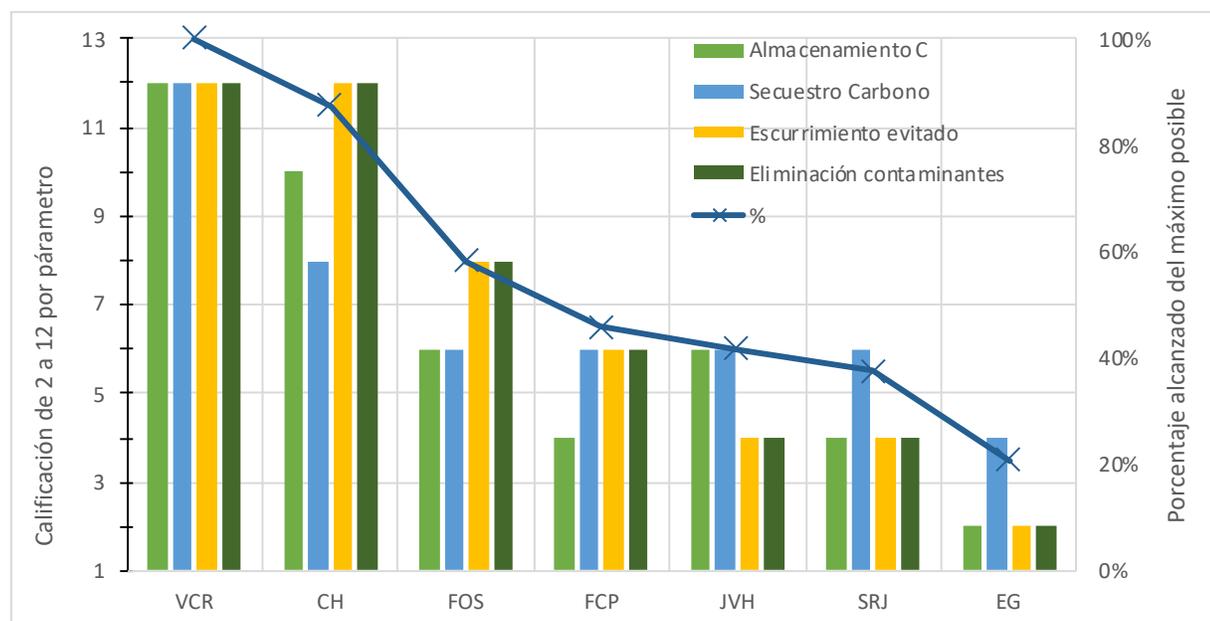


Figura 12. Índice Vital Ecosistémico por delegación.

Claramente las delegaciones EG y SRJ así como JVH requieren más atención en cuanto al arbolado que tienen para mejorar el follaje de estas delegaciones y subir su servicio ambiental. También hay que procurar utilizar especies más idóneas con árboles más grandes que contribuyan lo más pronto posible a incrementar el servicio ambiental.

Con los valores del cuadro 27 es posible monetizar el servicio ambiental y con esto establecer estándares. Para tal motivo existe el Índice Económico (IE), parte de los índices que conforman el Índice Arbóreo (IA), que no es otra cosa que la suma de los 3 índices. El IE se calcula con los mismos principios que los otros dos, es decir se asignan calificaciones altas (12) por cada concepto que tenga los valores más altos y bajas (2) para las delegaciones con los menores valores por concepto. El objetivo es poder comparar entre delegaciones por el desempeño económico total.

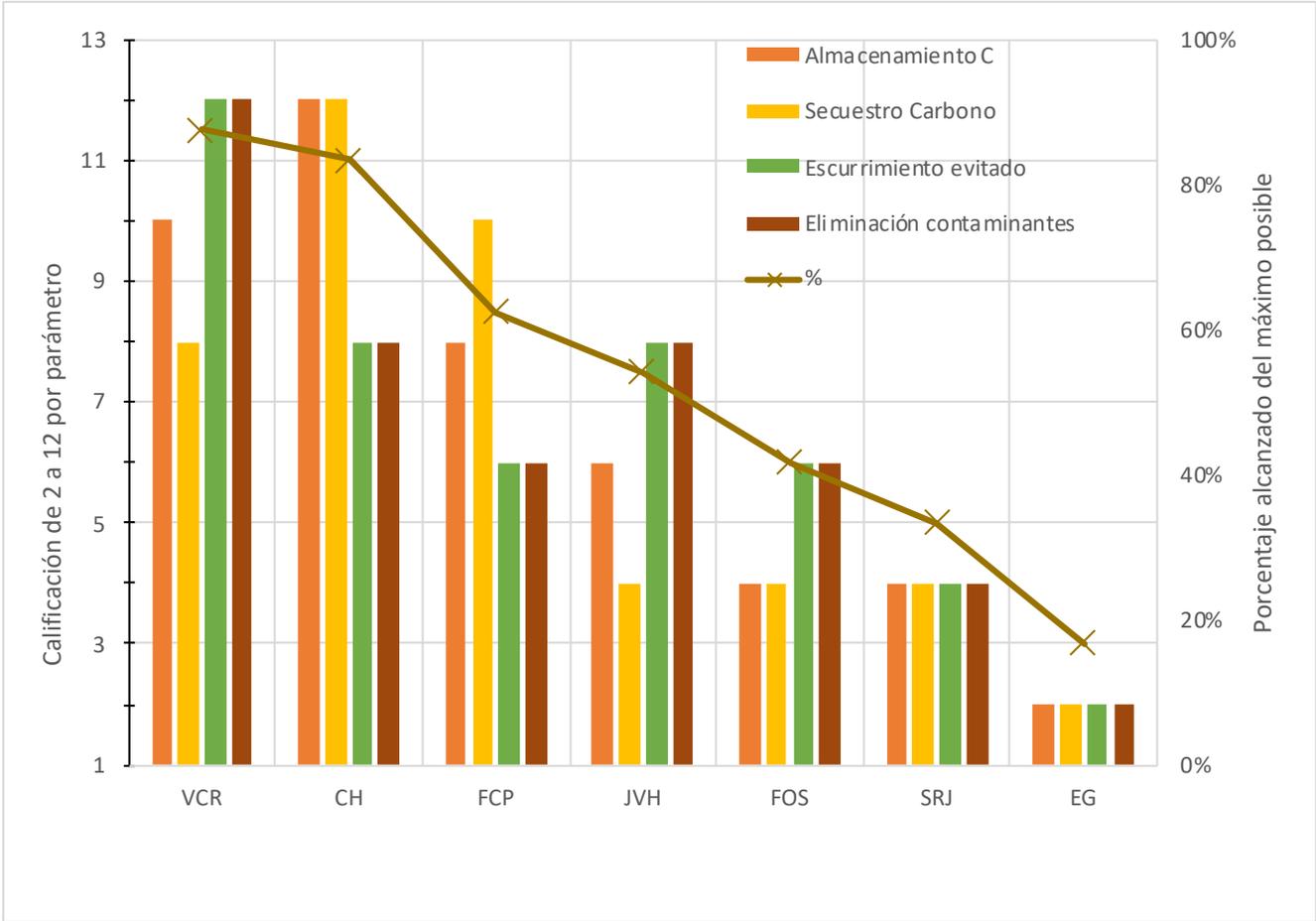


Figura 13. Índice Económico del servicio ambiental del arbolado de Querétaro.

La figura 13 presenta las calificaciones obtenidas por delegación de la evaluación del servicio ambiental en pesos según los precios mencionados. Dado que el servicio mejor pagado es el de retiro de PM<sub>2.5</sub> normalmente este servicio cotiza mejor que los otros, aunque este no fue el caso en el CH ni FCP. En el caso del CH tenemos que el hecho de contar con los árboles más

antiguos, y por lo tanto grandes, con relativamente mejor cuidado que en otras delegaciones, arroja que el monto mas alto por pago a un servicio ambiental es por C acumulado y secuestrado de todas las delegaciones. Mientras que el arbolado de VCR es más eficiente en la eliminación de contaminantes y esorrentía por lo mismo un arbolado joven pero en buenas condiciones.

Los árboles en EG y SRJ nuevamente se encuentran en la parte más baja por tamaño y cuidado y de ahí que la remuneración por su servicio ambiental sea baja.

