

**Mayo 2017**



**Resultados del inventario  
urbano de Playa del Carmen,  
Q. Roo realizado de  
noviembre 2016 a abril 2017**



## Resumen

La Ciudad de Playa del Carmen está considerada dentro de las ciudades de mas rapido crecimiento en México, las inversiones en el sector turismo han detonado el crecimiento, de manera muy acelerada, de la mancha urbana. Es del interés del municipio actual, 20016-2018, cuidar el arbolado existente y mejorar donde sea posible en base a un plan maestro y por tal motivo se realizó el presente inventario urbano para contar con la línea base de información necesaria para la planeación. Además del inventario se estan llevando a cabo actividades<sup>1</sup> de suma importancia para conservar la ciudad de Playa del Carmen ambientalmente sostenible, se han iniciado reforestaciones con arboles grandes en planchas de asfalto de estacionamientos, programas de reforestacion intensivos, control de “pino de mar” o casuarina entre muchas otras. El presente inventario arrojo una población de **582,775** árboles que proveen de una cobertura arborea del **20.2%** del área y como principales especies el Tzalam, Chaka y diversas especies de Ficus. La mayoría de estos árboles tienen diámetros menores a **15 cm (53%)** y sin embargo logran almacenar **50,260 t** de C en la madera y fijar anualmente C por **5,011 t/año**, conjuntamente con una producción de oxigeno de **12,600 t/año**. A su vez esta población logra aumentar la infiltración en **208,200 m<sup>3</sup>/año**, y alcanza una remocion de distintos contaminantes por **54.58 t/año<sup>2</sup>**.

## Autores

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

Ing. Rafael Reynoso, Director de PlantaMex SA de CV, responsable local de identificación de especies, supervision de cuadrillas de toma de datos y supervision de la calidad de la información.

## Reconocimientos

Se agradece el trabajo de Braulio Lopez, Uber Peñate Lopez, Wuendy Casanova, Magaly Palma entre otros que trabajaron en la toma de datos de campo.

Asi mismo se agradece al cuarto regidor del municipio de Solidaridad Gustavo Maldonado, por su apoyo y financiamiento para la realización del proyecto.

## Sito para descarga del documento

<http://www.agrinet.mx/images/agrinet/archivos/InventarioPlayaDelCarmen.pdf>

*Este reporte está adaptado del reporte standard de la herramienta i-Tree Eco V6.1.18 que se elabora después de enviar la información dasométrica para su proceso al servidor de i-Tree en Ohio. Esta herramienta fue desarrollada por el USDA FS-Northern Research Stations (NRS), USDA Estatal y empresas forestales y Davey Tree Expert Co. Y el SUNY Escuela de ciencias forestales y ambientales.*

---

<sup>1</sup> <http://gustavomaldonado.com/primer-foro-nacional-de-arboricultura-tropical>

<sup>2</sup> datos de clima en base al aeropuerto de Cozumel y datos de contaminantes en base a la estación de monitoreo más cercana en la Ciudad de Mérida, Yuc ya que Playa del Carmen no cuenta con una.

## Índice

Resumen Ejecutivo .....	1
1. Introducción y Objetivos .....	3
1.1 Objetivo general.....	4
1.2 Objetivos particulares .....	4
2. Metodología.....	5
3. Resultados.....	8
3.1 Análisis de las parcelas .....	8
3.2 Estructura del Arbolado .....	10
3.2.1 Especies.....	10
3.2.2 Tamaño.....	13
3.2.3 Condiciones .....	15
3.2.4 Índices biológicos .....	17
4. Servicio Ambiental del Arbolado de Playa del Carmen.....	20
4.1 Fijación de CO <sub>2</sub> .....	20
4.2 Fijación Neta de Carbono. ....	23
4.2 Incremento en infiltración.....	24
4.3 Producción de oxígeno .....	25
4.4 Remoción de Contaminantes .....	26
5. Interpretación de resultados.....	27
5.1 Arbolado.....	28
5.2 Servicio Ambiental.....	29
5.3 Pronósticos.....	30
5.4 Metas potenciales para establecer. ....	32
5.5 Recomendaciones .....	33
5.5.1 Lineamiento General.....	33
5.5.2 Para el seguimiento y mejora constante.....	34
5.5.3 Para la selección de especies. ....	34
INDICE DE FIGURAS Y CUADROS.....	37
Anexos.....	38
Anexo I. Listado de especies con claves de i-Tree .....	39
Anexo II. Modelo Eco y Mediciones de Campo para i-Tree.....	40
Anexo III. Efectos relativos del arbolado.....	45
Anexo IV. Recomendaciones generales para mejorar la calidad del aire.....	46
Citas Bibliográficas .....	47

## Resumen Ejecutivo

El entendimiento de la estructura del arbolado urbano, su función y valor ayuda a la toma de decisiones que mejoran la salud humana y la calidad del medio ambiente. Por esto, se llevó a cabo una evaluación y diagnóstico de la estructura de la vegetación, función y valor del arbolado de la ciudad de Playa del Carmen, Quintana Roo de noviembre de 2016 a abril del 2017, utilizando la herramienta *i-Tree ECO V6.03* desarrollada por el U.S. Forest Service, Northern Research Station.

- 🌳 Población de árboles: **582,775** +/- 43,736
- 🌳 Cobertura arbórea: **20.2%**
- 🌳 Principales especies: **Tzalam, Chaka y Ficus**
- 🌳 Porcentaje de árboles de DAP menor a 15.2 cm: **53.0%**
- 🌳 Remoción de contaminantes: **52.58** toneladas/año (US\$ 7.43 millones US Dlls/año)
- 🌳 Almacenamiento de carbono: **50,260** toneladas (US\$ 7.37 millones Dlls)
- 🌳 Secuestro de carbono: **5,011** toneladas/año (US\$ 735,000 Dlls/año)
- 🌳 Producción de oxígeno: **12,600** Toneladas/año
- 🌳 Incremento en infiltración: **208,200** metros<sup>3</sup>/año (US\$ 492,000 Dlls/año)
- 🌳 Valor estructural: **US\$ 151,000,000** Dólares.

El inventario por muestreo arrojó un total de **582,775** árboles, con una densidad promedio de **104** árboles/hectárea en las diferentes áreas en las que se dividió la ciudad. Estos árboles presentan una cobertura del **20.2%** del área. Se identificaron cerca de 100 especies, y el *i-tree* reconoció a 71 de estas, las especies más comunes fueron: Tzalam (24%), Chaka (10%) y varias especies de Ficus (8%). La mayor densidad de árboles en toda el área de estudio fue en el Ejido Norte, seguido del ejido sur y en tercer lugar Playacar. El **27%** de la superficie estimada se encuentra con uso de calle y el **43%** está cubierta de asfalto, cemento y construcciones, dejando aún superficies para reforestar.

El arbolado como se encuentra tiene tamaño chico ya que el **78%** tiene un diámetro a la altura de pecho menor a **20cm** y una altura promedio de **6** m. La diversidad se considera de media a alta de acuerdo a varios índices técnicos indicadores de biodiversidad. Las condiciones de los árboles son en su mayoría de media a pobre, salvo en Playacar donde la condición promedio fue de 93%, es decir buena. Con esta estructura de arbolado el servicio ambiental por secuestro de carbono es de **5,011** ton/año con las especies que más fijan Tzalam, Ficus, y Jabín, que junto con otras 7 fijan el 80% del total. Se encontró

que, a pesar de ser un arbolado chico, hay especímenes con tallas importantes que pueden proveer de un servicio ambiental 100 veces mayor que las tallas de 3-10 cm de DAP. Y, por otra parte, todo el arbolado contiene **50,260 t** de Carbono almacenado en forma de madera que además tiene un valor estructural de \$151 Millones de dólares de acuerdo a la metodología de evaluación de valor de la herramienta *i-Tree Eco*.

En términos generales es posible enumerar una serie de lineamientos y acciones dirigidas a mejorar el arbolado y lograr reforestaciones más efectivas que permitan contar con una infraestructura verde de acuerdo al nivel de desarrollo de la ciudad. A continuación, se enumeran algunos de los lineamientos generales, acciones específicas y donde se recomienda implementarlas para lograr una mayor eficiencia en el uso de recursos para obtener el máximo de beneficios ambientales:

Lineamiento General/Particular	Centro	Ejido N y S	Playa N
<b>1. Regular el retiro de arbolado en nuevas construcciones.</b>			
Establecer una norma para que las nuevas viviendas tengan zonas arboladas que favorezcan la infiltración y arbolado para sombra, procurando dejar en obra árboles de más de 25 cm en la medida de lo posible.			
Establecer un programa de rescate de árboles con DAP entre 10-20 cm para replantar en zonas sin árboles del trazo de nuevas calles y avenidas.			
<b>2. Implementar un programa de cuidado (nutrición, sanidad y mejora de suelo) para mejorar árboles de 10-20 cm de DAP.</b>			
Aplicar materia orgánica (mulch) en zonas de goteo para mejorar la estructura y calidad de suelo de los árboles y desarrollar metodología para definir la necesidad de fertilizar un árbol en cuanto a producto y cantidad.			
Llevar a cabo labores de descompactación de suelo para mejorar infiltración.			
<b>3. Intensificar el programa de reforestación urbana en cantidad, calidad, selección de especies y tamaño de árboles utilizados.</b>			
Establecer una norma de calidad de planta para reforestación en términos de calidad de raíz, porte, diámetro y altura para sitios específicos.			
Seleccionar y definir la metodología para el trasplante de árboles grandes.			
Establecer criterios de selección de especies para aumentar la biodiversidad y estudiar la promoción de frutales como opción para el público en general.			

Además, se recomienda fuertemente establecer un monitoreo periódico (cada 5 años) del desempeño del arbolado con respecto a las metas (ambientales) establecidas. Es por lo tanto indispensable establecer las metas de corto y mediano plazo en términos de desempeño de los árboles más que por cantidades, es decir, definir si se quiere mantener el 20% de cobertura junto con un incremento en la capacidad de fijación de C de que cantidad para establecer el tamaño de árboles necesario. Finalmente, del análisis de los distritos uno por uno como parte del estudio se establecerán tareas específicas que permitan mejorar el arbolado y se podrá desprender un presupuesto de manejo, equipamiento y seguimiento que dé resultados en corto plazo.

## 1. Introducción y Objetivos

La determinación del servicio ambiental que realizan los árboles en un bosque urbano permite cuantificar y apreciar el beneficio que estos nos brindan en una, cada vez más contaminada, atmósfera de las ciudades (McPherson,2014). El conocimiento de estos beneficios se ha tenido por mucho tiempo, sin embargo, no fue sino hasta hace poco que el trabajo de investigación permitió conjuntar todas las experiencias y conocimientos estadísticos y dasométricos en una herramienta que cumple varias funciones (Soares,2011). En primer lugar, como guía en la elaboración de los inventarios ya que nos permite manejar gran cantidad de información de manera segura, sencilla y ordenada. En segundo lugar, contiene las ecuaciones que permiten traducir la estructura del arbolado en la capacidad de fijación de contaminantes y de incremento en la infiltración. En tercer lugar, permite evaluar diferentes escenarios de desarrollo de poblaciones en condiciones locales específicas bajo diferentes supuestos de deforestación y reforestación para determinar el mejor curso de acción. Finalmente, pero no menos importante, permite una planeación y cálculo de estos beneficios en pesos, lo que a su vez ayuda a justificar la realización de gastos en su cuidado y a crear conciencia de la necesidad de llevar a cabo un manejo que, aunque tenga costos, estos son sobrepasados con creces por los beneficios.

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

## 1.1 Objetivo general

A través de un inventario urbano, con metodología estadística y rigor científico, conocer las principales características del arbolado urbano que nos permitan establecer su capacidad de servicio ambiental, económico y ecológico en Playa del Carmen, Quintana Roo. Todo con la finalidad de proveer de información necesaria para la toma de decisiones en el manejo del arbolado urbano, su mejora y cuidado.

## 1.2 Objetivos particulares

- 🌳 Reconocer las especies más importantes del arbolado
- 🌳 Cuantificar la distribución de las especies en la zona de estudio y sus estratos
- 🌳 Identificar y evaluar las condiciones en las que se encuentra el arbolado por especie, y estrato, en cuanto a diámetro a la altura de pecho, condición de copa y follaje
- 🌳 Determinar posibles conflictos con cables, banquetas y otras estructuras
- 🌳 Determinar riesgos de plagas y enfermedades
- 🌳 Identificar maltratos y malos manejos en el arbolado
- 🌳 Pronosticar el comportamiento de una población en diferentes escenarios de deforestación (mortalidad) y reforestación
- 🌳 Cuantificar económicamente, en base a los precios establecidos internacionalmente, los beneficios económicos del arbolado
- 🌳 Establecer la línea base de la situación del arbolado para que en muestreos recurrentes se evalúe la efectividad del trabajo sobre los árboles

## 2. Metodología

El inventario urbano se realizó siguiendo la metodología y los protocolos específicos y probados de la suite i-Tree con la herramienta ECO V 6.03.17, por lo que se recomienda revisar para más detalle el manual que se encuentra en la página de la herramienta.<sup>1</sup> La definición de variables a evaluar, y el establecimiento de parcelas de muestreo para realizar el inventario también se hizo siguiendo las recomendaciones de la herramienta, cabe mencionar que se utilizó la opción que tiene la herramienta para la generación aleatoria de la ubicación de las parcelas para que los resultados fueran estadísticamente válidos.