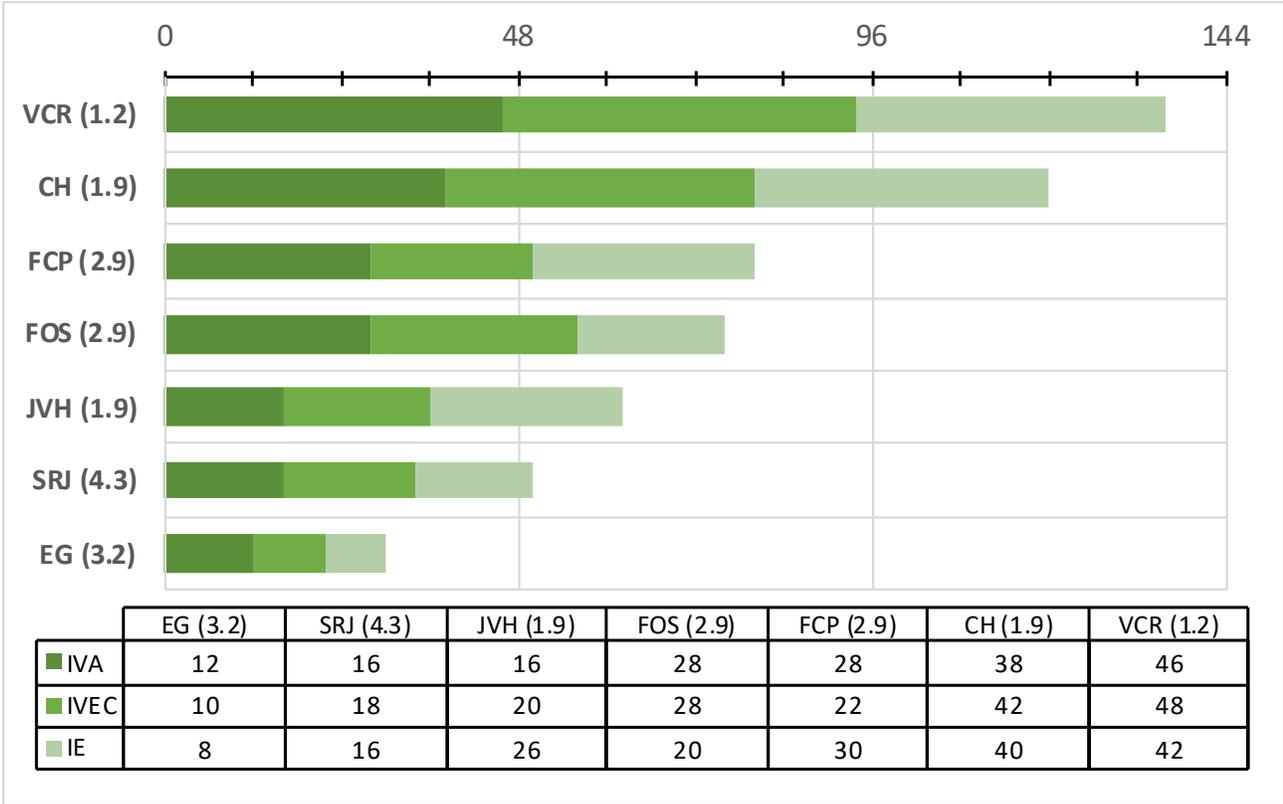


Figura 14. Índice Arbóreo con los tres índices anteriores para cada delegación.

Finalmente, el índice arbóreo de la figura 14, resume el desempeño del arbolado de cada delegación. En esta figura se presenta de mayor a menor IA y según el color se puede ver la aportación que hace al total cada uno de los índices, el máximo IA que se puede alcanzar es 144 puntos (48x3). Por ejemplo, en EG se ve que la aportación de cada índice va disminuyendo en la medida que el índice crece en complejidad. Por su parte FCP y FOS tienen prácticamente el mismo IA, 76 vs 70 respectivamente, pero FOS tiene mayor calificación de IVEC y esto se puede deber al saldo positivo que tiene en cuanto a Secuestro neto de carbono contra el saldo negativo que tiene FCP (cuadro 25).

## 7. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Como se estableció en los objetivos, el inventario tiene como principal uso ser la base para la planeación, a partir del conocimiento de la situación actual del arbolado. Lo anterior implica que los datos aquí presentados se convierten en la línea base o punto de referencia para medir la efectividad de cualquier tipo de programa de mejora del arbolado y punto de partida para la definición de metas. En este sentido con los datos presentados se puede concluir que el arbolado de la ciudad de Querétaro tiene una población pequeña, con un bajo porcentaje de cobertura, con mucha variación entre delegaciones y cuyo tamaño y estado de los árboles, está por debajo del potencial económico para la ciudad y que por estas razones su servicio ambiental es limitado.

Como referencia si analizamos el cuadro 30 que presenta datos de inventarios de arbolados, realizados con i-Tree, en otras ciudades, vemos que arbolados con las características descritas para Querétaro se presentan en otras ciudades (León y Guadalajara). Mientras que, a pesar de que por cuestiones climáticas no es del todo comparable, Mérida y Playa del Carmen al contrario tienen poblaciones más numerosas con valores de cobertura y densidad del arbolado que denotan mejores condiciones. El porcentaje de cobertura arbórea superior al 20% es una cifra que se ve comúnmente en otros inventarios de ciudades en el mundo que incluso llegan hasta 28.6% como en Washington D.C. (De la Concha, H. 2017) o 19.4% en Madrid (Borrajo J.M et al ,2016). Algunas ciudades con valores superiores al 30% han establecido como meta llegar al 50% de cobertura arbórea como respuesta al deseo de incrementar la resiliencia y mejora de los servicios ambientales de las ciudades. Otra referencia que contiene varios comparativos interesantes de cobertura es Hanou, I (2012).

Ciudad	Área (ha)	Parcelas	% Cobertura Arborea	# Arboles	Arboles/ha
Oro., Oro.	18,521	1,102	8.9	791,059	42.7
León, Gto.	20,797	1,115	7.7	760,610	36.6
Mpio. Guadalajara	13,937	344	7.5	585,060	42
Mérida, Yuc.	24,095	592	21	2,318,000	96
Playa del Carmen	5,630	283	20	582,775	104

*Cuadro 30. Comparativo de datos entre arbolados de otras ciudades de México.*

Para mejorar el tamaño del arbolado es importante atender las necesidades identificadas de mantenimiento durante el inventario. El cuadro 31 resume lo encontrado para el 99% de la

población, los árboles no evaluados son algunos árboles muertos y algunos que se evaluaron de lejos por no poder acercarse.

La principal actividad recomendada es la de mejora de sitio que implica, aflojar tierra, posiblemente adicionar algún mejorador de infiltración o de estructura (materia orgánica) o fertilización.

Mantenimiento recomendado	Conteo de árboles	Error estándar	% de árboles
Mejorar Sitio	473,963	(±32,028)	59.90
Control sanitario	110,664	(±23,567)	14.00
Riesgo (Remoción)	82,448	(±10,198)	10.40
Corrección de arquitectura	79,643	(±10,535)	10.10
Sustituir/Rejuvenecer	35,616	(±5,084)	4.50
<b>Total</b>	<b>782,334</b>		<b>98.90</b>

*Cuadro 31. Necesidades de mantenimiento de largo plazo para el arbolado de Qro.*

Tarea prioritaria	Conteo de árboles	Error estándar	% de árboles
Fertilizar	208,900	(±17,117)	26.40
Control fitosanitario	185,665	(±30,326)	23.50
Riego	61,991	(±8,543)	7.80
Reducir pavimento	57,452	(±7,132)	7.30
Monitorear riesgo	57,335	(±12,044)	7.20
Derribo con sustitución	52,362	(±8,156)	6.60
Poda para estructura	32,098	(±6,715)	4.10
Poda para reducción de altura	26,395	(±4,489)	3.30
Poda de aclareo	24,106	(±5,385)	3.00
Podar para sanidad	23,757	(±4,045)	3.00
Derribo sin sustitución	18,276	(±3,502)	2.30
Limpiar basura	12,219	(±3,632)	1.50
Poda para elevación de copa	4,873	(±1,715)	0.60
Trasplantar	5,037	(±1,892)	0.60
Añadir tierra	4,210	(±2,343)	0.50
Incrementar permeabilidad	4,208	(±1,552)	0.50
Adicionar materia orgánica	2,351	(±963)	0.30
Airear suelo	2,365	(±1,105)	0.30
Curar heridas	434	(±433)	0.10

*Cuadro 32. Necesidades de labores urgentes a realizar en el arbolado de Querétaro.*

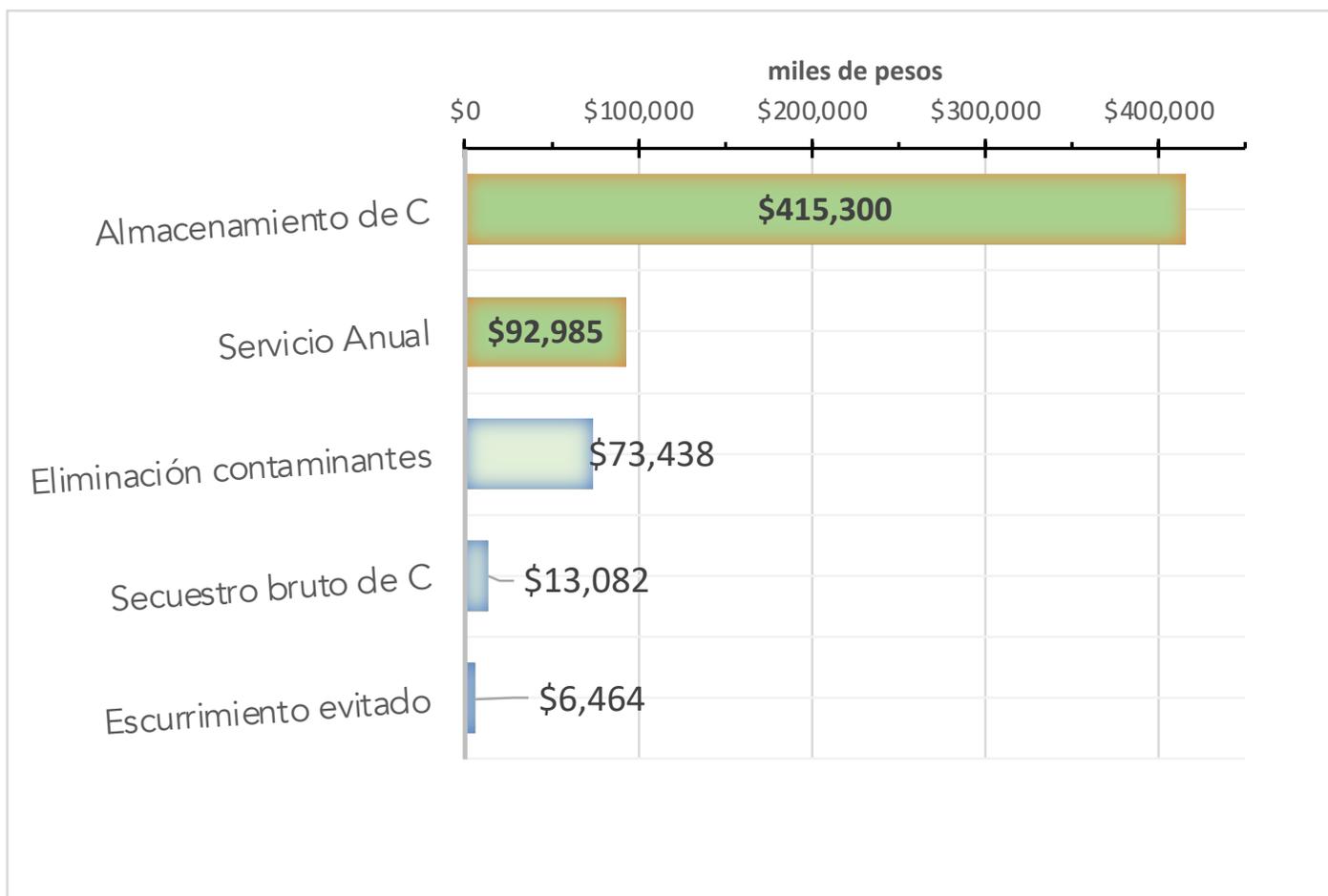
En cuanto a necesidades más urgentes que afectan a los árboles de manera más directa, y que requieren atención más inmediata (cuadro 32), están la fertilización y el control de plagas y enfermedades. Después, viene el apoyo con riegos lo cual se notó sobre todo en el momento del inventario durante mayo, que es plena época de secas donde se pudo ver claramente el efecto de la sequía. Las podas en conjunto suman que un 14% de la población requiere de estos trabajos.

Desplazamiento de la acera	Conteo de árboles	% de árboles	Conflictos con servicios	Conteo de árboles	% de árboles
Sin daño	694,197	87.80	Sin problemas	623,459	78.80
Daño parcial en aceras	48,163	6.10	Servicios en conflicto	63,219	8.00
Daño grave en la acera	9,519	1.20	Hay servicio pero sin peligro	61,451	7.80
<b>Total</b>	<b>751,879</b>	<b>95.10</b>	<b>Total</b>	<b>748,129</b>	<b>94.60</b>

*Cuadro 33. Situación del arbolado con respecto a los servicios y daños a la acera.*

El cuadro 33 muestra la situación de la población de árboles con respecto a los conflictos con banquetas y servicios, principalmente cables eléctricos, aunque conceptualmente abarca todos los servicios (agua, teléfono, etc.). Los porcentajes de daño en aceras suman 7.3% en este caso tiene que ver la mala selección del género *Ficus* para muchas reforestaciones porque es bien sabido su crecimiento agresivo y siendo éste el género más sembrado con toda seguridad tiene una influencia en esta cifra. Por el lado de los servicios hay un 8% de árboles causando problemas y lo más seguro es que sea la misma razón, es decir la siembra indiscriminada de *Ficus*. Esta información tiene su principal utilidad en la elaboración de presupuestos para reparación de banquetas y estimación de podas requeridas para bajar copa y que no interfieran con cables.

Antes de entrar a las recomendaciones es importante ver el panorama general del servicio ambiental y para este efecto revisaremos el valor total, económico, de los 4 principales beneficios ambientales de los árboles. La figura 15 presenta el valor total en miles de pesos de los beneficios ambientales. Tenemos dos grandes grupos, primero el valor de la madera o Carbono acumulado y presente en el arbolado y que asciende a **\$415 Mil millones** de pesos, esta cifra se origina del total de toneladas de carbono actualmente ya fijadas en la madera (112,618) por el costo de la tonelada indicado en el reporte que es de Mex \$3,687.67. Conceptualmente es equivalente a lo que se hubiera pagado a una máquina para retirar esa cantidad de toneladas de carbono de la atmósfera. Este mismo valor se utilizó para el cálculo del valor del servicio ambiental de secuestro de carbono y que para las 3,548 t/año que se fijaron en el año del estudio representa los **\$13 millones** de pesos indicados en la figura 15. Hay que mencionar que el C almacenado es una cantidad acumulada y que irá cambiando con el tiempo pero es un valor dado, mientras que los otros servicios son anuales es decir tanto el secuestro como el escurrimiento evitado y la eliminación de contaminantes son cada año. La suma para 2022 de los servicios anuales fue de **\$93 millones** de pesos.



*Figura 15. Valor del servicio ambiental proporcionado por el arbolado de Querétaro.*

Hay que tener bien claro que el valor de servicio ambiental por carbono almacenado es muy diferente del valor de sustitución del arbolado. El monto de este último es de **\$7,653,789,088.00**, el cálculo de este valor Nowak J.D.(2021) describe claramente como se obtiene, y se basa en los lineamientos del Consejo de valuadores de árboles y paisaje (CTLA, 1992 por sus cifras en inglés) y se basa en el área basal, especie, condición y lugar. A pesar de que los costos se basan en una metodología de los USA, el i-Tree tiene en el apéndice 7 (tabla 18) del documento, mencionado anteriormente, valores basados en especies de USA para el cálculo de valor de reposición.

## Recomendaciones

1. Considerar realizar el **censo total de los parques públicos** de la ciudad para tener un panorama más completo de las áreas bajo la responsabilidad del estado y que por lo tanto es más fácil mejorar su condición de manera inmediata para demostrar las ventajas desde el punto de vista de beneficio-costo a la ciudadanía.
2. Utilizar la información generada para la **promoción y educación de la población** sobre los beneficios del arbolado de manera que exista más participación e interés. Para la planeación se recomienda que sea participativa por las ventajas enumeradas por Murillo et. Al (2011).
3. **Modificar la metodología de reforestación** para elevar el porcentaje de prendimiento junto con un mayor desarrollo de los árboles para que se integren más rápidamente al servicio ambiental, es decir árboles de mayor diámetro que tengan mayores probabilidades de sobrevivencia y al mismo tiempo alcancen la madurez y tamaño necesario para proveer de servicios ambientales. McPhearson, E.G. (2014) encontró en su estudio del programa "One Million Trees LA (MTLA), que donde se plantaron árboles más grandes de lo esperado que esto es cierto. También es necesario que previo a la reforestación y una vez realizados las cepas se geo-referencien para contar con el registro preciso de los árboles que se planten y se pueda hacer una estimación precisa de la sobrevivencia, y además revisar una máxima de arboricultura, señalada muy pertinentemente en las directrices de la FAO para la silvicultura urbana y periurbana (FAO. 2016) de el "*árbol justo en el lugar adecuado*". Así mismo, una vez plantado se recomienda se registre la especie junto con el origen de la planta y datos de tamaño.
4. Implementar una **estricta supervisión de la selección de especies** para los programas de reforestación que aumente la biodiversidad y no concentrarse en pocas especies. Eliminando por completo especies como el Ficus y reduciendo considerablemente a la Jacaranda.
5. Destinar o buscar presupuesto para **mejorar los programas de mantenimiento** y mejora del arbolado por medio de podas, mejoras de sitio y cuando sea posible riego que estimule el desarrollo de árboles pequeños y que reduzca daños en tiempos de secas. Como lo menciona Nowak, D.J. (2000) en su artículo, las especies que crecen más rápido actúan mejor para mitigar el cambio climático ya que pueden secuestrar más C más rápido, y en este sentido los programas de mantenimiento adecuados permiten a los árboles crecer más rápido aun en las condiciones extremas urbanas. El objetivo es tener un arbolado mejor que los ejemplos mostrados en el Anexo 7 donde se muestran las diferentes categorías de condición de copa.
6. Con la herramienta que se integró (Plataforma Taranis) es muy importante implementar un **programa de seguimiento y vigilancia** de las zonas arboladas para estar continuamente mejorándolas.

## Pronóstico

La herramienta de pronóstico (Forecast) de i-Tree provee de información muy interesante, basado en las características específicas del inventario, y de cómo se comportaría la población de árboles a largo plazo de no seguir las recomendaciones indicadas anteriormente. Aunque solamente es posible variar algunos factores, a través de los índices de mortalidad y programas de reforestación se pueden elaborar escenarios tan complejos como se desee.

A continuación, se presenta un escenario base que parte de dos supuestos: primero de una serie de índices de mortalidad para cada condición de arbolado y que va para árboles sanos-enfermos y muriendo de 3,6, y 10% anual respectivamente y la segunda suposición, que no llevará a cabo ninguna acción de replantación ni se va a presentar ningún evento extremo. El alcance del pronóstico será a 8 años para ver que le va a pasar al arbolado al año 2030 y aunque la herramienta genera numerosos reportes aquí se incluyen algunos solo como referencia.

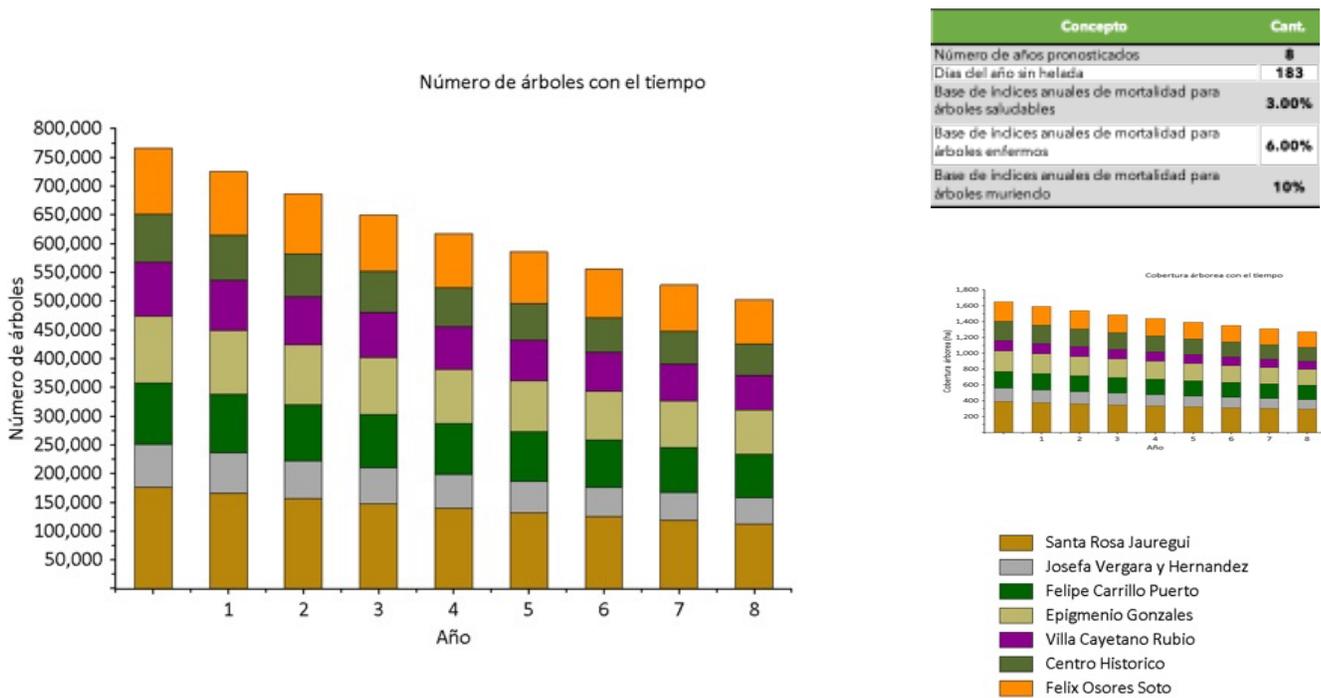


Figura 16. Condiciones y efecto en la población y cobertura de una corrida con PRONOSTICOS.