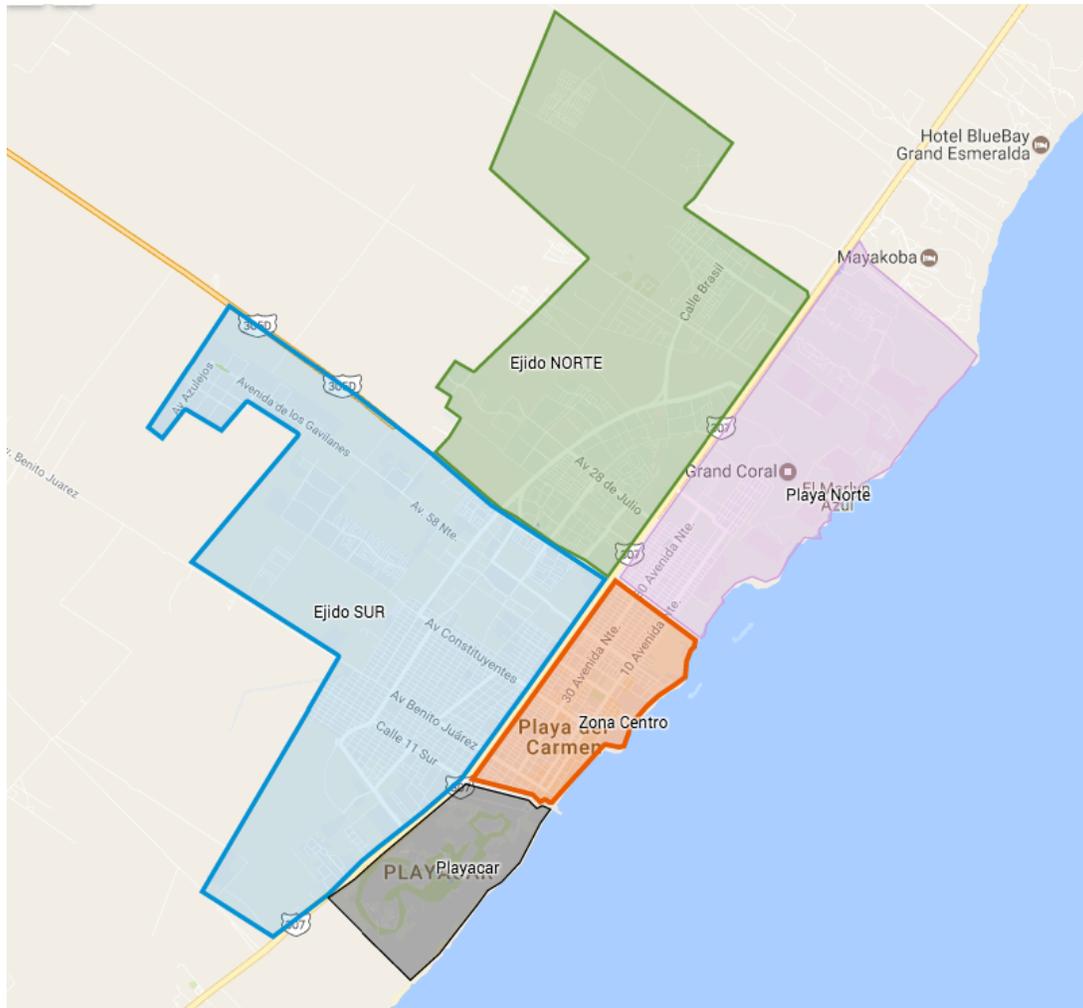
El cuadro 1 presenta las subdivisiones que se plantearon para la ciudad, su superficie, las parcelas originalmente planteadas y las efectivamente muestreadas para indicar la eficiencia de muestreo, el área muestreada total y por lo tanto, la intensidad de muestreo. Las parcelas que se desecharon en su mayoría fueron porque después de 3 visitas no fue posible contactar a los dueños o a nadie que permitiera el paso para el muestreo.

ID	Estrato	Clave	Area (ha)	Parcelas	Medidas	%
1	Playacar	PCAR	350	14	14	100%
2	Centro	CENT	409	30	27	90%
3	Playa Norte	PLNO	1,078	77	64	83%
4	Ejido Norte	EJNO	1,847	85	82	96%
5	Ejido Sur	EJSU	1,946	99	96	97%
			<b>5,630</b>	<b>305</b>	<b>283</b>	93%

Cuadro 1 Estratos, áreas y parcelas definidas para el inventario de Playa del Carmen, Q. Roo

Los estratos se establecieron por su homogeneidad de condiciones, uso de suelo, delimitación de avenidas, tipo de casa habitación, en algunos casos vegetación existente y antigüedad. Se aprovechó calles y avenidas para delimitar las áreas y facilitar el acceso. La figura 1 muestra las 5 divisiones que se propusieron para Playa del Carmen de acuerdo a las características comunes dentro de ellas para que estadísticamente no alteren el error estándar y para formar unidades de manejo.

<sup>1</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)



*Figura 1 Estratos en los que se dividió Playa del Carmen para su muestreo*

La toma de datos se realizó en papel de acuerdo a las variables establecidas y posteriormente se enviaron los datos con la WEB Form que generó el programa, de tal manera que la información es poco probable que sufriera errores por captura. También se diseñó un croquis para que se capturara el papel las principales características de la parcela, la ubicación de los árboles y que quedara como documento fuente en caso de tener problemas con el programa. También se tomaron fotos desde el N de la parcela con alguien parado en el centro y en la medida de lo posible dos personas a 12 m del centro en la dirección E-O para dar la idea del tamaño de la parcela. Estos croquis sirvieron para la auditoría de la calidad de la información y quedan como parte del reporte.

Los 12 parámetros que se tomaron de todos los árboles que se encontraban en la parcela, después de ubicarlos en el croquis y de identificar la especie se encuentran listados y explicados en el cuadro 2. El personal que tomó los datos se capacitó y se incorporó un técnico especialista para la identificación de especies, el uso de voluntarios está ampliamente comprobado que no afecta significativamente la precisión de la información (Bolniaz, et.al.1996).

		Clave ESPECIE	UNIDADES	Nombre común o Científico
	<b>1</b>	Cond Copa	%	CONDICIÓN DE LA COPA, ver el manual para las opciones
	<b>2</b>	Altura TOTAL	m	en metros del árbol hasta su parte más alta
	<b>3</b>	Altura COPA	m	en metros del follaje vivo del árbol
	<b>4</b>	Altura BASE Copa	m	del piso a la hoja más baja de la copa
ANCHO DE COPA	<b>5</b>	N-S	m	metros de la copa en la dirección indicada
	<b>6</b>	E-W	m	metros de la copa en la dirección indicada
	<b>7</b>	%COPA faltante	%	porcentaje de la copa que no se encuentre
	<b>8</b>	Exposición a la luz	entero	1 al 5 ver el manual para las opciones
	<b>9</b>	% impermeable	%	área cubierta por cemento, banquete o cualquier elemento impermeable al agua
	<b>10</b>	% arbustos	%	superficie estimada cubierta por arbustos
DAP:	<b>11</b>	Dap 1 hasta 6	cm	diámetro medido con cinta Diamétrica para estimar el tamaño del árbol con las ecuaciones alométricas del programa
	<b>12</b>	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 por problemas de tallo.

*Cuadro 2. Parámetros dasométricos medidos en los árboles y su explicación*

Finalmente, es importante mencionar que las parcelas fueron establecidas totalmente al azar con la opción que tiene el mismo software para generarlas sin poder interferir para nada con la selección del lugar. Esto es muy importante ya que es la única manera de evitar sesgos en la información y garantiza que se puede manejar estadísticamente los datos para realizar conclusiones con margen de error conocido.

### 3. Resultados

El programa i-Tree tiene más de 120 reportes de la información que procesa y genera con las parcelas muestreadas y los datos dasométricos de los árboles, que están incluidos en los papeles de trabajo. Estos reportes se pueden obtener en formato para impresión (PDF) o para trabajo (EXCEL). A continuación, se presentan algunos reportes gráficos que explican y describen la estructura del arbolado.

#### 3.1 Análisis de las parcelas

Como se mencionó anteriormente las parcelas de 452 m<sup>2</sup> (12 m de radio) se evaluaban para determinar sus características lo que nos sirve para estimar el tipo de uso de suelo y de cobertura para reconocer a los sitios con potencial a ser sembrados, además de que específicamente una variable evaluada al momento de llegar a la parcela fue el % de área plantable y cobertura arbórea.

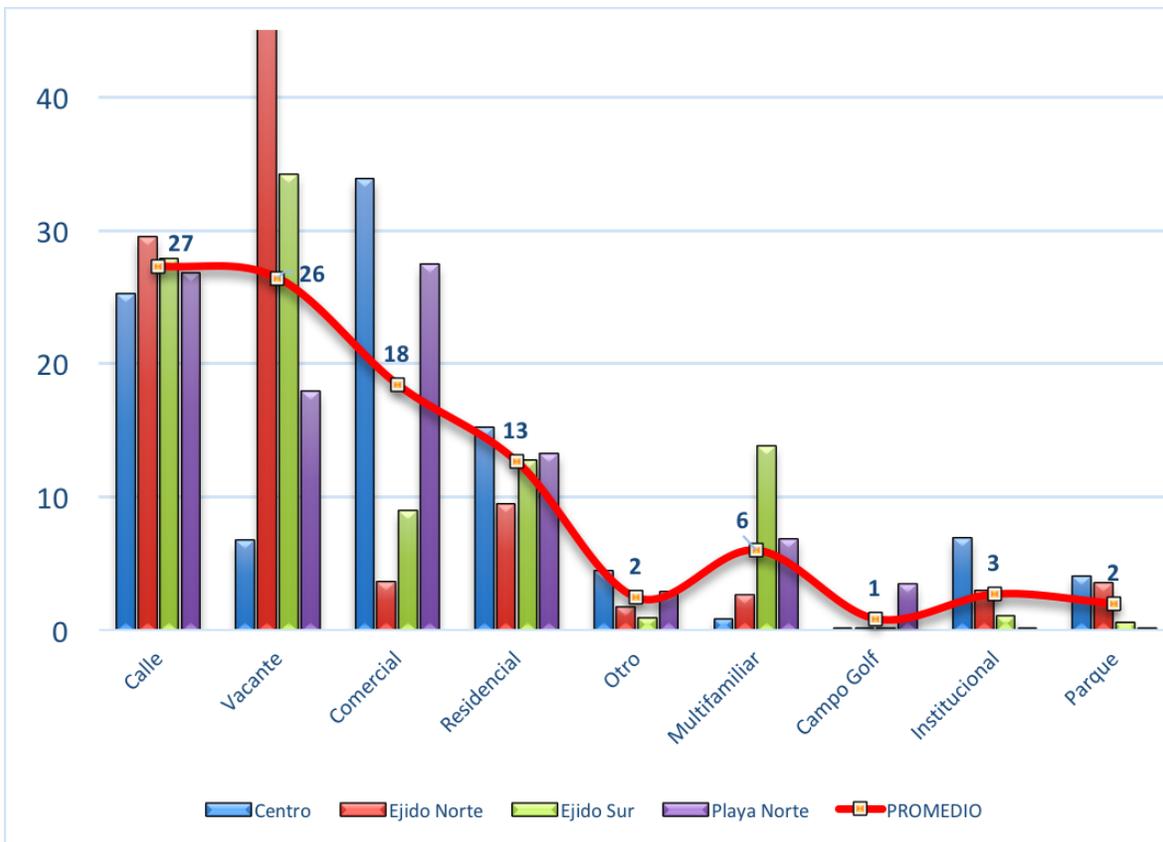


Figura 2 Usos de suelo identificados por estrato en el inventario de Playa del Carmen Q. Roo

En la figura anterior se puede observar que prácticamente una tercera parte de la superficie de la ciudad ya está convertida en calle y, por lo tanto, queda fuera de posibilidades de ser sembrada. La distribución es bastante homogénea entre los 4 estratos, no así por ejemplo en terreno vacío donde los ejidos N y S son los que más cuentan con áreas vacías y

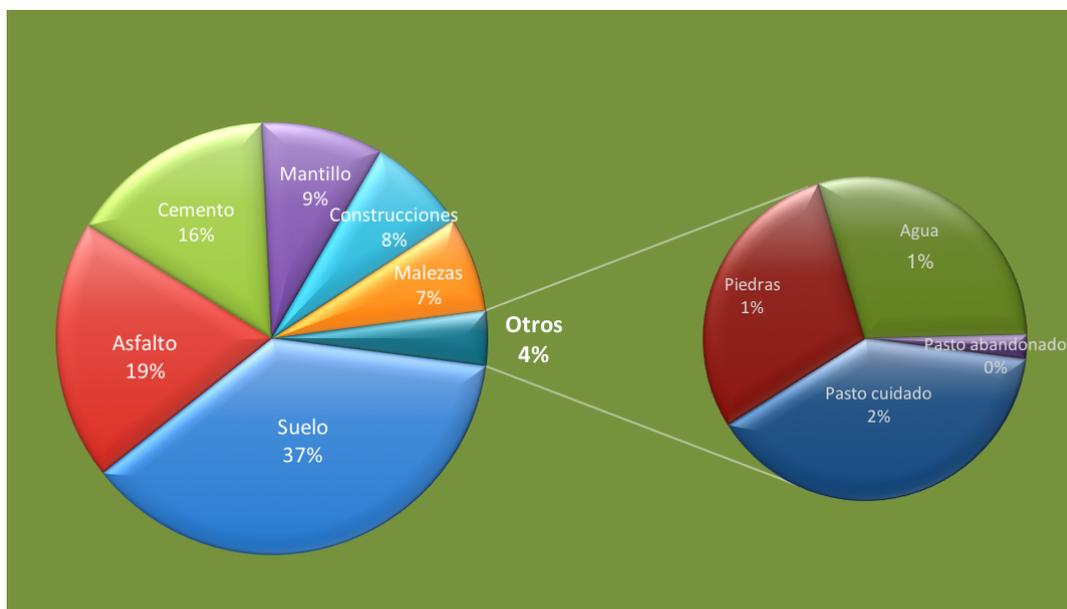


Figura 3 Cubierta de suelo encontradas en el inventario de Playa del Carmen, Q. Roo.

La cubierta del suelo se refiere al material que actualmente está encima del suelo y excluye a lo cubierto por los árboles o cobertura arbórea y la de arbustos. Pueden existir varios tipos de cobertura en una misma parcela y está se estimó en función al área que cubrían. De manera agregada prácticamente la mitad de la superficie de la ciudad ya está cubierta por algún tipo de material impermeable (asfalto, cemento o construcciones).

Por otro lado, se midió dentro de cada parcela la cobertura arbórea estimado el área que cubría el follaje de los árboles (sombra o zona de goteo) y también el área plantable fuera de la sombra, donde fuera posible hacer una cepa y plantar un árbol que no interfiriera con nada. El promedio de cobertura arbórea fue de 20.2% pero la variación fue muy alta desde 11.2% hasta 26.3% que prácticamente es 2.4 veces y con notables diferencias en estratos.

Estrato	Porcentaje	
	Plantable	Arboles
Playacar	1.90	11.20
Ejido Sur	10.60	20.10
Centro	10.80	14.60
Ejido Norte	11.00	26.30
Playa Norte	12.00	15.10
<b>TOTAL</b>	<b>10.50</b>	<b>20.20</b>

Los ejidos N y S presentan la mayor cobertura de árboles como es de esperarse por tener aun áreas de vegetación nativa y terrenos vacíos. En cuanto a espacio Plantable, salvo en Playacar donde ya todo está ocupado y bajo un diseño, en los demás estratos hay casi un 11% de espacio para reforestación lo cual es bastante bueno.