Al no llevar ninguna acción para incrementar la población vía reforestación los árboles urbanos dependen de una regeneración natural pero dadas las condiciones en ciudades es prácticamente imposible que una semilla caiga en un ambiente propicio y pueda crecer. Incluso el problema es más complicado que eso ya que muchas especies en las ciudades por el estrés y las malas condiciones en que viven prácticamente no producen semilla. Por otro lado, estas mismas condiciones irán poco a poco matando árboles como se ve en la figura 16. La población en 8 años prácticamente llegará a 2/3 partes de lo que está actualmente. De los 791,059

contabilizados. (menos el 3% de muertos señalados en la fig. 9) para 20 se estima quedarían tan solo 502,587 (65%) del total original. En esta misma figura se observa que la cobertura arbórea en hectáreas no disminuye tan drásticamente y esto se debe a que los árboles siguen creciendo e incrementado su follaje a pesar de que la población disminuya. La biomasa de peso seco de los árboles también disminuye (fig. 17) y si bien también aumentan los árboles en rangos de DAP mayores hay que recordar que solamente es para el 65% de la población. Lo que finalmente reduce a un 75% la capacidad de eliminación de contaminantes (fig. 18).

## Peso seco y DAP a lo largo de 8 años

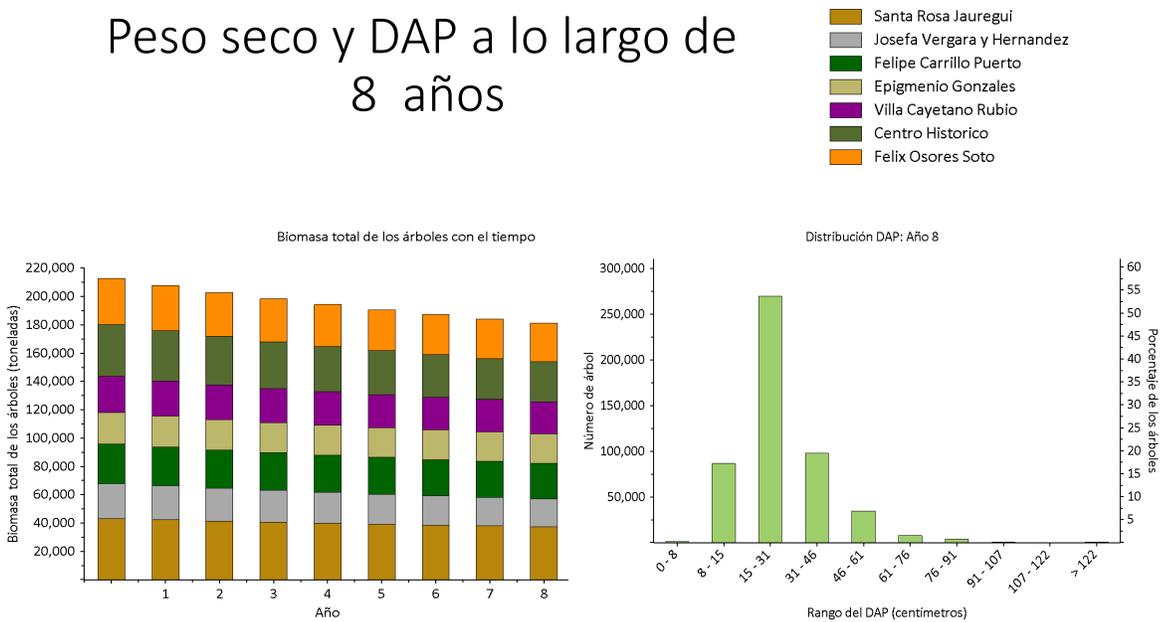


Figura 17. Respuesta de la población en el escenario base.

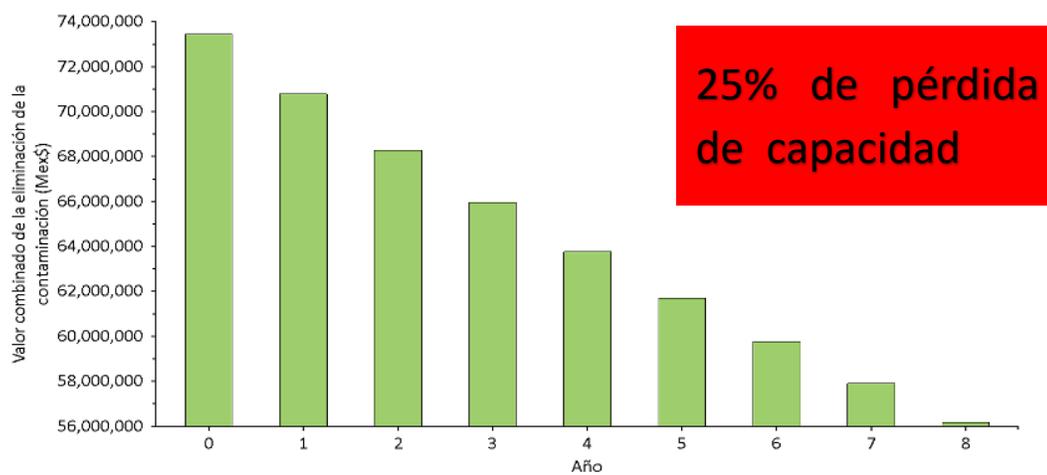


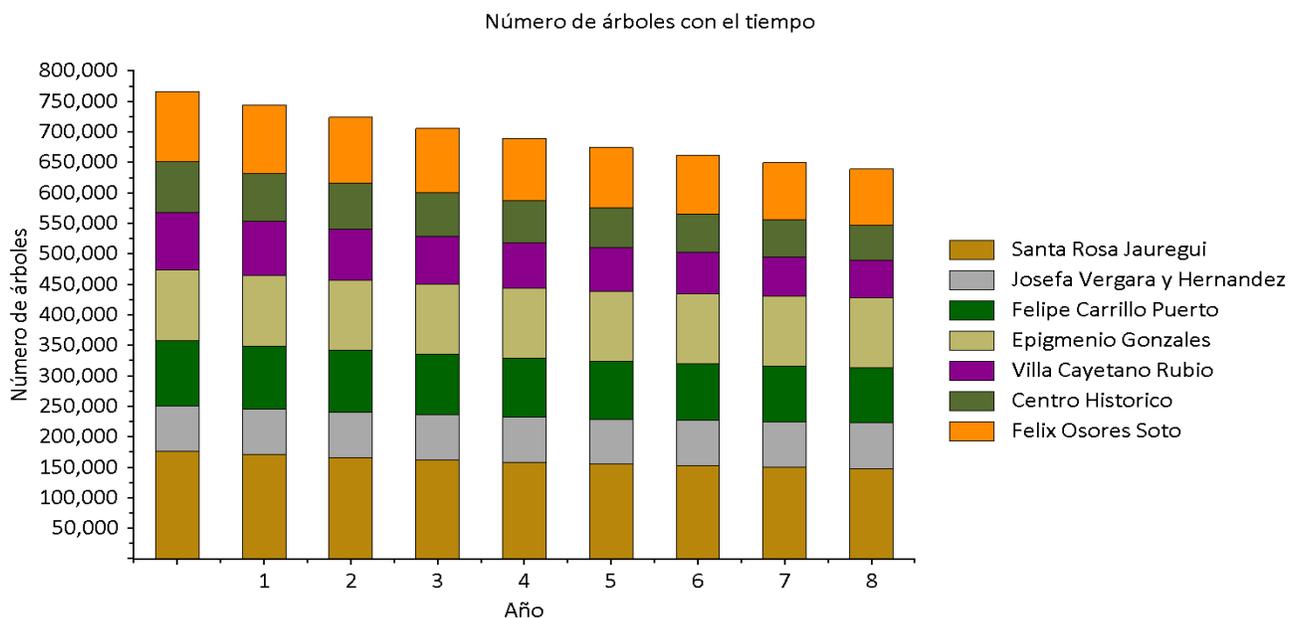
Figura 18. Valor monetario del servicio ambiental de remoción de contaminantes.

Delegación (000 ha)	Índice Arbóreo	Tamaño Arbol	
		2"	3"
VCR (1.2)	<b>130</b>		
CH (1.9)	<b>118</b>		500
FCP (2.9)	<b>88</b>	1,000	1,000
FOS (2.9)	<b>78</b>	1,000	1,000
JVH (1.9)	<b>68</b>	2,000	2,000
SRJ (4.3)	<b>48</b>	2,500	2,500
EG (3.2)	<b>28</b>	2,500	3,000
		9,000	9,500

*Cuadro 34. Programa de reforestación usado en el escenario ejemplo.*

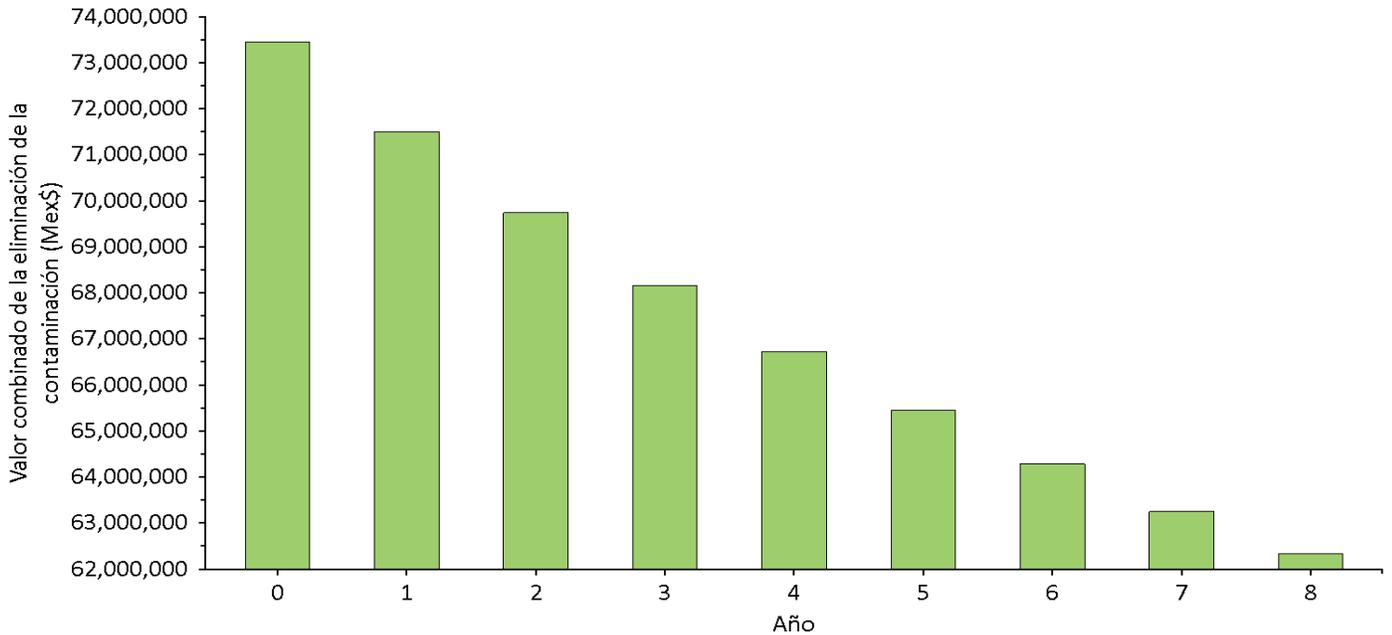
Para entender la utilidad de la herramienta de pronóstico, después de un taller de trabajo donde se presentó esta, se decidió hacer una corrida con los mismos datos de la corrida base únicamente añadiendo un programa de reforestación. El programa de reforestación que se añadió es el presentado en el cuadro 34 y que consiste en un total de 18,500 árboles de dos tamaños de diámetro y en cantidades plantadas en las delegaciones de acuerdo al índice arbóreo obtenido. Es decir, las delegaciones con peor arbolado se les asignó una mayor cantidad de árboles que a las que tienen un mejor arbolado y se

asignaron árboles de mayor tamaño en el CH ya que ahí los pequeños tienen muy pocas probabilidades de sobrevivir. Después de ingresar el programa de reforestación y ejecutar el programa de forecast la figura 19 nos indica los cambios en la población por estrato. Hay que recordar que se mantuvieron las tasas de mortalidad base establecidas y en este caso podemos ver que los 18,500 árboles plantados no alcanzan a compensar la mortalidad en la población y que esta disminuye al cabo de los 8 años en un 17% o 127,000 árboles a razón de 16,000 por año.



*Figura 19. Cambio de población en el escenario de ejemplo.*

Esta disminución es menor que el escenario base gracias a la reforestación que se hace y el efecto si bien no alcanza a sustituir a los árboles muertos si logra atenuarlo ya que el escenario base mostró una disminución en la población de 35% lo que significan 264,000 árboles a razón de 33,000 al año. Lo anterior se ve reflejado en tan solo una reducción del 15% en la capacidad general de eliminación de contaminantes como se aprecia en la figura 20.



*Figura 20. Cambio en la capacidad de eliminar contaminantes en el escenario ejemplo.*

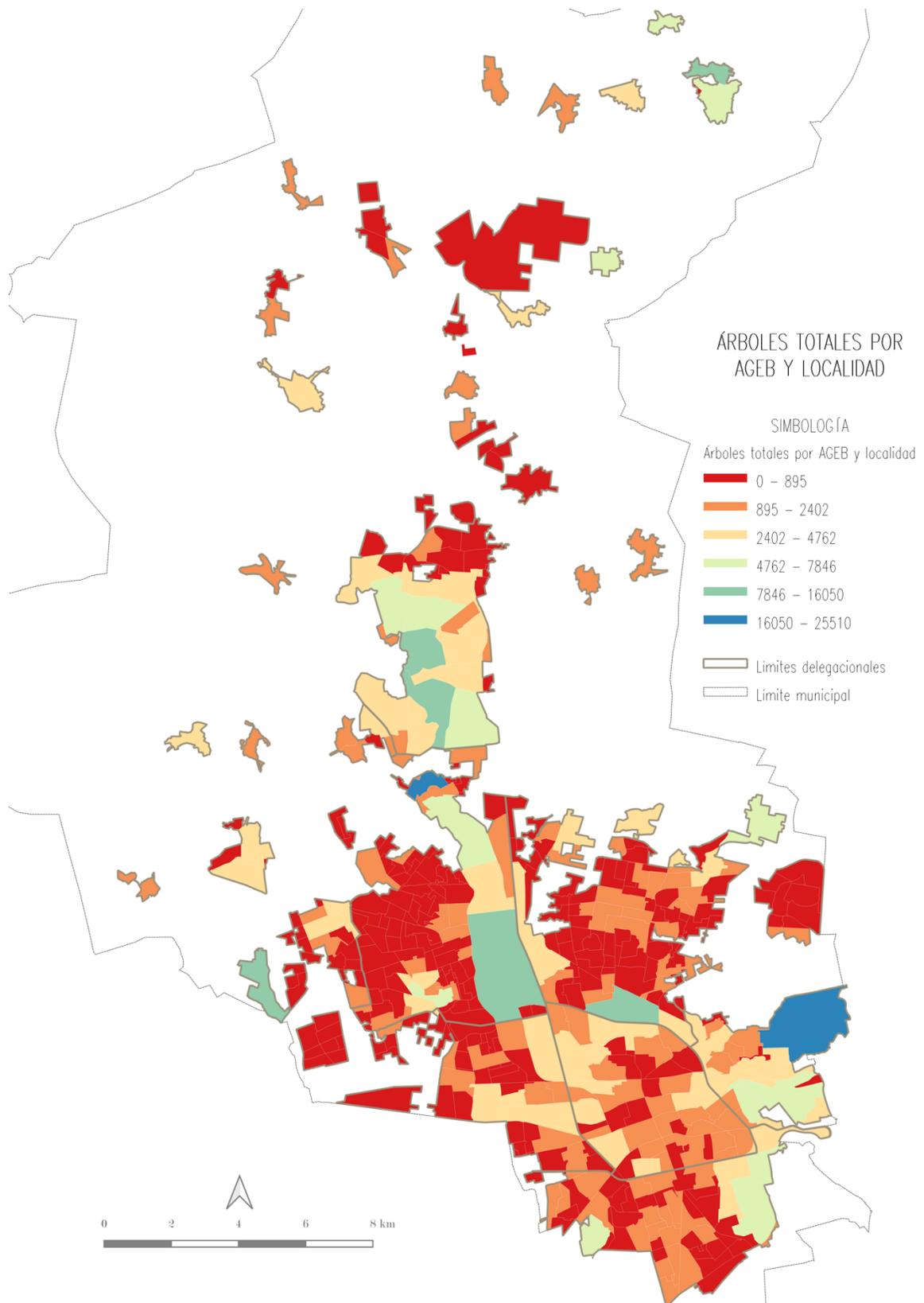
El escenario con el programa de reforestación se puede acompañar con más efectos tanto negativos o positivos. Los efectos positivos se pueden agregar disminuyendo la mortalidad y esto puede darse con programas de mantenimiento y cuidado del arbolado. Los negativos con plagas, enfermedades y eventos climáticos catastróficos. Todos estos elementos se pueden ir agregando uno por uno y con un parámetro como la valuación combinada de la eliminación de la contaminación, se puede ir viendo el efecto sobre el árbolado. Se sugiere que una vez determinado el programa deseado se realice un presupuesto de su costo para ver la factibilidad real de poder implementarlo. Para esto existen numerosos artículos y herramientas que guían en su elaboración como el Tree Costing tool de Hort Innovation (2020) y las guías de McPherson (2007) y Vargas et. al. (2008).

## **Distribución de la población por AGEB**

Gracias a las características de la información que genera y de la manera de operar del i-Tree es posible generar mapas con estadísticas de la población para visualizar los resultados claramente. Para este propósito se utilizaron las áreas geoestadísticas básicas (AGEB) elaboradas por INEGI y con ellas como patrón base se extrapoló la cantidad de árboles encontrados en las parcelas y se asignó la población por área. No se pudo utilizar el mapa de colonias de la ciudad porque geográficamente tenía algunos problemas y no fue posible la extrapolación de resultados.