## 3.2 Estructura del Arbolado

### 3.2.1 Especies

Se encontraron más de 100 especies de árboles de las cuales 70% se encontraban registradas en el i-tree y el resto se caracterizó por género y clase. En el anexo 1. Se listan las especies encontradas, su clave del programa, su nombre común de la región y para aquellas que no están en el programa porque no existen las ecuaciones alométricas para la determinación de su tamaño y demás variables secundarias que calcula el programa, pero que por presentarse en cantidades de uno a tres individuos se les clasifico como latifoliadas clase Magnoliopsida. De la figura 3 y el cuadro del Anexo 1 con la información de las especies se concluye que:

- ✿ 4 especies conforman la mitad de la población
- ✿ 14 especies conforman  $\frac{3}{4}$  partes de la población y
- ✿ 25 especies conforman el 90% de la población.

De lo anterior se desprende que la biodiversidad de la población es relativa ya que si bien hay numerosas especies, el grueso de la población está concentrado en tan solo 14-18 especies. Este factor será importante en la selección de especies en las recomendaciones y en las sugerencias para las actividades de mejora del arbolado y su capacidad de servicio ambiental.

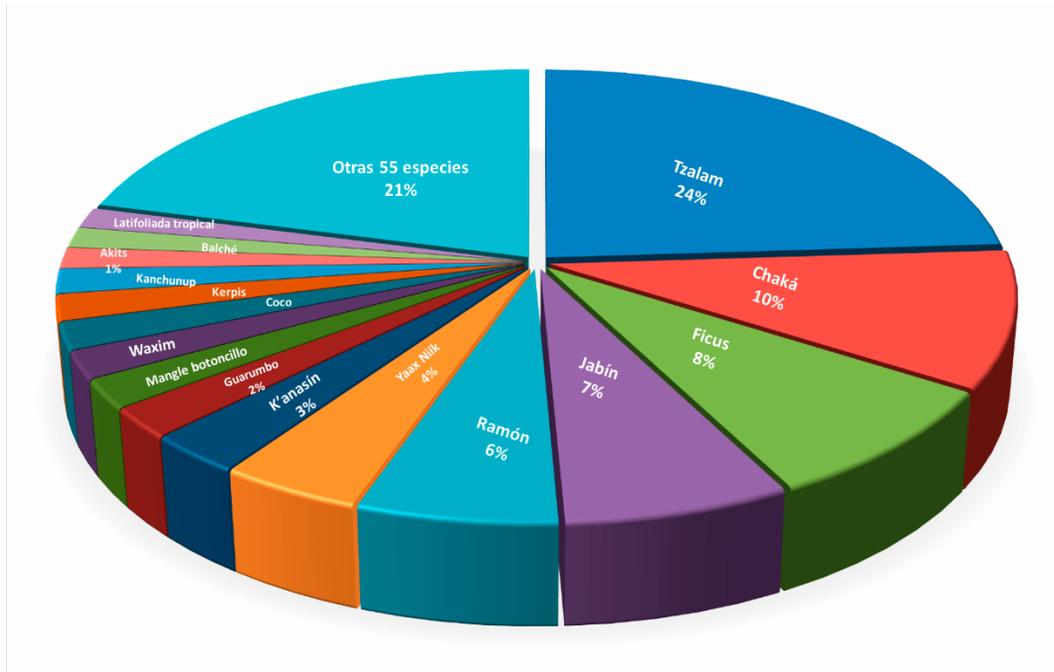


Figura 4 Especies más importantes encontradas en Playa del Carmen.

La siguiente figura ilustra claramente la cantidad de individuos y especies dentro de cada uno de los estratos establecidos. El promedio de la condición fue de 83% para todos los estratos a excepción del arbolado de Playacar donde su condición fue del 93% por su característica de ser un fraccionamiento privado con un cuidado particular, de hecho, por este motivo el arbolado de Playacar quedara fuera de la discusión y análisis ya que se encuentra fuera de la jurisdicción del municipio y no acataran las recomendaciones



Figura 5 Cantidad de árboles por estrato en miles y cantidad de especies presente.

#### a) Zona Centro

En este estrato hay 5 especies que conforman el 50% de la población. Las características más importantes en términos de follaje y biomasa se muestran en el siguiente cuadro. Cabe mencionar que el plátano aparece en grandes cantidades porque en una parcela había numerosos individuos parte de una “plantación” pero solamente estuvo presente en ese punto, es decir en una sola parcela como lo indica su error estándar. Además de estas 5 especies hubo otras 24 más en menores cantidades, sin embargo, el total de la biomasa calculada por el i-tree para este estrato fue de 13,227 toneladas, que es considerable como veremos más adelante ya que con un área del 40% del estrato de Playa Norte tiene el 80% de biomasa, esto es debido al tamaño grande de los árboles en este estrato, el peso promedio por árbol es de 516 kg.

Especie más abundante	Cantidad		Área Foliar (ha)	Biomasa foliar (t)	Biomasa total (t)	Cond. Promedio (%)
Plátano	4,759	19%	27.6	46.2	57.0	83
Coco	3,661	14%	61.3	102.8	116.3	90
Ficus	2,196	9%	68.0	50.9	4,545.7	87
Jabín	1,464	6%	24.1	18.0	564.7	61
Anona	1,098	4%	6.4	4.8	297.2	80
<b>Total</b>	<b>25,624</b>		<b>326.40</b>	<b>355.76</b>	<b>13,227.30</b>	<b>81</b>

Cuadro 3 Especies más importantes y sus características en el estrato del CENTRO de Playa del Carmen.

Este estrato por la presencia de áreas jardineadas y turísticas cuenta con ejemplares en buen estado y maduros que se tendrá que vigilar de cerca por si desarrolla algún tipo de riesgo.

*b) Zona Playa Norte*

En esta zona se encuentran varios hoteles y por ser la que está junto al mar no es de extrañar que la principal especie sea el Mangle y en grandes cantidades. El jabín cuenta con numerosos ejemplares, pero sobre todo su área foliar y biomasa total indica que son de porte alto y con buen servicio ambiental (C fijo y capacidad de secuestro de C). Considerando la población de árboles (91,925) y la biomasa total el peso por árbol en promedio esta en 172 kg/árbol que es tres veces menor al estrato del centro.

<b>Especie más abundante</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Área Foliar (ha)</b>	<b>Biomasa foliar (t)</b>	<b>Biomasa total (t)</b>	<b>Cond. Promedio (%)</b>
Mangle Botoncillo	12,149	71.3	53.4	1,306.0	82
Jabín	10,934	120.6	90.3	3,092.2	84
Chaka	6,884	43.0	32.2	1,646.5	91
Palma real	5,669	67.9	113.8	265.2	92
Chit	5,669	26.4	44.3	58.6	<b>83</b>
<b>Total</b>	<b>91,925</b>	<b>804.73</b>	<b>799.08</b>	<b>15,807.9</b>	<b>83</b>

*Cuadro 4 Especies más importantes y sus características en el estrato Playa Norte de Playa del Carmen.*

*c) Zona ejidos Norte y Sur*

Estos dos estratos tienen básicamente las mismas especies en orden de importancia a excepción de la que está en cuarto lugar. Por lo anterior, se muestran los datos para los dos estratos juntos, el total de biomasa es considerable ya que en estos estratos hay mayor cantidad de árboles, aunque de menor tamaño el promedio fue diferente para los del ejido sur el peso por árbol fue de solo 120 kg/árbol mientras que en el norte fue de 171 kg/árbol. Todo esto se tendrá en consideración al momento de las recomendaciones de manejo y mantenimiento.

<b>Especie más abundante</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Área Foliar (ha)</b>	<b>Biomasa foliar (t)</b>	<b>Biomasa total (t)</b>	<b>Cond. Promedio (%)</b>
1 Tzalam	135,770	1,099	1,163	24,860	<b>83</b>
2 Chaka	50,916	166	125	3,638	<b>82</b>
3 ficus spp	42,831	475	356	16,228	<b>84</b>
4 (S) K'anasín	11,130	52	39	639	<b>81</b>
4 (N) Jabín	15,264	97	72	1,339	<b>78</b>
5 Ramón	22,914	103	77	2,286	<b>84</b>
		<b>1,992</b>		<b>48,988</b>	

*Cuadro 5 Especies más importantes y sus características en los estratos Ejido N y S de Playa del Carmen*

### 3.2.2 Tamaño

El tamaño de los árboles es muy importante ya que junto con la especie es la variable que determina, en las ecuaciones alométricas del programa, los beneficios ambientales y las características morfológicas que calcula el programa. Dentro de los dos posibles parámetros para indicar el tamaño de un árbol, el diámetro medido a la altura del pecho o DAP (@ 1.3 m del suelo) es el que más se utiliza. En la siguiente figura se muestra la distribución de la población por DAP en los cuatro estratos de análisis, el número indicado muestra el tope de la clase Diamétrica. Cabe mencionar que se midieron árboles a partir de los 5 cm de diámetro, aunque cuando había varios tallos en un árbol se medían, aunque fueran más chicos, para sumarlos después. El promedio de diámetro para la muestra fue de 17.45 cm con una variación del 63% o 11 cm, de tal manera que se puede afirmar que el grueso de la población está entre 28 y 6 cm.

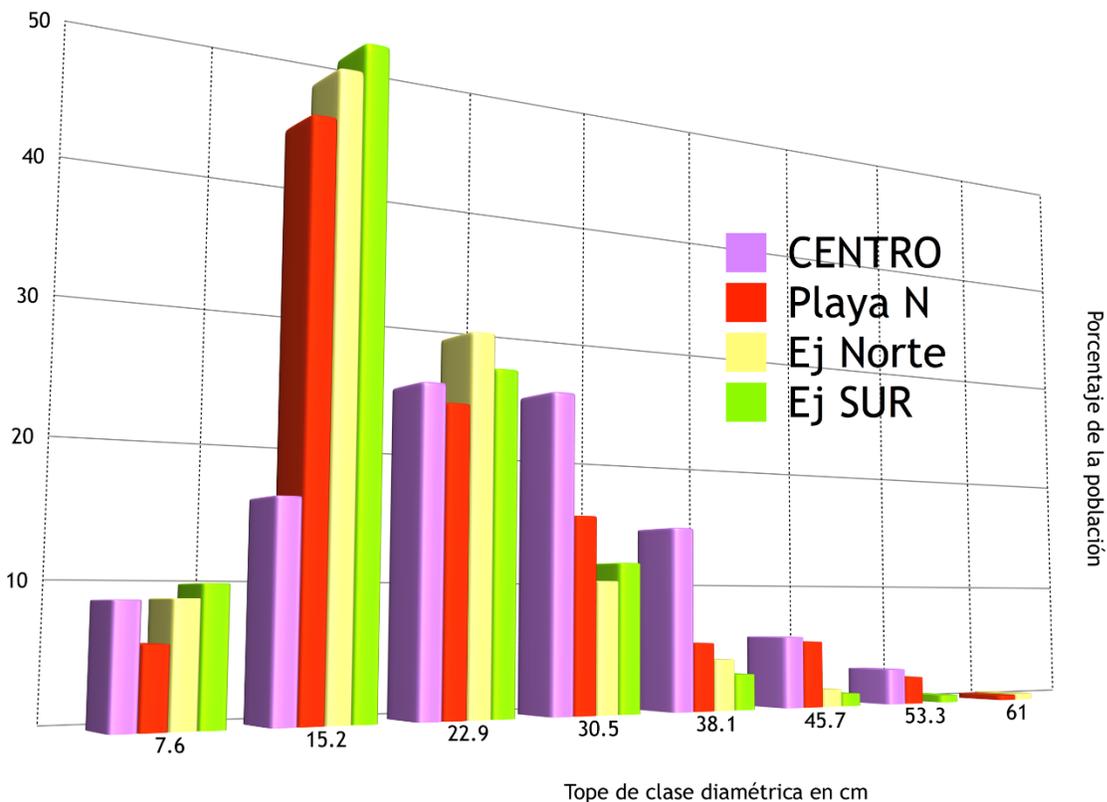


Figura 6 Tamaño de los árboles por estrato en función a su clase Diamétrica

#### a) Zona Centro

Como se ve en la figura anterior, el arbolado del centro es el que presenta consistentemente árboles más grandes en cada categoría menos en el promedio. La razón de lo anterior ya se comentó y viene a ratificar lo observado con el peso promedio de los árboles. Las implicaciones además de la de vigilancia por desarrollo de riesgos es que hay que realizar podas sanitarias de ramas muertas, donde se ocupe, y vigilar por plagas y

enfermedades. Estos árboles seguramente se beneficiarán de mejoras en la descompactación de suelo y agregado de materia orgánica.

*b) Zona Playa Norte*

Este estrato le sigue al Centro en el tamaño general de los árboles y es posible que se deba a la jardinería de los hoteles en la zona y a las palmas que en general están en muy buenas condiciones y con cuidados. Hay que recordar que el mangle es la especie más numerosa y a esta especie es poco el manejo o mantenimiento que se le puede dar por lo que en este estrato hay que concentrarse en los Jabines y Chakas de diámetros mayores a 20 cm para buscar que tengan un desarrollo completo.

*c) Zona ejidos Norte y Sur*

Estos dos estratos tienen un comportamiento muy similar, que se resume en que la mitad de su población tiene diámetros por debajo del promedio, lo cual concuerda con el tipo de vegetación y las características antes mencionadas. En este caso es muy importante tener en cuenta a las especies Chaka, Ficus spp, K'anasín, Jabín y Ramón para el diseño de los programas de mejora para lograr que desarrollen a su potencial el follaje y copa para maximizar el servicio ambiental.

En cuanto a la altura de árboles el promedio se encontró en 7.3 m con una variación de +/- 15%, y como se ve en la siguiente figura un máximo de 16 m de alto. Esta altura es común para el tipo de vegetación de Selva Baja y Mediana Subperennifolia, sin embargo, es importante notar que en buenas condiciones y manejo la altura puede llegar al doble o más que el promedio y es precisamente por esto que en las recomendaciones se incluye un apartado completo sobre manejo y mejoras para lograr que la mayor parte de la población alcance estas alturas con el consiguiente aumento de biomasa foliar y canope.

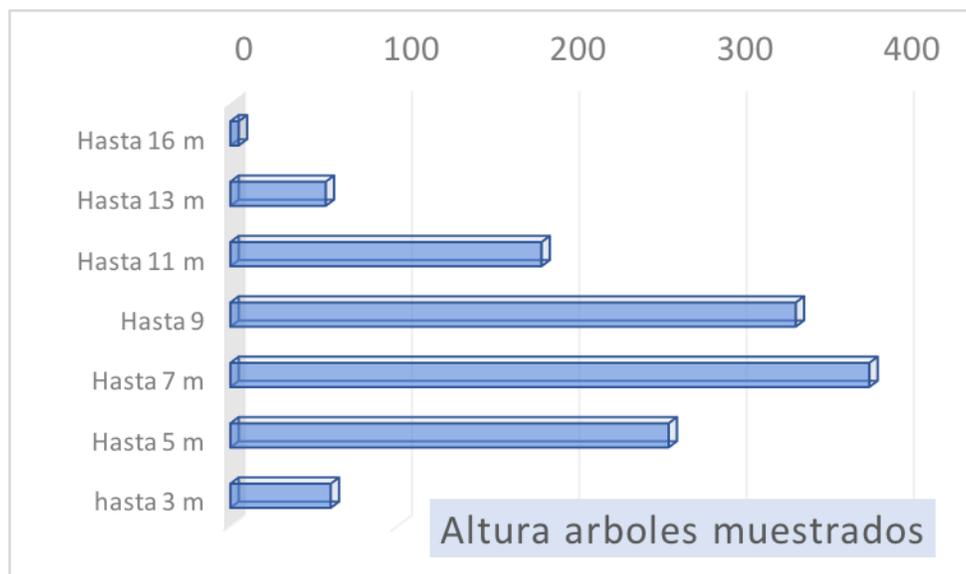


Figura 7 Distribución de altura de los árboles muestreados para el inventario de Playa del Carmen.

### 3.2.3 Condiciones

Las condiciones de árbol se refieren más específicamente a las condiciones de la copa, que se evalúan siguiendo la metodología descrita en el manual de toma de datos de campo de la herramienta que se mencionó anteriormente. Básicamente existen 7 niveles del 1 (copa en perfectas condiciones) al 7 (copa muerta) dejando entonces 5 categorías con diferentes rangos para calificar la copa. La calificación de copa es sumamente importante ya que son las hojas donde se realiza la fotosíntesis que fija el CO<sub>2</sub> y donde se almacenan las partículas de contaminantes.

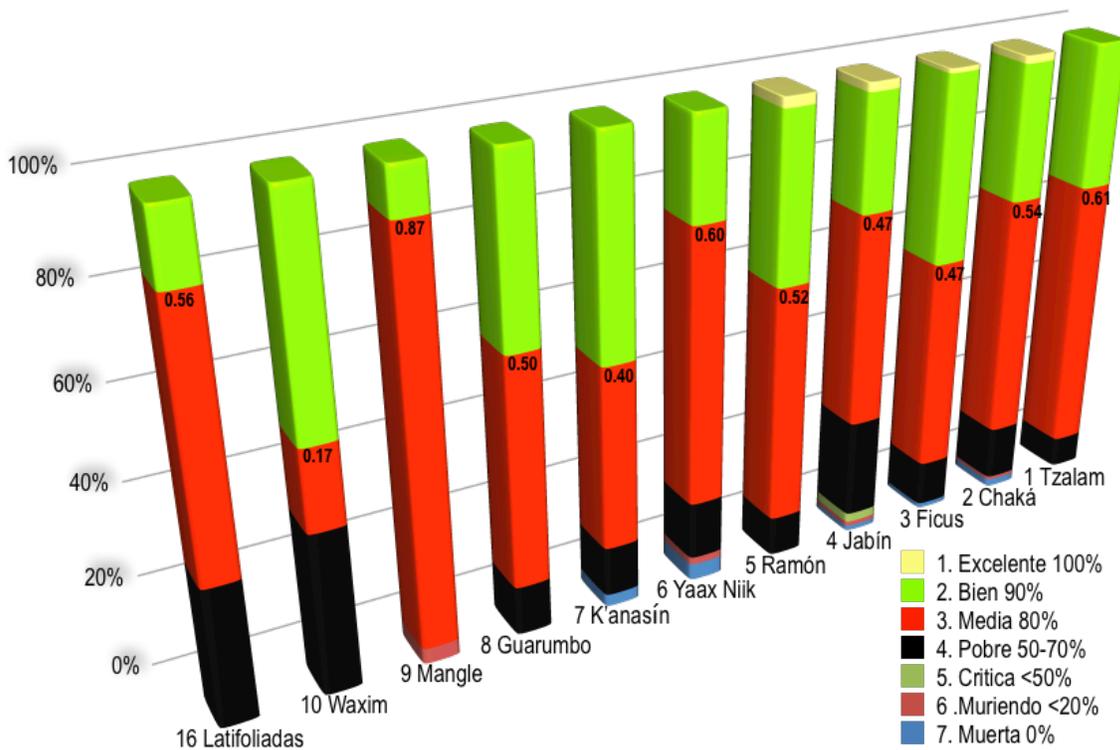


Figura 8 Condición de copa de las 16 especies más numerosas en Playa del Carmen.

También son las hojas las que frenan el golpe del agua de lluvia que reduce erosión y aumenta la infiltración por lo que la correcta estimación de la copa es muy importante. Y por esto mismo es que se tiene que llevar a cabo manejo y mantenimiento en los árboles para que desarrollen el mejor canope<sup>2</sup> que sea posible. En la figura 8 se observa en qué condiciones están las especies más numerosas que conforman el 80% de la población. Entre más alto se encuentre el número del estrato rojo, peores serán las condiciones del Canope de la especie. O dicho de otra manera entre más pequeño sea el color verde (indicativo de un buen canope) peor se encontrará el canope de la especie. El mangle por

<sup>2</sup> Se refiere al **dosel arbóreo**, **dosel forestal** o también llamado en ocasiones **canopia** o **canoepo** (del inglés *canopy* y este del latín *Canopus*, famosa ciudad egipcia conocida por sus grandes lujos) da nombre al **hábitat** que comprende la región de las copas y regiones superiores de los árboles

ejemplo, tiene su canope en condiciones medias o regulares, mientras que el 60% del Waxim lo tiene en buenas condiciones.

El análisis de la condición de copas por estrato muestra el nivel de manejo o cuidado que se tiene en cada uno y es un indicador que se tiene que ir modificando hacia la derecha con el tiempo si se pretenden mejorar las condiciones y los servicios ambientales del arbolado. Playacar con la jardinería en todo el fraccionamiento tiene al 80 de sus árboles con copas en buen estado (barra azul fuerte).

#### a) Zona Centro

La siguiente figura muestra claramente que la zona centro (barras azul claro) tiene la mayoría de sus árboles, casi el 80%, con copas buenas y regulares lo que coincide con el hecho de que son árboles grandes en condiciones buenas por la visibilidad y el turismo del área.

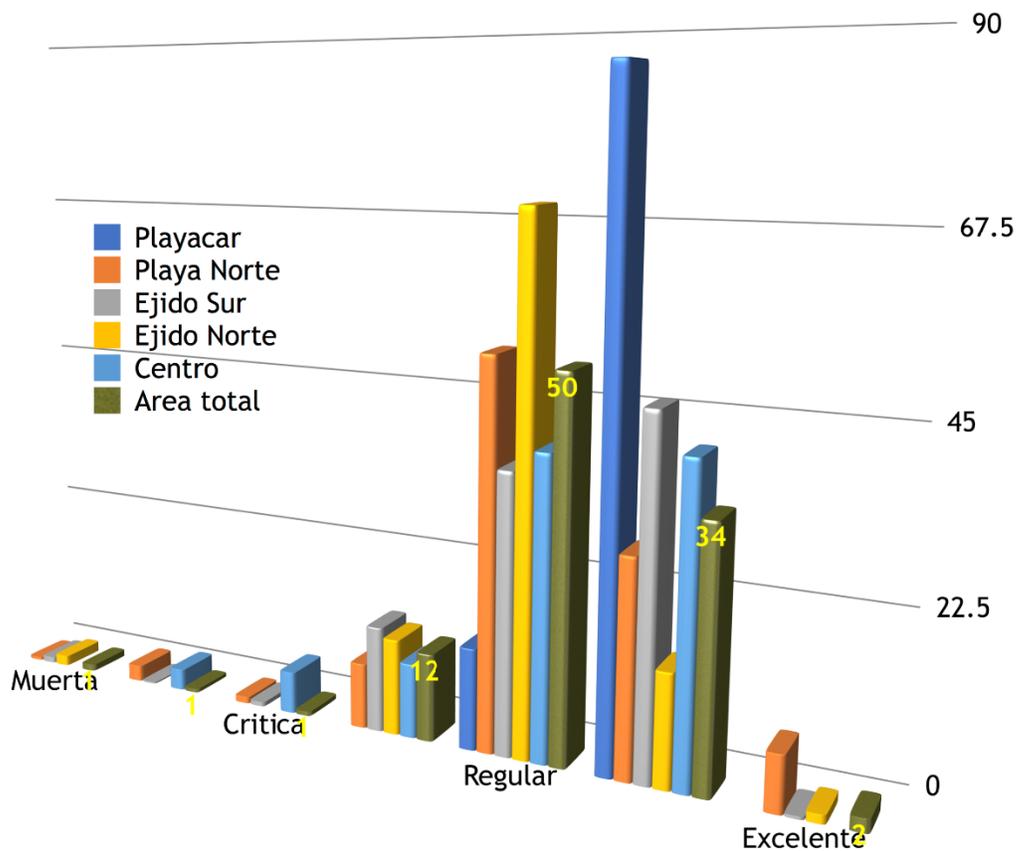


Figura 9 Condiciones de copa de los árboles en cada estrato de Playa del Carmen.

#### b) Zona Playa Norte

En este estrato la mitad del arbolado se encuentra regular, coincidiendo con el promedio para el área total. El resto está repartido en las demás categorías, y curiosamente tiene un porcentaje elevado en excelentes condiciones, y esto se debe al arbolado que se encontró en los jardines de los hoteles de la zona.

### c) Zona ejidos Norte y Sur

Los dos estratos tienen a la mayoría de la población de regular a mala, confirmando las aseveraciones que ya se han hecho en cuanto al tipo de vegetación, tamaño y peso de los árboles.

#### 3.2.4 Índices biológicos

Los índices biológicos que calcula el i-Tree desde los parámetros dasométricos son el Valor de Importancia (VI) y el Índice de Desempeño Relativo (IDR, o Relative Performance Index o RPI) que sirven para analizar y comparar especies entre ellas y esto es útil en la selección de especies. El primero se calcula simplemente sumando el % de la población de la especie al % del área foliar de la especie del total de todo el inventario. De tal manera que el follaje se convierte un factor importante como lo vemos con las especies de FICUS cuyo número es 20% menos que el Chaka pero que por su denso follaje sube al segundo lugar en importancia. Y por ese mismo motivo el Chaka cae al cuarto lugar por tener un área foliar menor incluso que el Jabín. Es importante notar que el Ramón con solo el 6% de la población lo duplica gracias a un follaje más exuberante que el Chaka.

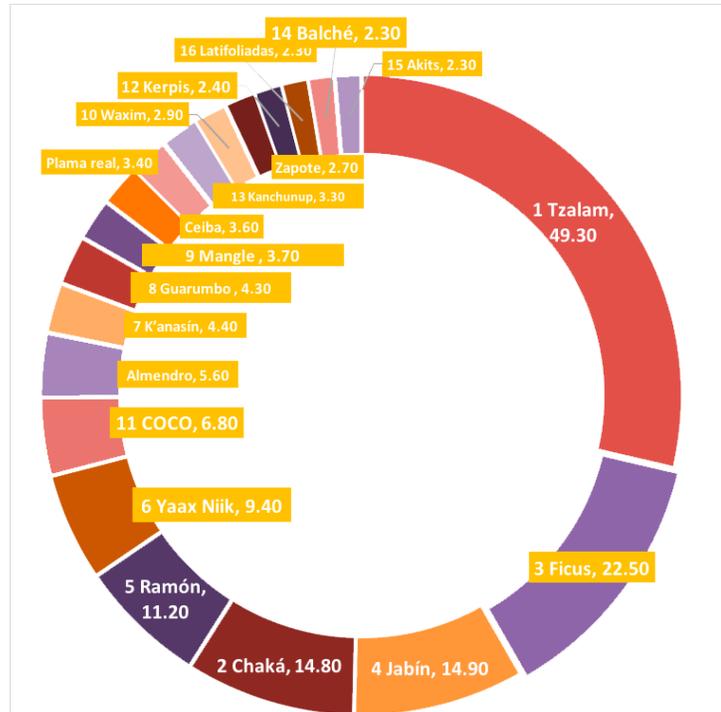


Figura 10 Valor de importancia de las especies en el inventario de Playa del Carmen.

Por su parte el IDR es un índice que compara especies bajo unas mismas condiciones y básicamente divide el % de la especie en buenas condiciones entre el promedio de toda la población, de esta manera si las condiciones son mejores que el promedio el índice es mayor a uno y viceversa si son menores el índice es menor que la unidad. La lógica detrás de esto es que se comparan todas las especies entre si y se señalan las que están por arriba de la media (Freilicher, E.M. 2010), que es el caso de la figura 10 donde además están las especies agrupadas en primera instancia los frutales, seguidos de las palmas y finalmente los árboles. Los árboles exóticos Ficus y Flamboyán muestran índices altos por su agresividad y adaptabilidad que le permite producir canopes en buenas condiciones y densidad que en promedio esta mejor que el promedio de la población.

El segundo grupo, las palmas por ser utilizadas comúnmente en jardinería de estacionamientos y calles por los hoteles y en avenidas tiene valores altos de IDR. En cuanto a los frutales por su beneficio a la población es de esperar que tengan un mínimo de cuidado que permita un mejor desarrollo de su condición y por lo tanto valores más altos de IDR. En este caso 7 de los 11 frutales identificados se encuentran en la lista.