La figura 21 es el resultado de este trabajo y sirve para demostrar la aplicación de la información generada por el software en conjunción con un Sistema de información geográfica, en este caso el programa Qgis. Este mapa indica con colores la población probable por rango para cada área indicando con azul las áreas más pobladas, luego verde-amarilla las medianamente pobladas, para terminar con rojo las de más pobre población. Es importante mencionar que en este caso el tamaño de las AGEB si tienen influencia en el color o rango que adquieren, así que considerando este dato hay que tener cuidado en comparaciones. El mapa utilizó los límites delegacionales de los polígonos efectivamente levantados. Por ejemplo, toda el área donde no nos permitieron entrar en la delegación VCR correspondiente a la zona del Campanario no se incluyó porque no se tenían datos para extrapolar. A pesar de esto, la zona más poblada se ubicó en esta delegación. Las zonas alrededor de la carretera 57 y el boulevard B. Quintana tiene áreas medianamente pobladas mientras que hacia adentro de las delegaciones se observan las áreas más rojas con menor población. Este mapa puede ser una muy buena guía en programas de reforestación con fines de justicia ambiental, asignando más árboles a plantarse en estas áreas que en las de mayor población de árboles.

En el anexo 08 se incluyen dos mapas más, uno para árboles vivos, que utiliza tonos de verde para indicar la población, y otro para árboles muertos que utiliza tonos de rojo para señalar la cantidad por área, siendo los color oscuro donde hay más y los claros donde hay menos. En el caso del mapa de los árboles muertos, es muy útil para diseñar programas de trabajo de retiro y sustitución de arbolado por área de tal manera que la ciudad reduzca los riesgos de árboles muertos y mejore su imagen.



*Figura 21. Cantidad o población de árboles por AGEB.*

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E. 1972. **Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves.** Canadian Journal of Botany. 50: 1435-1439.
3. Borrajo Millan J.M et al 2016. **Valor del Bosque Urbano de Madrid.** t.ly/0jyg
4. Chaparro, L. Y J. Terradas. 2009. **Ecological services of urban Forest in Barcelona.** CREA. Universitat Autònoma de Barcelona. t.ly/blwZ
5. De la Concha D., H. 2017. **Inventario del Arbolado Urbano de la Cd. de Mérida.** t.ly/Tn-s
6. De la Concha D., H y Roche L. 2018. **Estudio diagnóstico del arbolado urbano en parques públicos de Mérida.** t.ly/m-pP
7. De la Concha D., H. y Sube J.L. 2018. **Cuantificación, diagnóstico, y valorización del arbolado urbano del municipio de Guadalajara.** Dirección de Medio Ambiente del Municipio
8. FAO. 2016. **Directrices para la silvicultura urbana y periurbana,** por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Estudio FAO: Montes No 178, Roma, FAO.
9. Hort Innovation, 2020. **Tree Costing Tool.** [www.horticulture.com.au](http://www.horticulture.com.au) ISBN 978 0 7341 4630 4. t.ly/-ysr
10. Hanou, I. 2012. **Assesing Cleveland Metroparks Tree Cover.** AMEC Earth & Enviromental for Cleveland Metroparks
11. McPherson, E.G. 2014. **Monitoring million trees LA: Tree performance During the early years and future benefits.** Arboriculture & Urban Forestry 40(5): 286-301.
12. 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.
13. Murillo, F.N. et. Al. 2011. **Planear el barrio: urbanismo participativo para construir el derecho a la ciudad.** Ediciones Cuentahilos, Paraguay.
14. 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.
15. Nowak, D.J.; 2021. **Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods.** Department of Agriculture, Forest Service,; NRS-200-2021. t.ly/GQls
16. 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
17. 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
18. Santamour, F.S. Jr. 1990. **Trees for Urban planting: diversity uniformity and common sense.** Proceedings of the 7th Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance.
19. 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.

## Índice de Anexos

ANEXO 1./ CARPETA 1 Y 2. COORDENADAS DE LAS 1,190 PARCELAS POR DELEGACIÓN Y REPORTE DEL CROQUIS Y ARBOLES EN LAS PARCELAS.

ANEXO 2./ CARPETA 1. PLANO DE UBICACIÓN DE LAS PARCELAS.

ANEXO 3./ CARPETA 3. REPORTE DE METADATOS DEL PROYECTO DE INVENTARIO EJECUTADO Y REPORTES DE I-TREE.

ANEXO 4. LISTADO DE ESPECIES ENCONTRADAS.

ANEXO 5. CÁLCULO DEL IVA, IVEc e IE.

ANEXO 6./ CARPETA 3 LISTADO DE ESPECIES POR DELEGACIÓN

ANEXO 7. IMÁGENES DE CATEGORÍAS DE CONDICIÓN DE COPAS DE ÁRBOLES GRANDES.

ANEXO 8. MAPAS CON INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE ÁRBOLES VIVOS Y MUERTOS.

Especie	Nombre común	Árboles	Origen C	Especie.	Nombre común.	Árboles.	Origen.
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Coco Plumoso	32,232	i	<i>Citrus limon</i>	Limón amarillo	5,294	I
<i>Washingtonia robusta</i>	Washingtonia	18,044	n	<i>Callistemon citrinus</i>	Escobillon rojo	5,270	I
<i>Phoenix canariensis</i>	Palma canaria	1,979	i	<i>Citrus aurantium</i>	Naranja agria	4,763	I
<i>Washingtonia filifera</i>	Washingtonia de calif.	1,728	i	<i>Pinus halepensis</i>	Pino de alepo	4,719	I
<i>Phoenix roebelenii</i>	Robelina Palma	1,704	i	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	4,038	I
<i>Yucca filifera</i>	Yuca del desierto	1,301	n	<i>Bougainvillea glabra</i>	Bougainvillea	3,801	I
<i>Musa x paradisiaca</i>	Plátano	1,245	i	<i>Quercus virginiana</i>	Encino siempre verde	3,791	N
<i>Roystonea regia</i>	Palma Real	864	i	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cipres de Mty	3,771	I
<i>Pandanus utilis</i>	Pandano	863	i	<i>Grevillea robusta</i>	Grevillea	3,654	I
<i>Phoenix reclinata</i>	Palmera de senegal	811	i	<i>Ficus variegata</i>	Ficus	3,591	I
<i>Beaucarnea recurvata</i>	Pata de elefante	676	n	<i>Araucaria heterophylla</i>	Araucarea	2,720	I
<i>Phoenix dactylifera</i>	Palma Datilera	432	i	<b><i>Buddleja cordata</i></b>	Tepozán Blanco	2,592	N
<i>Dyopsis lutescens</i>	Palma areca	338	i	<i>Pachycereus marginatus</i>	Cactus organo	2,432	N
<i>Ficus benjamina</i>	Ficus	115,811	I	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Nopal higuera	2,162	N
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	45,339	I	<i>Populus alba</i>	Alamo Blanco	2,160	I
<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	44,746	N	<b><i>Eysenhardtia polystachya</i></b>	Varaduz	2,135	N
<i>Ficus retusa ssp. nitida</i>	Laurel de la India	32,809	I	<i>Quercus palustris</i>	Roble palustre	2,109	I
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno Blanco	31,295	N	<i>Acacia melanoxylon</i>	Acacia Negra	2,108	I
<i>Cupressus sempervirens</i>	Ciprés	29,081	I	<i>Platanus mexicana</i>	Álamo Blanco	2,044	N
<i>Lysiloma divaricatum</i>	Palo blanco	25,973	N	<i>Schefflera arboricola</i>	Cheflera	1,831	I
<b><i>Bursera fagaroides</i></b>	Palo Xixote	22,789	N	<i>Senecio salicifolius</i>	Jara	1,701	N
<i>Salix bonplandiana</i>	Ahuejote	20,698	N	<i>Plumeria rubra</i>	Cacaloxúchitl	1,647	N
<i>Ipomoea murucoides</i>	Cazahuate Blanco	20,427	N	<i>Euphorbia cotinifolia</i>	Sangre de Libano	1,606	I
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Garambullo	19,869	N	<i>Nicotiana glauca</i>	Buena moza	1,606	I
<b><i>Acacia farnesiana</i></b>	Huizache Yóndiro	18,205	N	<i>Morus alba</i>	Mora	1,582	I
<i>Schinus molle</i>	Pirul	16,334	I	<i>Ulmus americana</i>	Olmo	1,362	I
<i>Delonix regia</i>	Flamboyán	14,846	I	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto Azul	1,298	I
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto Rojo	11,941	I	<i>Albizia lebeck</i>	Algarrobo blanco	1,271	I
<i>Ligustrum lucidum</i>	Aligustre	9,722	I	<i>Casimiroa edulis</i>	Zapote blanco	1,269	N
<i>Albizia occidentalis</i>	Palo de Escopeta	9,504	N	<i>Thevetia peruviana</i>	Frayle	1,268	I
<i>Acacia schaffneri</i>	Huizache Chino	9,135	N	<i>Punica granatum</i>	Granada	1,219	I
<i>Schinus terebinthifolia</i>	Pirul brasileño	8,292	I	<i>Citrus aurantifolia</i>	Limón persa	1,088	I
<i>Lysiloma microphylla</i>	Tepehuaje	8,076	N	<i>Ligustrum japonicum</i>	Trueno	1,081	I
<i>Cupressus lusitanica</i>	Cedro blanco	8,036	I	<i>Magnolia grandiflora</i>	Magnolia	867	I
<i>Melia azedarach</i>	Paraíso	7,829	I	<i>Myoporum laetum</i>	Mióporo	867	I
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Tullidor	6,374	N	<i>Cycas revoluta</i>	Palma Cyca	864	i
<b><i>Bursera palmeri</i></b>	Palo Cuchara	6,325	N	<i>Nerium oleander</i>	Rosa laurel	864	I
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	6,210	N	<i>Prunus domestica</i>	Ciruelo	864	I
<i>Thuja occidentalis</i>	Thuya Tuja	6,158	I	<i>Spathodea campanulata</i>	Tulipán africano	864	I
<i>Persea americana</i>	Aguacate	6,148	N	<i>Carica papaya</i>	Papaya	839	N
<i>Bauhinia variegata</i>	Pata de Vaca	5,746	I	<i>Senna polyantha</i>	Palo fierro	837	N
<i>Eriobotrya japonica</i>	Nispero de Japon	5,539	I	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	813	N
<i>Prunus persica</i>	Durazno	5,459	I	<i>Duranta erecta</i>	Corona de novia	813	N