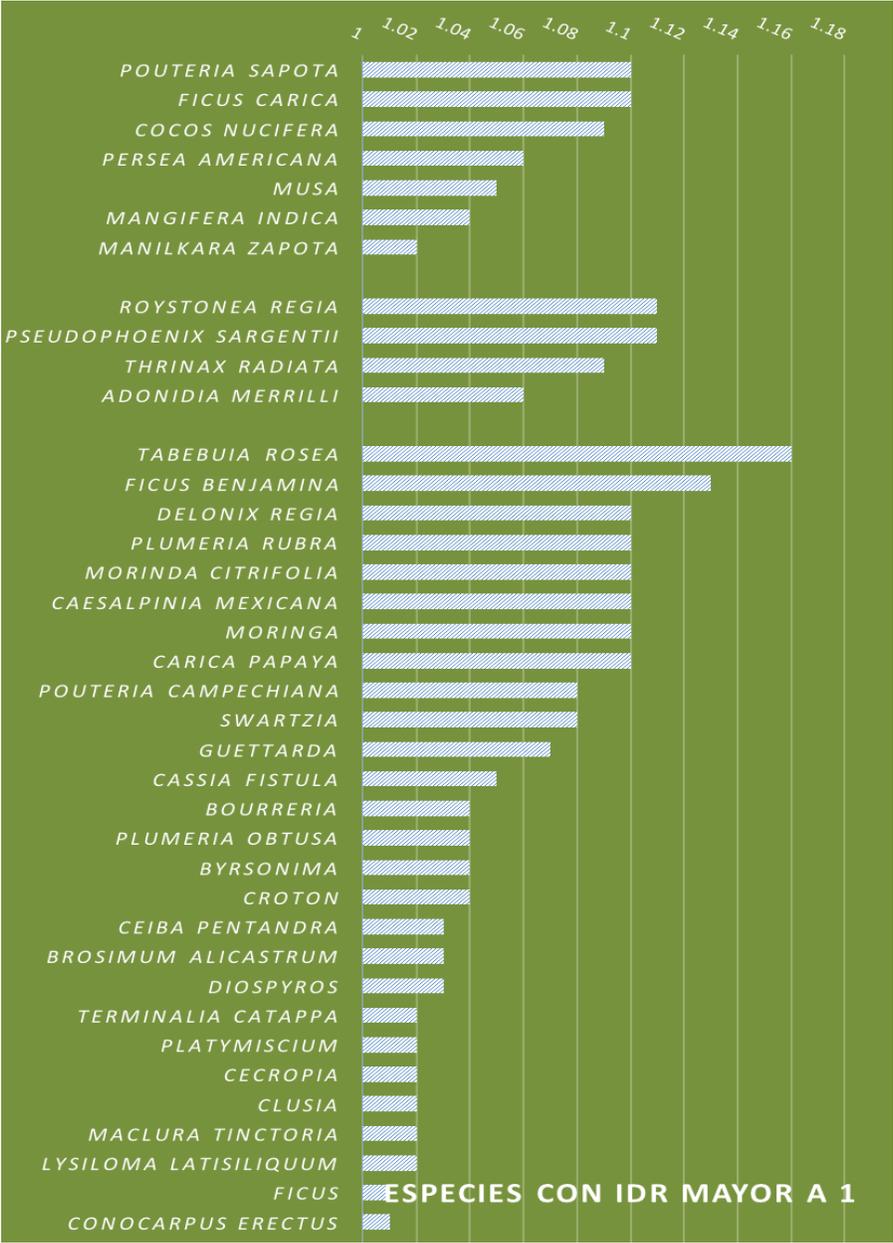


Figura 11 IDR de las especies del inventario mayor a uno.

Otros índices de biodiversidad son los de Shannon y Simpson que se presentan a continuación, así como el número de especies encontradas por estrato y el promedio de especies por hectárea. La biodiversidad es importante porque permite estabilizar a una

población toda vez que si existe riesgo de una catástrofe o plaga contra una especie entre más predominante sea esta más afecta a toda la población. Por ejemplo, el porcentaje de la población por la especie de Tzalam se considera muy alto y peligroso ya que si llegara alguna enfermedad o plaga que lo atacara el total de la población se vería fuertemente disminuido.

Estrato	Número de especies	Esp/Ha	Shannon	Simpson	Densidad (arb/ha)
<b>Resumen del área</b>	<b>71</b>	<b>5</b>	<b>3.10</b>	<b>11.70</b>	<b>104</b>
Ejido Sur	49	10	2.80	8.50	109
Playa Norte	45	16	3.20	18.20	85
Ejido Norte	41	11	2.50	6.60	118
Centro	29	24	3.00	15.20	63

*Cuadro 6 Índices de biodiversidad para la población de árboles de Playa del Carmen y densidad/ha.*

## 4. Servicio Ambiental del Arbolado de Playa del Carmen

Conocer el servicio ambiental que nos brindan los árboles es muy importante ya que la manera ideal de guiar trabajos específicos de mejora del arbolado es a través de establecer metas ambientales que naturalmente implican mejora en condiciones de copa, selección de especies y programas de reforestación efectivos. Es decir, el establecer metas en función a cualquier indicador ambiental permite englobar varias estrategias de manejo en un solo resultado y de esta manera orientar y justificar diferentes trabajos y sobretodo es más fácil y significativa la evaluación de los esfuerzos. Por ejemplo, si se plantea aumentar en cierto porcentaje la cantidad de secuestro de carbono al año habrá que incrementar el tamaño de los árboles existentes, sembrar especies eficientes y la evaluación se puede hacer en parcelas permanentes donde se mida el crecimiento de los árboles y se convierta esta información a servicio ambiental con la herramienta i-tree.

### 4.1 Fijación de CO<sub>2</sub>

La fijación de CO<sub>2</sub> tiene dos componentes; el primero se refiere a la cantidad de Carbono ya fijo en madera al momento de realizar el inventario y segundo a la capacidad que tienen los árboles para secuestrar CO<sub>2</sub> durante un periodo, que normalmente es de un año. El primer valor se determina por la cantidad de madera y es directamente proporcional al tamaño del árbol y, muy importante, está en función a la especie por la influencia que tiene esta sobre la densidad de la madera. Este indicador se utiliza también para calcular el valor estructural del arbolado ya que entre más madera exista más valor tiene el arbolado.

Por otro lado, la capacidad de secuestro de carbono anual depende a su vez del follaje, y por supuesto del tipo de hoja, que a su vez depende de la especie. No es lo mismo una hoja de un Ficus comparada con la hoja de un Tzalam, por tamaño, grosor y eventualmente por cantidad expresada en biomasa o área foliar, ambos parámetros que podemos obtener con el i-tree, como se puede ver en el siguiente cuadro.

Estrato	Área Foliar (ha)	Área Foliar (%)	Densidad de A.F. (m <sup>2</sup> /ha)
Centro	326	7.3 %	7,982
Playa Norte	805	18.0 %	7,465
Ejido Sur	1,447	32.4 %	7,433
Ejido Norte	1,462	32.7 %	7,916
<b>Área total</b>	<b>4,466</b>	<b>100.0 %</b>	<b>7,932</b>

En este cuadro vemos claramente que el área foliar aumenta con la cantidad de árboles y área de cada estrato. Sin embargo, en el centro se ve que la densidad de área foliar es la más alta y que su área foliar es proporcionalmente mayor que en los demás considerando su área, y esto es por el tamaño de los árboles en este estrato.

Cuadro 7 Área foliar por estrato para Playa del Carmen.

En la siguiente figura se muestran los dos conceptos relacionados con carbono por un lado (izquierdo) el que se refiere al carbono almacenado cuyo total en este momento para el arbolado es de **50,260** toneladas. Las barras indican la cantidad que existe por especie y al fondo se observa cómo se va acumulando esta cantidad. Es notable ver como con las primeras 3 especies prácticamente ya se tiene acumulado el 50% del total y como con 10 especies se alcanza el 80%.

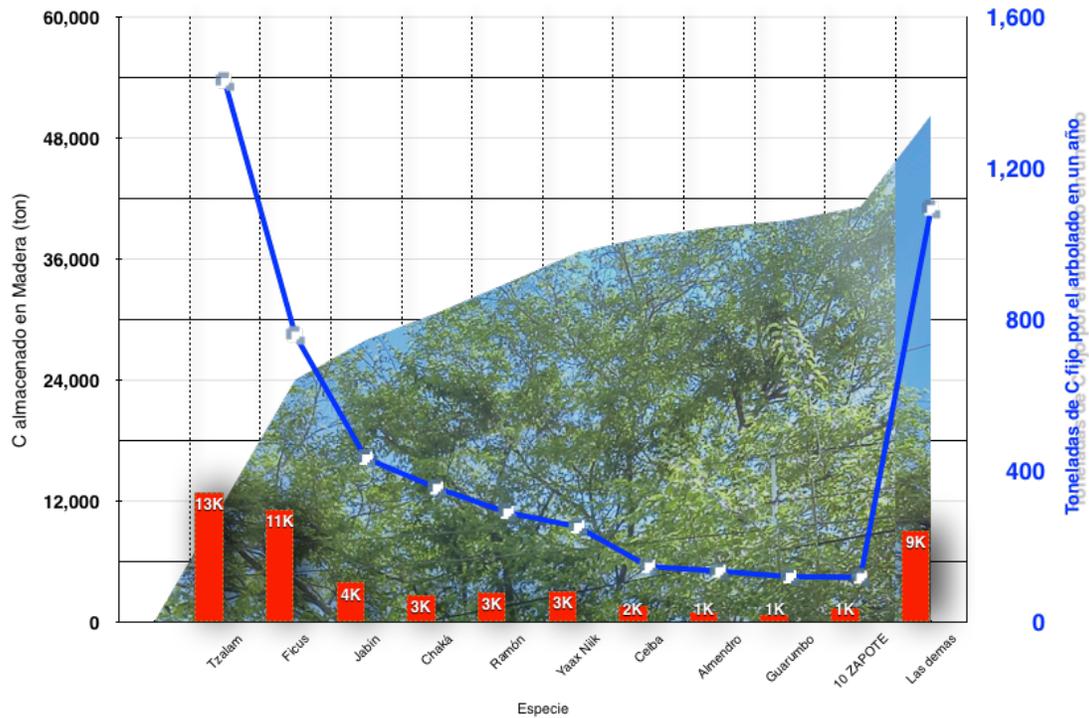


Figura 12 Servicio Ambiental de las principales especies de Playa del Carmen.

Por el otro, con la línea azul se muestra la capacidad de secuestro por especie donde claramente se ve que la especie más numerosa, el Tzalam, es la que más fija y también como el ficus a pesar de la tercera en números fija el doble que el Chaka a pesar de tener 15% menos de individuos que el Chaka. Lo anterior refuerza la importancia de un follaje abundante y eficiente en la fijación de carbono. Otra especie que vale la pena mencionar es el Zapote ya que con un 1% de la población fija una tercera parte del Chaka con 10%, es decir es una especie muy eficiente.

Estrato	Densidad Bruta de secuestro de C (kg/año/ha)	Equivalente en CO <sub>2</sub> (kg/año/ha)
Centro	637	2,336
Playa Norte	678	2,486
Ejido Sur	805	2,952
Ejido Norte	1,100	4,033
<b>Área total</b>	<b>890.00</b>	<b>3,263.63</b>

Cuadro 8 Densidad bruta/ha de secuestro de C y su equivalencia en CO<sub>2</sub>.

Es importante mencionar un punto para evitar confusiones, cuando se habla de Carbono se habla del átomo de carbono que tiene un peso atómico de 12, mientras que cuando se habla de CO<sub>2</sub> se habla de una molécula que pesa 44 (por los 2 oxígenos de 16) y por eso se presenta el siguiente cuadro que indica la equivalencia entre las dos formas.

a) Zona Centro

En esta zona tenemos una gran cantidad de carbono almacenado en virtud de los árboles grandes que se encuentran en ella. Un aspecto importante de reconocer el valor ambiental en los árboles es transmitirlos a los beneficiarios o público en general para que valoren adecuadamente y por otro lado para que se cuiden proporcionalmente.

Especies	# Árboles	C fijo (t)	C secuestrado (t/año)
Plátano	4,759	28.5	0.7
Coco	3,661	58.1	1.2
Ficus	2,196	2,272.8	26.2
Jabín	1,464	282.4	24.0
Annona reticulata	1,098	148.6	10.9
<b>Total estrato</b>	<b>25,624</b>	<b>6,613.7</b>	<b>260.5</b>

Cuadro 9 Servicio Ambiental por C en la zona Centro de Playa del Carmen.

b) Zona Playa Norte

En este estrato con 4 veces más árboles se secuestra apenas 3 veces más C mientras que en términos de madera apenas se tiene un 16% más de madera, otra vez por el efecto de los árboles grandes. Además, a que el mangle no es una especie muy portentosa ni de madera pesada.

Especies	# Árboles	C fijo (t)	C secuestrado (t/año)
Mangle	12,149	653.0	77.5
Jabín	10,934	1,546.1	142.0
Chaká	6,884	823.2	88.3
Palma Real	5,669	132.6	4.0
Chit	5,669	29.3	1.1
<b>Total</b>	<b>91,925</b>	<b>7,904.0</b>	<b>730.9</b>

Cuadro 10 Servicio ambiental por C en la zona Playa Norte de Playa del Carmen.

c) Zona ejidos Norte y Sur

Estos estratos se presentan juntos ya que tienen las mismas características y especies:

Especies	# Árboles	C fijo (t)	C secuestrado (t/año)
Tzalam	135,770	12,430.0	1,394.3
Chaká	50,916	1,818.8	263.6
Ficus	42,831	8,113.9	659.2
Jabín	15,264	669.4	115.7
Ramón	22,914	1,142.8	152.1
<b>Total</b>	<b>428,740</b>	<b>31,267.3</b>	<b>3,598.1</b>

Cuadro 11 Servicio ambiental por C en las zonas de los ejidos en Playa

## 4.2 Fijación Neta de Carbono.

Los árboles como todo ser vivo respiran y liberan CO<sub>2</sub>, afortunadamente liberan mucho menos de lo que alcanzan a fijar en las cadenas de lignina de la madera, pero si liberan una cantidad que se tiene que contabilizar. En el siguiente cuadro vemos el secuestro neto de C, y con respecto al valor reportado anteriormente la disminución es de solo 7% en promedio, con variaciones entre especies. Además, no solo regresan carbono a la atmosfera, sino que liberan lo que se denomina compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en ingles). En la siguiente figura se ve la cantidad liberada por las principales especies:

Especie	Secuestro Neto de C (t/año)	Equivalente en CO <sub>2</sub> (t/año)	Reducción sobre el bruto
Tzalam	1,388.9	5,093.0	3%
Ficus	686.6	2,517.6	9%
Jabín	400.2	1,467.3	8%
Chaká	341.3	1,251.4	4%
Ramón	282.3	1,035.1	3%
Yaax Niik	205.6	753.9	18%
Ceiba	141.8	520.0	4%
Almendro	126.4	463.4	7%
Guarumbo	117.8	432.0	2%
ZAPOTE	106.6	391.0	11%

Cuadro 12 Secuestro neto de C por especie y su disminución en

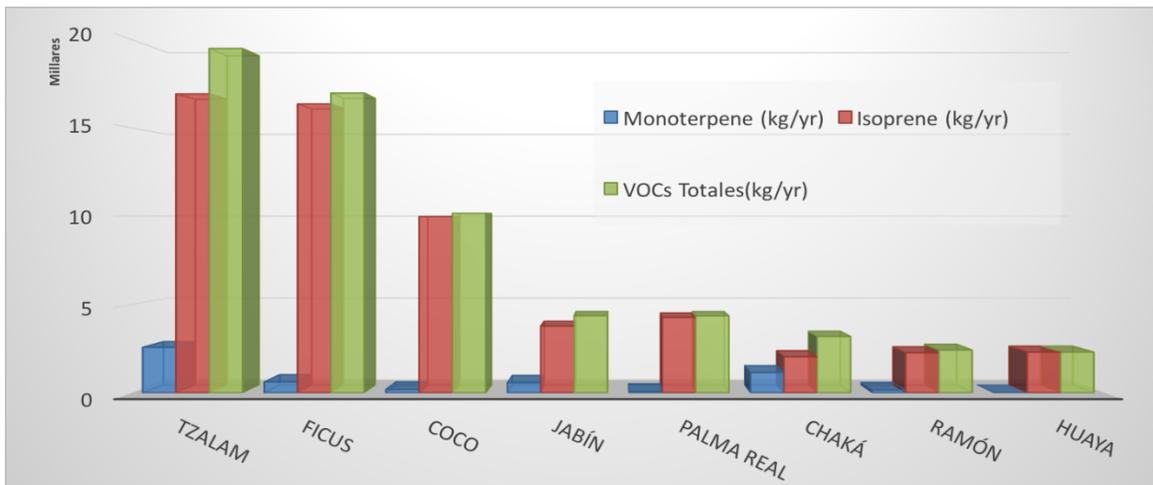


Figura 13 Compuestos Orgánicos Volátiles liberados por las principales especies de árboles en Playa del Carmen.

Sin embargo, esto no tiene efecto sobre las discusiones antes realizadas ya que los cambios no afectan el comportamiento descrito. Por otro lado, a nivel estrato la disminución entre C bruto y neto es menor dentro de los estratos donde fue de solo un

Estrato	Secuestro de carbono Neto (t/año)	CO <sub>2</sub> Equivalente (t/año)
Centro	213.6	783.4
Playa Norte	623.8	2,287.6
Ejido Sur	1,528.5	5,605.0
Ejido Norte	1,945.3	7,133.3
<b>Suma</b>	<b>4,311.2</b>	<b>15,809.3</b>

6.4% con respecto al total de **4,589** t/año de la suma de los totales por estrato del inciso anterior. Se incluye el equivalente en CO<sub>2</sub> para efecto de comparación por si es necesario y para ilustrar nuevamente el punto comentado sobre el uso de C fijo como indicador o de CO<sub>2</sub>.

Cuadro 13 C neto secuestrado por estrato.

## 4.2 Incremento en infiltración

El incremento en infiltración que logran los árboles es por dos efectos. El primero más intuitivo es por los canales o perforaciones que en el suelo hacen las raíces que aceleran la infiltración al substrato. El segundo es por el efecto de desaceleración de las hojas a las gotas de lluvia que permite que caigan más despacio y menos intenso que a su vez, permite su absorción por el suelo al mismo tiempo que reduce la erosión por el golpe. Este servicio es totalmente dependiente del tipo de arbolado, especie y sus características de raíces. La siguiente figura muestra los datos para cada especie y al centro de la gráfica tenemos dos fenómenos interesantes, primero el coco con una población de solo el 20% del Chaka permite la misma infiltración que el Chaka, y esto gracias a las características de sus raíces superficiales y su amplia copa en forma de círculo. También se ratifica la tesis de que los árboles con más follaje son los que tienen mejores servicios ambientales como los Ficus, aunque los problemas que genera son de otra índole, o el Yaax Niik que muestra ser bastante eficiente ya que con solo 4% de la población total permite más infiltración que el Chaka con el 8% o el doble de individuos en su población.

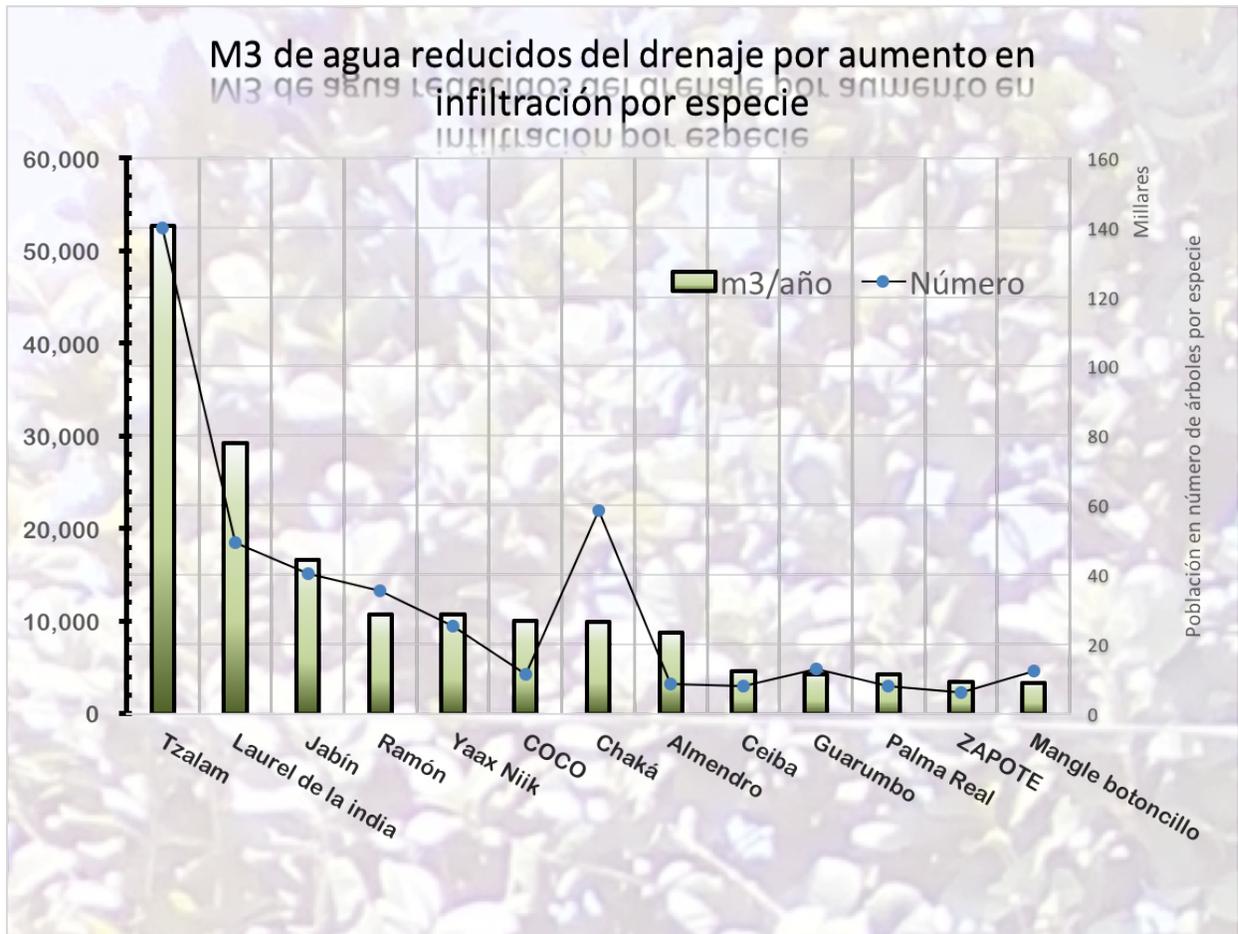


Figura 14 Metros cúbicos de agua que se reducen de los escurrimientos por el aumento en infiltración por especie en Playa del Carmen.

### a) Reducción de escorrentía por estrato.

El análisis del aumento de infiltración o reducción de escurrimientos de agua por causa de los arboles por zona se muestra en el siguiente cuadro.

Especie	Centro*	Playa	EJ N + S	SUMA
<b>Estrato</b>	<b>15,217</b>	<b>37,517</b>	<b>135,610</b>	<b>188,344</b>
1 Tzalam		3,492	51,241	54,733
6 Yaax Niik	1,292	3,325	22,153	26,770
3 Ficus	289	5,621	7,762	13,672
4 Jabín	3,169	240	6,440	9,850
2 Chaká		2,854	4,783	7,637
15 Akits		70	6,784	6,854
5 Ramón		1,231	3,138	4,369
10 Waxim	50	2,526	1,092	3,669
8 Guarumbo		2,003	1,455	3,458
11 Coco	80	2,249	255	2,584
14 Balché	107	240	2,034	2,381
12 Kerpis	80	1,054	517	1,651
7 K'anašín		24	1,533	1,557

El cuadro muestra las especies más importantes (por número) con las cuales prácticamente se alcanza el 90% del aumento en infiltración de agua. En este cuadro no se incluye a Playacar, y como se puede ver en las zonas con más arbolado la disminución de escorrentía es mayor. En este caso las cifras son más proporcionales a las superficies y poblaciones de los estratos. Es interesante ver que el

Cuadro 14 Metros<sup>3</sup> de agua reducidos de escurrir por efecto de los árboles.

Coco y otras palmas tiene valores altos de reducción de escorrentía

que concuerda con lo mencionado anteriormente que las palmas son eficientes en este tema por su tipo de raíces más superficiales y formas de copa. Por otro lado, las relaciones hídricas de los árboles en cuanto a su uso de agua se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 15 Relaciones Hídricas de los árboles por estrato en Playa del Carmen en metros<sup>3</sup>/año.

La transpiración es la cantidad de agua que se mueve a través de la planta y se libera en la atmosfera, mientras que la evaporación de los árboles es la cantidad de agua liberada a la atmosfera desde la superficie

ESTRATO	Evaporacion	Transpiracion
Centro	90,021	295,199
Playa Norte	221,945	727,812
Ejido Sur	398,945	1,308,236
Ejido Norte	403,294	1,322,498
<b>Totales</b>	<b>1,114,205</b>	<b>3,653,745</b>

de la planta (hojas y tallo). Estos valores dependen de lo exuberante del follaje en el canope y en este momento sirven como base para futuras comparaciones que se puedan realizar. Cabe mencionar que entre mayor sea el valor el arbolado estará en condiciones de proveer una mejor sensación de frescura y humedad.

### 4.3 Producción de oxígeno

Otro servicio ambiental importante es la liberación de oxígeno por causa de la fotosíntesis que es un servicio complementario y aditivo a la fijación de CO<sub>2</sub>. Este parámetro se comporta directamente proporcional a la cantidad de árboles que existen en cada estrato como se ve en el siguiente cuadro.

Sin embargo, la capacidad de producción de oxígeno si varía dependiendo del tipo de árboles que hay en cada estrato. Por eso en el centro con una superficie de tan solo 409

Estrato	Producción O2 (t)	Capacidad (kg/año/ha)
Centro	569.7	1,393.1
Playa Norte	1,663.6	1,543.2
Ejido Sur	4,076.0	2,094.5
Ejido Norte	5,187.4	2,808.3
<b>Suma</b>	<b>11,496.7</b>	<b>7,839.1</b>

ha se produce prácticamente lo mismo que en Playa norte con 2.6 más superficie y 4 veces más árboles. Una vez más el tamaño y madurez de los árboles es muy importante para proporcionar un mejor y mayor servicio ambiental.

Cuadro 16 Producción de oxígeno por estrato.

#### 4.4 Remoción de Contaminantes

La remoción de contaminantes se calculó en base a la estación de medición de contaminantes más cercana que es la de la ciudad de Mérida. Por consiguiente, hay que tener las consideraciones que vienen al caso, el origen de los contaminantes al igual que en Mérida provienen principalmente de automóviles por lo que se puede esperar un comportamiento similar.

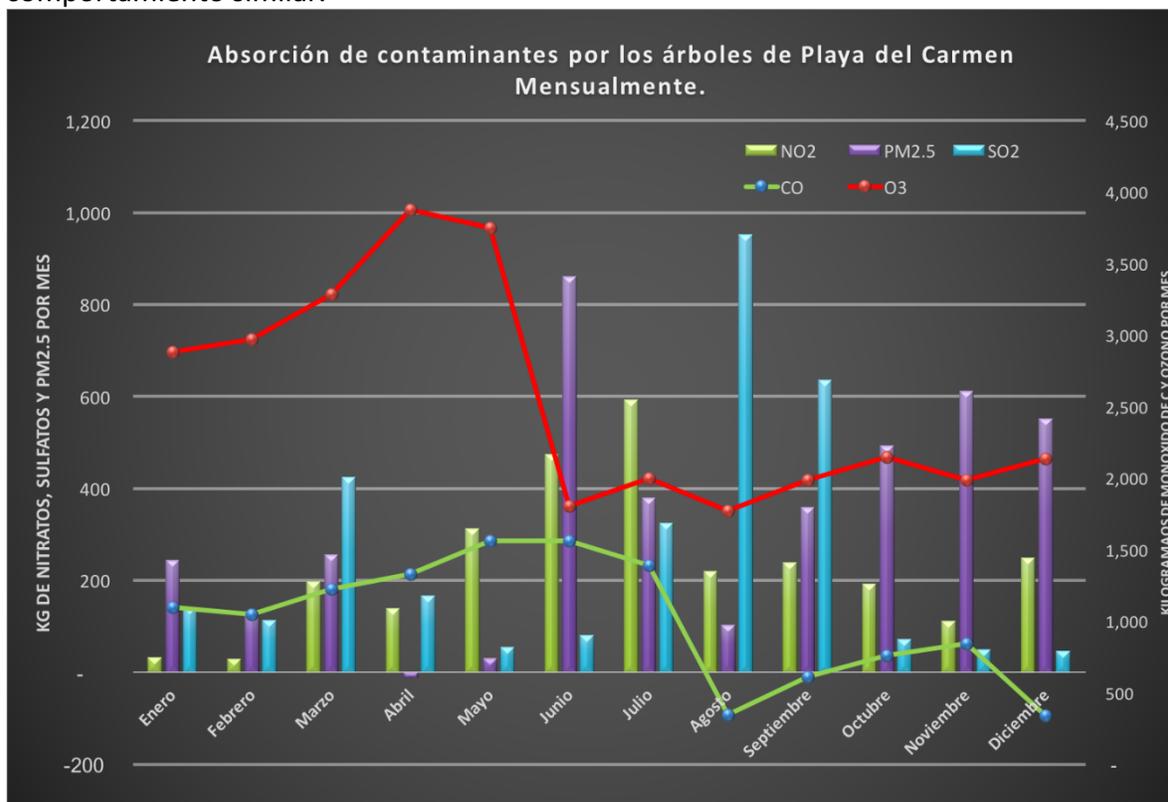


Figura 15 Remoción de contaminantes por mes en kilogramos.

## 5. Interpretación de resultados

Toda la información de los capítulos anteriores básicamente es de tipo descriptivo y pretende dar una idea de las condiciones del arbolado para que en base a esto se emitan recomendaciones y se tomen decisiones de acciones a realizar con conocimiento de causa. Vale la pena mencionar que el i-Tree genera 120 reportes con varios tipos de información, pero que en el caso de Playa del Carmen no se pudo utilizar todos ya que un requisito para ciertos reportes es contar con datos de contaminantes en la ciudad y por el momento no se cuenta con una estación de monitoreo ambiental. Incluso la información de escorrentía se obtuvo con datos de Cozumel, ya que no se cuentan con datos de Playa del Carmen. La siguiente figura resume mucha de la información mencionada y da una idea de las diferencias geográficas entre estratos.