Especie	Nombre común	Árboles	Origen
<i>Ficus macrophylla</i>	Higuera estranguladora	743	I
<i>Eucalyptus cinerea</i>	Eucalipto dólar	681	I
<i>Pinus oocarpa</i>	Pino amarillo	681	N
<i>Acacia retinodes</i>	Acacia Plateada	676	I
<i>Citrus x limon</i>	Limón mandarina	434	I
<i>Citrus x paradisi</i>	Toronja	434	I
<i>Cojoba arborea</i>	Frijolillo	434	N
<i>Quercus acutifolia</i>	Encino blanco	434	N
<b><i>Dodonaea viscosa</i></b>	Ocotillo	432	N
<i>Ehretia tinifolia</i>	Mandinmbo, Roble	432	N
<b><i>Erythrina coralloides</i></b>	Patol	432	N
<i>Euphorbia tirucalli</i>	Árbol Africano de Goma	432	I
<i>Juglans nigra</i>	Nogal	432	N
<i>Pinus greggii</i>	Pino Prieto	432	N
<i>Prunus cerasifera</i>	Cerezo	432	I
<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	432	I
<i>Salix babylonica</i>	Sauce lloron	432	I
<i>Simarouba amara</i>	Falso pistache	432	N
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	432	N
<i>Ulmus minor ssp. angustifolia</i>	Olmo	432	I
<i>Cascabela thevetioides</i>	Codo de fraile	431	N
<i>Senna didymobotrya</i>	Abejon	431	I
<i>Juglans regia</i>	Nogal	407	I
<i>Morus nigra</i>	Mora Negra	407	I
<i>Carya illinoensis</i>	Nogal pecanero	405	N
<b><i>Cylindropuntia imbricata</i></b>	Cardón	405	N
<i>Ficus carica</i>	Higo	405	I
<i>Moringa oleifera</i>	Moringa	405	I
<i>Pinus cembroides</i>	Pino Piñonero	405	N
<i>Pithecellobium dulce</i>	Guamúchil	405	N
<i>Tamarindus indica</i>	Tamarindo	405	I
<i>Ficus elastica</i>	Hule	338	I
<i>Platanus occidentalis</i>	Sicomoro americano	338	I

I= introducida Dicotiledonea

N= Nativa Dicotiledonea

Nativa de la zona

i= introducida Monocotiledonea

n= Nativa Monocotiledonea

***Cylindropuntia imbricata***

ANEXO 05 CALCULO DEL IVA, IVEC Y IE

INIDICE VITAL. ARBOREO		Datos brutos			
Delegación	Área	Área foliar (ha)	Biomasa foliar (t)	Peso Seco (t)	Condición Promedio
SRJ (4.3)	4,296	755	882	47,021	46
EG (3.2)	3,201	443	500	24,790	47
FOS (2.9)	2,986	722	728	33,639	47
FCP (2.9)	2,928	581	643	29,725	60
CH (1.9)	1,964	720	656	37,874	47
VCR (1.2)	1,201	434	450	26,783	54
JVH (1.9)	1,946	322	323	25,404	44
PROM		568.33	597.43	32176.69	49.05
MIN		322.49	323.23	24,790.12	43.65
MAX		755.48	881.55	47,021.23	59.85
DESEST		171.37	187.05	8,067.35	5.65
MEDIANA		580.77	642.92	29,724.90	46.93

Por Hectárea de cada distrito					
SRJ (4.3)		0.18	0.21	10.95	46
EG (3.2)		0.14	0.16	7.74	47
FOS (2.9)		0.24	0.244	11.27	47
FCP (2.9)		0.20	0.22	10.15	60
CH (1.9)		0.37	0.33	19.28	47
VCR (1.2)		0.36	0.37	22.30	54
JVH (1.9)		0.166	0.17	13.05	44
PROM		0.24	0.24	13.54	49
MIN		0.14	0.16	7.74	44
MAX		0.37	0.37	22.30	60
DESEST		0.09	0.08	5.27	6
MEDIANA		0.20	0.22	11.27	47
Calificaciones					
2		0.15	0.17	8.68	43.65
4		0.19	0.21	11.11	46.35
6		0.23	0.24	13.54	49.05
8		0.27	0.28	15.96	51.75
10		0.31	0.32	18.39	54.45
12		0.34	0.35	20.81	57.15

Asignación de Calificación						
	Área foliar (ha)	Biomasa foliar (t/ha)	Peso Seco (t)	Condición Promedio	Valor	%
SRJ (4.3)	4	4	4	4	16	33%
EG (3.2)	2	2	2	6	12	25%
FOS (2.9)	8	8	6	6	28	58%
FCP (2.9)	6	6	4	12	28	58%
CH (1.9)	12	10	10	6	38	79%
VCR (1.2)	12	12	12	10	46	96%
JVH (1.9)	4	2	6	4	16	33%

INDICE VITAL ECOSISTEMICO		Datos brutos								INDICE ECONOMICO		Datos brutos					
Delegación	Area	Almacenamiento C (t)	Secuestro Carbono (t/año)	Escurrimiento evitado (m³/año)	Eliminación cont. (t/año)			Area	Almacenamiento de carbono	Secuestro bruto de carbono	Escurrimiento evitado	n de la contaminación					
SRJ	4,296	23,511	761	27,334	15.43			4,296	86,699,394	2,806,952	1,227,537	13,945,901					
EG	3,201	12,395	508	16,016	9.04			3,201	45,708,885	1,873,946	719,267	8,171,510					
FOS	2,986	16,819	513	26,137	14.75			2,986	62,024,371	1,891,072	1,173,776	13,335,133					
FCP	2,928	14,862	525	21,012	11.86			2,928	54,807,816	1,934,979	943,652	10,720,719					
CH	1,964	18,937	426	26,059	14.71			1,964	49,384,192	1,769,890	705,613	8,016,384					
JVH	1,946	12,702	335	11,668	6.58			1,946	69,834,190	1,570,948	1,170,291	13,295,536					
VCR	1,201	13,392	480	15,712	8.87			1,201	46,840,694	1,234,485	523,997	5,953,064					
<b>Por Hectárea de cada distrito</b>																	
	SRJ	5.47	177.20	6.36	3.59			SRJ	20	0.65	0.29	3					
	EG	3.87	158.76	5.00	2.82			EG	14	0.59	0.22	3					
	FOS	5.63	171.76	8.75	4.94			FOS	21	0.63	0.39	4					
	FCP	5.08	179.23	7.18	4.05			FCP	19	0.66	0.32	4					
	CH	9.64	216.90	13.27	7.49			VCR	25	0.90	0.36	4					
	JVH	6.53	171.98	5.99	3.38			CH	36	0.81	0.60	7					
	VCR	11.150	399.60	13.08	7.39			JVH	39	1.03	0.44	5					
	PROM	6.77	210.78	8.52	4.8			PROM	24.85	0.75	0.37	4.3					
	MIN	3.87	158.76	5.00	2.8			MIN	14.28	0.59	0.22	2.6					
	MAX	11.15	399.60	13.27	7.5			MAX	39.00	1.03	0.60	6.8					
	DESEST	2.64	85.19	3.38	1.9			DESEST	9.22	0.16	0.12	1.4					
	MEDIANA	5.63	177.20	7.18	4.1			MEDIANA	20.77	0.66	0.36	4.1					
<b>Calificaciones</b>																	
	2	4.3	130.5	5.8	3.3			2	16.6	0.6	0.2	2.8					
	4	5.6	170.6	7.1	4.0			4	20.7	0.7	0.3	3.5					
	6	6.8	210.8	8.5	4.81			6	24.9	0.8	0.4	4.26					
	8	8.0	250.9	9.9	5.6			8	29.0	0.8	0.4	5.0					
	10	9.2	291.1	11.3	6.4			10	33.1	0.9	0.5	5.7					
	12	10.4	331.2	12.7	7.1			12	37.2	1.0	0.6	6.4					
		<b>A C</b>	<b>S C</b>	<b>Es Ev</b>	<b>CONT</b>	<b>SUMA</b>	<b>%</b>		<b>A C</b>	<b>S C</b>	<b>Es Ev</b>	<b>CONT</b>					
	SRJ	4	6	4	4	18	38%		4	4	4	4	16	33%			
	EG	2	4	2	2	10	21%		2	2	2	2	8	17%			
	FOS	6	6	8	8	28	58%		6	4	8	8	26	54%			
	FCP	4	6	6	6	22	46%		4	4	6	6	20	42%			
	CH	10	8	12	12	42	88%		8	10	6	6	30	63%			
	JVH	6	6	4	4	20	42%		10	8	12	12	42	88%			
	VCR	12	12	12	12	48	100%		12	12	8	8	40	83%			

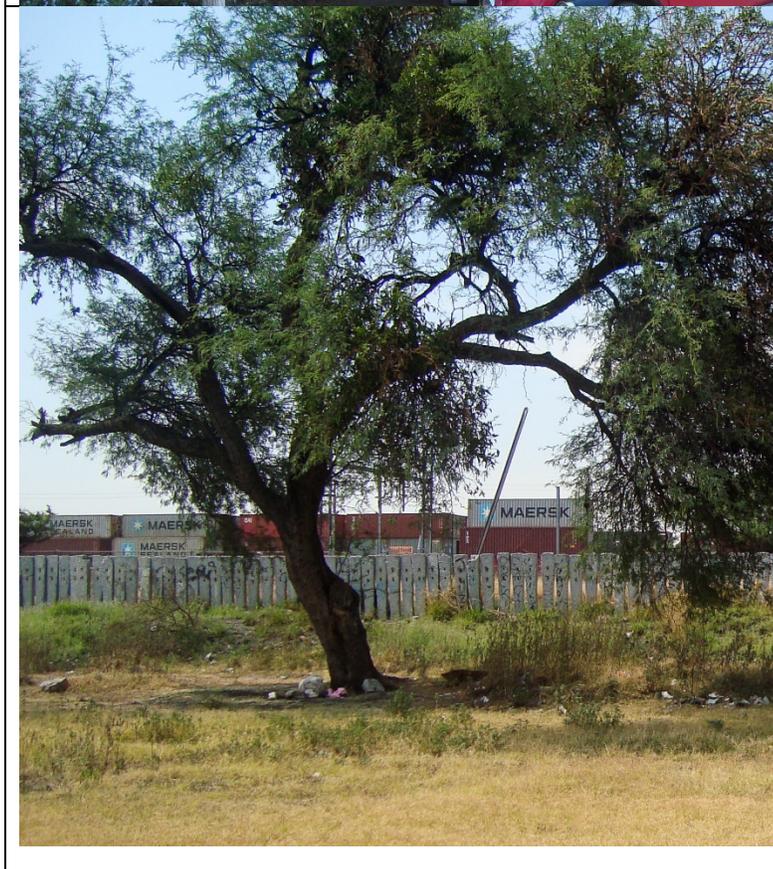
Anexo 7 Ejemplos de condición de árboles en especímenes de los individuos mas grandes encontrados.