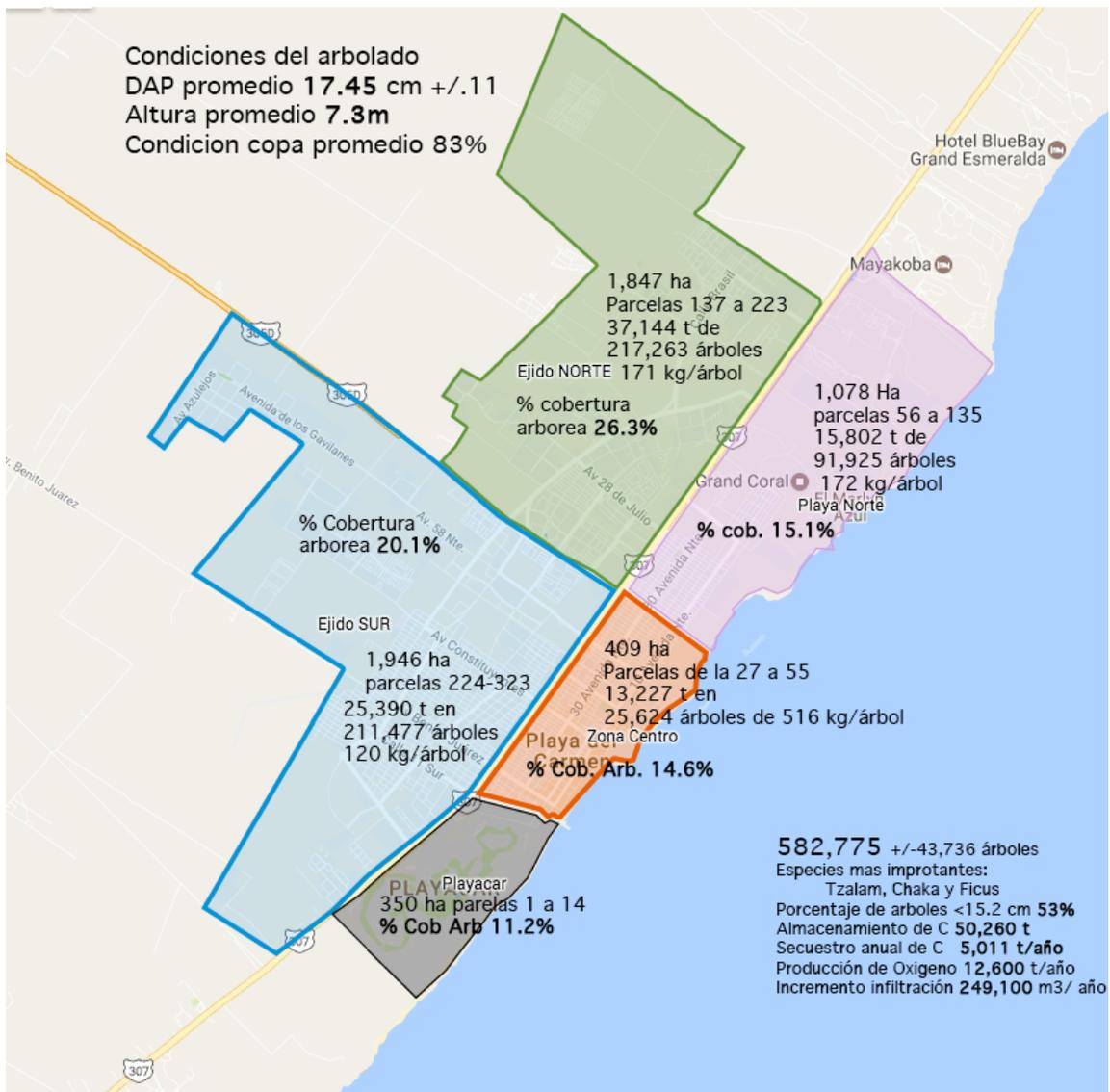


Figura 16 Resumen geográfico de características del arbolado de Playa del Carmen.

## 5.1 Arbolado

En términos generales, y revisando el siguiente cuadro donde podemos ver el comparativo de Playa del Carmen contra 11 ciudades, Mérida en México y 10 en el extranjero, tenemos que hay condiciones favorables. Por ejemplo, el porcentaje de cobertura esta en promedio, en cuanto a carbono secuestrado por año tampoco esta tan mal, se encuentra arriba de Edimburgo y para ser una ciudad con 8 veces menos habitantes que Barcelona prácticamente fija lo mismo cada año. En términos de cantidad no se puede decir que es una ciudad arbolada como Toronto o Milwaukee, pero tampoco que carece de ellos.

CIUDAD	% cobertura	Poblacion	C almacenado	Carbono secuestrado /año
	arboles	de arboles	(toneladas)	(toneladas/año)
London, UK	14.0	8,421,000	2,367,000	77,200
New York, US	21.0	5,212,000	1,226,000	38,400
Toronto, Canada	20.0	10,200,000	1,100,100	46,700
Barcelona, Spain	25.2	1,419,823	113,437	5,422
Mérida, Yuc. MX	21.2	2,318,000	182,100	16,640
El Paso, TX	5.1	1,281,000	92,800	7,430
Washington, US	28.6	1,928,000	474,000	14,600
Boston, US	22.3	1,183,000	289,000	9,500
Milwaukee, WI	21.6	3,377,000	434,000	15,500
Edinburgh, UK	17.0	638,000	145,611	4,721
Playa del Carmen Q.Roo MX	20.2	582,775	50,260	5,011
Providence, RI	23.9	415,000	124,000	4,030

Cuadro 17 Comparativo con otras ciudades de características del arbolado de Playa de Carmen.

Claro que en esta comparación el clima es muy importante y el tipo de clima de Playa del Carmen no es uno que favorezca arboles grandes, lo que se demuestra en el diámetro promedio y altura de árboles que indica que son chicos, y revisando las especies vemos que muchas son de tipo pionero. También es de observar que las demás ciudades tienen porcentajes de cobertura y poblaciones muy interesantes. La ciudad de El Paso, TX salta a la vista por su bajo nivel de cobertura, pero su alta población de árboles, pero esto se debe a su clima donde los árboles están adaptados al desierto y son chicos con hojas muy pequeñas.

Una comparación más interesante es la que se puede hacer con estas cifras poniéndolas en perspectiva con la población de la ciudad y a su área metropolitana o superficie. En ese sentido el cuadro 18 indica en cuadros rojos los valores arriba del promedio para las 12 ciudades después de dividir las cantidades brutas de árboles entre el número de habitantes y las hectáreas de la ciudad. En este sentido el arbolado de Playa del Carmen

está por debajo del promedio, es decir los árboles son más chicos que el promedio, incluso prácticamente de la mitad del tamaño expresado en kg de biomasa.

CIUDAD	Cantidad de arboles por		Tamaño de	Capacidad de
	Hectárea	Habitante	arboles (kg)	Fijación/ha/año
London, UK	53.6	1.0	281.1	491.1
New York, US	66.1	0.6	235.2	486.7
Toronto, Canadá	161.9	3.9	107.9	741.3
Barcelona, Spain	139.2	0.9	79.9	531.6
MÉRIDA, Yuc. MX	96.0	2.7	78.6	693.3
El Paso, TX	31.3	2.0	72.4	181.3
Washington, US	108.9	3.0	245.9	824.9
Boston, US	51.0	1.9	244.3	409.5
Milwaukee, WI	135.6	5.7	128.5	622.5
Edinburgh, UK	55.6	1.3	228.2	411.7
Playa del Carmen Q.Roo MX	103.5	3.0	86.2	890.1
Providence, RI	77.8	2.3	298.8	755.4
PROMEDIO	90.0	2.3	173.9	586.6

Cuadro 18 Comparativo relativo con otras ciudades en función a su superficie población.

Sin embargo, en los otros indicadores se encuentra arriba del promedio e incluso en la capacidad de fijación es el más alto. Pero hay que recordar que es la capacidad de fijación por hectárea al año la que se está comparando, y en ese sentido la superficie de Playa del Carmen con respecto a las otras ciudades es muy inferior.

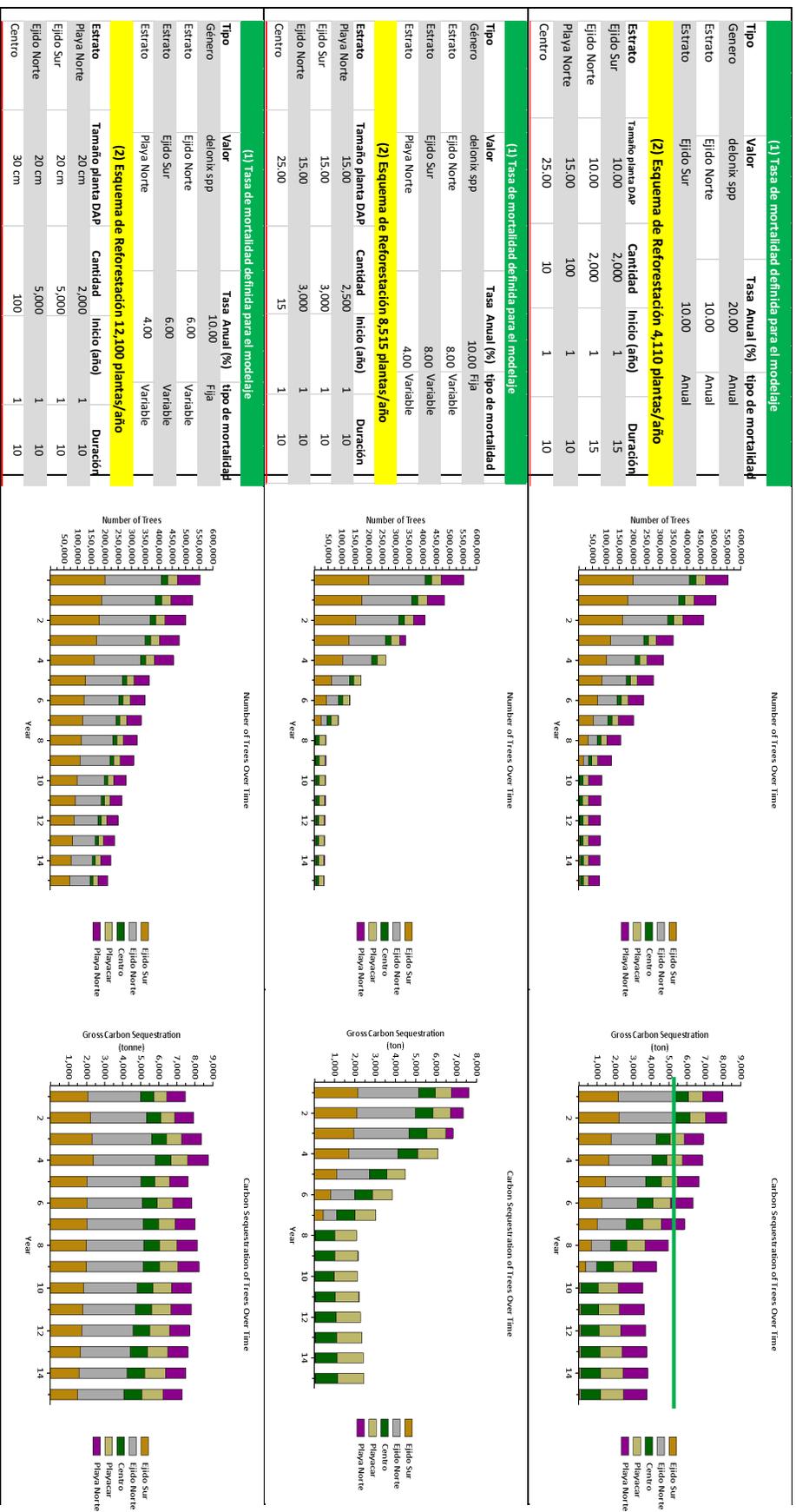
Puede entonces decirse que Playa del Carmen goza con un arbolado en población competitivo, es decir existen suficientes individuos para lograr una cobertura y servicios ambientales mejores, sin embargo, estos son pequeños y están mal distribuidos ya que un gran porcentaje está en la zona de los ejidos. Y es por esto que también se puede decir que la población está en una posición de riesgo ya que es en esta zona donde se están dando los crecimientos poblacionales con desarrollos habitacionales con un sistema de construcción que arrasa con todo y no dejan vestigios, ni siquiera arboles seleccionados por tamaño que pudieran incorporar al diseño de las casas habitación.

## 5.2 Servicio Ambiental

En cuanto al servicio ambiental que se tiene actualmente por el arbolado se puede comentar que es proporcional al tamaño y situación del arbolado. Es decir, las cantidades de C fijo y secuestrado, el aumento del drenaje de aguas pluviales y fijación de contaminantes, así como la producción de O<sub>2</sub> son consecuentes con el arbolado joven y disperso y es de acuerdo al tamaño de los árboles. Es por esto que es muy importante considerar manejo para la mejora de los canopes y buscar el óptimo crecimiento de los arboles medianos, para maximizar el servicio ambiental.

### 5.3 Pronósticos

El i-Tree tiene dentro de sus funciones la de poder llevar a cabo proyección de escenarios en función a 3 variables que permite ver el comportamiento de la población a largo plazo y el de sus servicios ambientales.



Cuadro 19 Población y capacidad de secuestro de carbono proyectado para 3 escenarios de tasa de mortalidad y reforestación durante 15 años en Playa del Carmen.

Las 3 variables que se pueden ajustar son: (1) la mortalidad de los árboles, que puede ser por estrato, género o por condiciones de los árboles y se puede también usar como porcentaje de deforestación por crecimiento urbano, (2) la segunda variable que se puede modificar es la reforestación<sup>3</sup> y (3) la tercera se pueden proyectar eventos catastróficos de tipo climático o de plagas donde se estima el porcentaje de mortalidad. En el cuadro anterior, se muestran 3 posibles escenarios con diferentes tasas de mortalidad, reforestación y con dos eventos climáticos extremos. Los escenarios se proyectaron a 15 años con condiciones naturales de mortandad de 3% para arboles sanos, 15% para enfermos y del 50% para arboles catalogados como muriendo por su condición de copa. Los eventos climáticos extremos que se consideraron fueron los siguientes con esas tasas de mortalidad que son relativamente comunes y/o posibles en Playa del Carmen:

### (3) EVENTO CLIMATICO EXTREMO

Tipo	En el año:	Tasa de mortalidad
Huracán Clase 3	5	15%
Depresión Tropical	10	5%

En el escenario 1 el evento climático se pronosticó para el año 3 el huracán y 8 la depresión tropical con los mismos porcentajes de mortalidad.