Especímen	Datos levantados y ubicación del espécimen		
	IDParcela	1189	
	ID Árbol	1	
	Nombre de la especie	Myrtillocactus geometrizans	
	DAP (cm)	39.70	
	Altura (m)	2.30	
	Altura copa (m)	2.00	
	Ancho copa (m)	3.20	
	Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	8.00	
	Condición de los árboles	Excelente	
	Área foliar (m <sup>2</sup> )	22.40	
	Biomasa foliar (kg)	3.60	
	Índice del área foliar	2.80	
	Área basal (m <sup>2</sup> )	0.10	
Árboles de la calle	NO		
Originario del estado	NO		
Arbol privado	Sí		
	IDParcela	814	
	ID Árbol	2	
	Nombre de la especie	Schinus molle	
	DAP (cm)	117.00	
	Altura (m)	19.60	
	Altura copa (m)	15.40	
	Ancho copa (m)	16.20	
	Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	206.10	
	Condición de los árboles	Bien	
	Área foliar (m <sup>2</sup> )	1201.00	
	Biomasa foliar (kg)	117.20	
	Índice del área foliar	5.80	
	Área basal (m <sup>2</sup> )	1.10	
Árboles de la calle	NO		
Originario del estado	NO		
Arbol privado	Sí		
	IDParcela	239	
	ID Árbol	2	
	Nombre de la especie	Eucalyptus camaldulensis	
	DAP (cm)	70.00	
	Altura (m)	25.00	
	Altura copa (m)	20.10	
	Ancho copa (m)	13.60	
	Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	145.30	
	Condición de los árboles	Regular	
	Área foliar (m <sup>2</sup> )	1360.70	
	Biomasa foliar (kg)	188.40	
	Índice del área foliar	9.40	
	Área basal (m <sup>2</sup> )	0.40	
Árboles de la calle	NO		
Originario del estado	NO		
Arbol privado	Sí		

Anexo 7 Ejemplos de condición de árboles en especímenes de los individuos mas grandes encontrados.



IDParcela	401
ID Árbol	10
Nombre de la especie	Eucalyptus camaldulensis
DAP (cm)	66.00
Altura (m)	22.20
Altura copa (m)	17.20
Ancho copa (m)	8.90
Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	62.90
Condición de los árboles	Pobre
Área foliar (m <sup>2</sup> )	680.20
Biomasa foliar (kg)	94.20
Índice del área foliar	10.80
Área basal (m <sup>2</sup> )	0.30
Árboles de la calle	si
Originario del estado	NO
Arbol privado	No



IDParcela	952
ID Árbol	1
Nombre de la especie	Prosopis laevigata
DAP (cm)	90.00
Altura (m)	11.10
Altura copa (m)	9.20
Ancho copa (m)	13.40
Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	141.00
Condición de los árboles	Crítico
Área foliar (m <sup>2</sup> )	181.50
Biomasa foliar (kg)	15.40
Índice del área foliar	1.30
Área basal (m <sup>2</sup> )	0.60
Árboles de la calle	NO
Originario del estado	NO
Arbol privado	Sí

Anexo 7 Ejemplos de condición de árboles en especímenes de los individuos mas grandes encontrados.

	IDParcela	865
	ID Árbol	8
	Nombre de la especie	Eucalyptus camaldulensis
	DAP (cm)	84.00
	Altura (m)	30.00
	Altura copa (m)	24.00
	Ancho copa (m)	12.80
	Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	127.70
	Condición de los árboles	Muriendo
	Área foliar (m <sup>2</sup> )	153.80
	Biomasa foliar (kg)	21.30
	Índice del área foliar	1.20
	Área basal (m <sup>2</sup> )	0.60
	Árboles de la calle	NO
Originario del estado	NO	
Arbol privado	No	
	IDParcela	9
	ID Árbol	2
	Nombre de la especie	Melia azedarach
	DAP (cm)	34.00
	Altura (m)	10.00
	Altura copa (m)	0.00
	Ancho copa (m)	0.00
	Cubierta del dosel (m <sup>2</sup> )	0.00
	Condición de los árboles	Muerto
	Área foliar (m <sup>2</sup> )	0.00
	Biomasa foliar (kg)	0.00
	Índice del área foliar	0.00
	Área basal (m <sup>2</sup> )	0.10
	Árboles de la calle	NO
Originario del estado	NO	
Arbol privado	Sí	

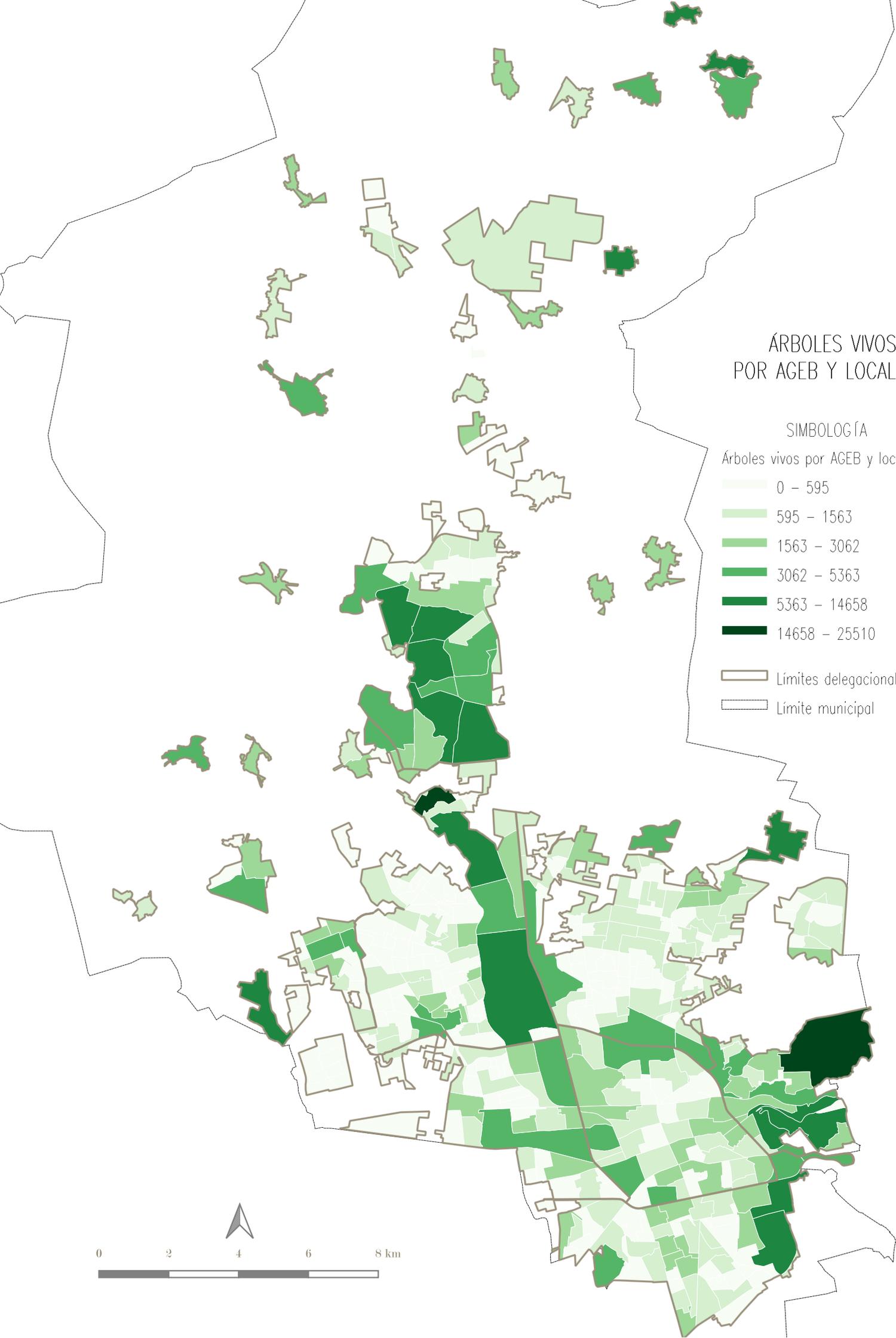
# ÁRBOLES VIVOS POR AGEB Y LOCALIDAD

## SIMBOLOGÍA

Árboles vivos por AGEB y localidad

- 0 – 595
- 595 – 1563
- 1563 – 3062
- 3062 – 5363
- 5363 – 14658
- 14658 – 25510

- Límites delegacionales
- Límite municipal



# ÁRBOLES MUERTOS POR AGEB Y LOCALIDAD

## SIMBOLOGÍA

Árboles muertos por AGEB y localidad

- 0 - 40
- 40 - 137
- 137 - 280
- 280 - 627
- 627 - 1392
- 1392 - 5954

- Límites delegacionales
- Límite municipal