Vale la pena mencionar que se pueden correr los escenarios que se desee, la forma de hacerlo es muy sencilla, lo más importante es determinar las condiciones que se quieren probar. La herramienta no solo muestra los resultados solo en la población o secuestro sino en % de cobertura, crecimiento del DAP, área basal, índice de área foliar y biomasa en cuanto a parámetros dasométricos se refiere. En cuanto a servicios ambientales se puede proyectar fijación de CO<sub>2</sub> y la remoción de todos los contaminantes.

Los 3 escenarios que se presentan básicamente varían en dos factores, primero el nivel de mortalidad o deforestación y segundo en la cantidad y calidad del programa de reforestación. El primer escenario tiene la reforestación extrema pero sólo en las zonas de ejidos y una reforestación muy incipiente, de hecho, aproximadamente de la mitad de lo que se hace actualmente. El segundo escenario contempla aproximadamente lo que se está haciendo actualmente y una deforestación más moderada en los ejidos y playa norte. Finalmente, el tercer escenario es el de mejor programa de reforestación con 12,100 árboles y de mayor tamaño a lo normal de diámetros de 20 y 30 cm respectivamente para todas las zonas y los grandes para el centro.

El objetivo es mostrar la importancia de reducir los niveles de mortalidad o deforestación y contrarrestar con buenos programas de reforestación (McPhearson,2014). De hecho, en todos los escenarios la población disminuyo considerablemente, incluso llegando a desaparecer de algunas zonas, no así donde se redujo la mortalidad y se plantaron más árboles (escenario 3). Por otro lado, el secuestro de carbono no sufrió tanto como la población ya que al seguir

<sup>3</sup> A través de definir cantidad de planta, tamaño de planta y duración del periodo de reforestación

creciendo los árboles estos fijan más ya que esto no es lineal, es decir, al aumentar el volumen la capacidad aumenta exponencialmente por eso no disminuye tanto como la población. Sin embargo, la única manera de crecer la capacidad de secuestro fue en el escenario 3 donde con la menor deforestación y el mejor programa de reforestación se logra al final de los 15 años aumentar 50% la capacidad inicial de 5,000 t/año. Es importante mencionar que la disminución de capacidad en el 5º año se debe al efecto del huracán.

#### 5.4 Metas potenciales para establecer.

Como se mencionó anteriormente, el establecimiento de metas en función a servicios ambientales o a factores que indirectamente midan el desempeño de los árboles es la manera más eficiente y trascendente de evaluar al arbolado. Las cantidades o montos a incluir en las metas deben de considerarse en función al presupuesto posible para el programa de mejora, que forma parte de un *Plan maestro de manejo de arbolado* cuya finalidad es que en base al presente inventario defina acciones concretas para llegar a las metas propuestas.

Basado en la información del inventario, las condiciones de Playa del Carmen en cuanto a crecimiento y necesidades, a continuación, se listan algunas metas que se pueden establecer que son factibles, alcanzables y con un presupuesto razonable como:

-  Mantener el porcentaje de cobertura arbórea en 20%.
-  Incrementar la diversidad de especies.
-  Aumentar en 10%/anual la capacidad de secuestro de CO<sub>2</sub> del arbolado.

Se pueden ir construyendo metas específicas por estrato en función a las características de cada uno e incluir especificaciones en cuanto a manejo o mantenimiento de especies concretas. Todo lo anterior va a depender de la visión que se tenga, de hacia donde se quiere llegar con el arbolado y de los recursos con que se cuente, o en su defecto se pueden sentar las bases para elaborar un presupuesto a mediano plazo de lo necesario en equipamiento, capacitación y en personal y gastos de operación (vehículos, gasolina, etc.) para lograr las metas. La elaboración de un presupuesto también debe formar parte de un plan maestro para el arbolado que se considera es la siguiente fase posterior al inventario.

## 5.5 Recomendaciones

Las recomendaciones al igual que las metas se deben establecer en función a la visión que se tenga y a la dirección que se le quiera dar al arbolado. Se pueden enumerar algunas generales que se desprenden de la información. Pero se tiene que analizar estrato por estrato para emitir las específicas para cada uno que acompañe a las acciones que se van a realizar.

### 5.5.1 Lineamiento General

Con la información presentada quedo establecido que hay dos grandes necesidades del arbolado de Playa del Carmen, primero que tiene que desarrollarse y contar con más individuos de mayor tamaño que provean de mayor servicio ambiental. En segundo lugar, por la fragilidad de la población a eventos catastróficos y al acelerado crecimiento de la mancha urbana hay que buscar mantener a la población de árboles al menos en la cantidad per cápita que se tiene actualmente y esto requiere de renovar efectivamente, recuperar los que sea posible y cuidar los existentes. Con estos dos conceptos en mente se presentan las siguientes recomendaciones generales.

#### 1. Regular el retiro de arbolado en nuevas construcciones.

-  Establecer una norma para que las nuevas viviendas tengan zonas arboladas que favorezcan la infiltración y arbolado para sombra, procurando dejar en obra árboles de más de 25 cm de DAP en la medida de lo posible
-  Establecer un programa de rescate de árboles con DAP entre 10-20 cm para replantar en zonas sin árboles del trazo de nuevas calles, avenidas o conjuntos habitacionales.
-  Identificar áreas bajas de acumulación de agua para instalar jardineras o clusters de palmas que tienen un efecto significativo sobre el aumento de infiltración.

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

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

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

-  Establecer una norma de calidad de planta para reforestación en términos de calidad de raíz, porte, diámetro y altura para sitios específicos.
-  Seleccionar y definir la metodología para el trasplante de árboles grandes según el sitio a donde se vaya a trasplantar.

- ✦ Establecer criterios de selección de especies para aumentar la biodiversidad y estudiar la promoción de frutales como opción para el público en general.

### 5.5.2 Para el seguimiento y mejora constante

Con la finalidad de establecer los avances a los trabajos se pueden llevar a cabo dos acciones de seguimiento. La primera es el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo que no son más que sitios, seleccionados de las parcelas del inventario que cuenten con las especies más significativas en condiciones promedio para realizar medidas 2 a 3 veces por año para detectar cambios en crecimiento, presencia de plagas, anomalías u otras cosas afectando el arbolado. Y, por otro lado, es necesario establecer la actualización de todo el inventario, es decir rehacerlo con una frecuencia, para el caso de Playa del Carmen de al menos 5-8 años para ver los efectos del manejo del mismo.

### 5.5.3 Para la selección de especies.

Los criterios para la selección de especies tienen que considerar la estructura del arbolado que como vimos es que el 80% de la población está en 16 especies solamente, lo cual como se mencionó no es un precisamente una población muy diversa. Lo anterior a pesar de existir 70 especies listadas y otras más que no tiene el i-tree registradas, pero sucede que hay muy pocos especímenes de estas especies. El otro factor es que sea nativa y en este sentido el i-tree emite un reporte donde indica el origen de las especies:

Estrato	Africa Y Australia	Asia Y Australia	Asia Y Australia +	Europa y Asia	Norte America	Norte y Sud America	Norte y Sud America +	Sud America	Des conocido
Centro	1.4	21.4	10.0	1.4	12.9	24.3		2.9	25.7
Playa Norte		8.4	6.6	2.7	26.1	29.6	13.7		12.8
Ejido Sur	0.4	2.9	10.0	4.3	14.7	50.8		0.2	16.7
Ejido Norte	0.5	2.9	12.4	5.0	15.2	57.2		0.5	6.4
<b>Promedio General</b>	<b>0.4</b>	<b>4.5</b>	<b>9.9</b>	<b>4.2</b>	<b>18.7</b>	<b>47.4</b>	<b>2.2</b>	<b>0.7</b>	<b>12.0</b>

Cuadro 20 Reporte del i-tree sobre el origen de las especies en el inventario.

De acuerdo a este reporte el 69% es nativa de la región norte, sud y otra en el área que se puede decir son de la zona climática de Playa del Carmen. En otras palabras, apenas un 30% son exóticas o introducidas de otro continente, lo cual no es una cifra preocupante, aunque si hay que tenerla en consideración.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente la biodiversidad de especies en Playa del Carmen es relativa, y esto se puede comprobar en la siguiente figura

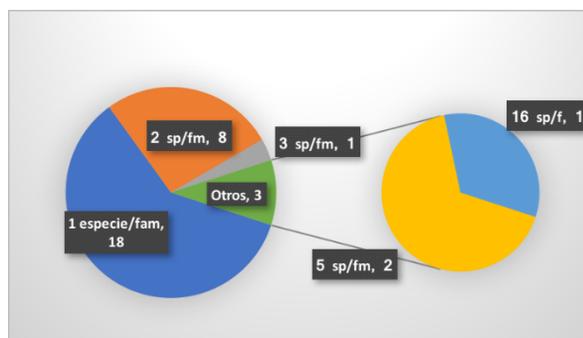


Figura 17 Cantidad de especies que hay en una familia y familias con ese número de especies en las especies presentes del inventario

donde se muestra el número de familias y cuantas especies tienen. Es decir, separando a las palmas para otro análisis, en el caso de árboles hay 30 familias que engloban a las 63 especies de árboles y dentro de estas una familia, las Fabaceae, engloban a 16 especies y otras dos

Familia	Porcentaje
Fabaceae	40.90%
Moraceae	15.23%
Burseraceae	10.01%
Arecaceae	7.07%
Lamiaceae	4.30%
Combretaceae	3.54%

Cuadro 21 Familias que representan más del 80% de la población.

familias, las Sapotaceae y Moraceae, engloban 5 especies cada una de tal manera que entre las 3 familias representan al 41% de la población de árboles. Esto es importante considerarlo al momento de selección ya que como Santamour F.<sup>4</sup> Indico en su propuesta de 1990, la regla 30/20/10 es una buena directriz para la selección de especies donde no se debe pasar del 30% de los individuos de la población que pertenezcan a una familia, 20% a un género y 10% de una especie. En el caso de Playa del Carmen solamente el Tzalam representa al

24%, pero con los demás miembros de la familia, que son otras 15 especies, ya juntos conforman el 41% de la población como se ve en el cuadro 5. Esta familia de hecho es la única que por la regla anterior hay que evitar sembrar al máximo. En el cuadro 22 los miembros de la familia están identificados con un (F).

En este mismo cuadro se presentan lineamientos generales para selección de especies basados en:

-  La regla 30/20/10, donde todos los miembros de la familia Fabaceae se indican con color rojo indicativo de no muy recomendado.
-  El hecho de ser una especie exótica o introducida en rojo tampoco se recomienda, puede ser la celda o el nombre de la especie.
-  El i-tree en una de sus secciones (*i-tree species*) tiene algoritmos para recomendar especies con características específicas para fijación de contaminantes y resistencia a los mismos además que se puede filtrar por altura. En el cuadro 22 los cuadros amarillos indican las especies presentes en Playa del Carmen que también son recomendadas dentro del 30% de las más recomendadas según dos tallas grande (altura hasta 16 m) y media (altura hasta 7 m).

Estos lineamientos son generales basados en la información del inventario y los criterios arriba descritos, pero en la selección intervienen muchos más factores, incluso factores que pueden anular estas consideraciones o lineamientos. La lógica del cuadro es seleccionar las especies más a la izquierda y hacia arriba para favorecer la biodiversidad dándole prioridad a las que recomienda el i-tree species por su eficiencia en fijación de contaminantes y que además también salieron bien evaluadas con el IDR mayor a 1, como el zapote negro, el Ramón, la Ceiba, incluso el Chaka.

<sup>4</sup> <https://www.ces.ncsu.edu/fletcher/programs/nursery/metria/metria07/m79.pdf>

Frecuencia BAJA (< 5 individuos)	Media (entre 5 y 15 individuos)	PALMAS
Diospyros	Cordia alliodora	Roystonea regia
Pithecellobium dulce	Crossopetalum	Sabal mexicana
Sideroxylon	Manilkara zapota	Thrinax radiata
Tabebuia rosea	Caesalpinia	Pseudophoenix sargentii
Pouteria campechiana	Muntingia	Cocos nucifera
Bourreria	Coccoloba diversifolia	Adonidia merrilli
Byrsonima	Maclura tinctoria	Musa
Guettarda	Pimenta dioica	
Nectandra coriacea	Enterolobium cyclocarpum (F)	
Plumeria rubra	Melicoccus bijugatus	
Trema micrantha	Delonix regia (F)	Leyenda para considerar
Carica papaya	ALTA (mas de 15 individuos)	Recomendada por i-tree species talla G
Chrysophyllum		Recomendada por i-tree species talla M
Coccoloba uvifera	Ceiba pentandra	(F) familia Fabaceae No recomendad
Croton	Bursera simaruba	Introducidas (no recomendadas)
Pithecellobium (F)	Brosimum alicastrum	
Cassia fistula (F)	Vitex	
Swartzia (F)	Lonchocarpus (F)	
Platymiscium (F)	Cecropia	
Senna racemosa (F)	Conocarpus erectus	
Caesalpinia mexicana (F)	Clusia	
Plumeria obtusa	Magnoliopsida	
Citrus aurantium	Thevetia	
Simarouba glauca	Lonchocarpus punctatus (F)	
Tabebuia chrysantha	Leucaena leucocephala (F)	
Mangifera indica	Terminalia catappa	
Persea americana	Piscidia piscipula (F)	
Annona reticulata	Lysiloma latisiliquum (F)	
Bauhinia variegata	Ficus	
Ficus benjamina		
Spondias purpurea		
Casuarina equisetifolia		
Ficus carica		
Morinda citrifolia	Otras especies no encontradas	
Moringa	Citrus reticulata	
Pouteria sapota	Cordia sebestena	
Psidium guajava	Crescentia cujete	

Cuadro 22 Lineamientos generales para la selección de especies para sembrar en Playa del Carmen (Trejo-Torres, 2014).

## INDICE DE FIGURAS Y CUADROS

FIGURA 1 ESTRATOS EN LOS QUE SE DIVIDIÓ PLAYA DEL CARMEN PARA SU MUESTREO .....	6
FIGURA 2 USOS DE SUELO IDENTIFICADOS POR ESTRATO EN EL INVENTARIO DE PLAYA DEL CARMEN Q. ROO.....	8
FIGURA 3 CUBIERTA DE SUELO ENCONTRADAS EN EL INVENTARIO DE PLAYA DEL CARMEN, Q. ROO.....	9
FIGURA 4 ESPECIES MÁS IMPORTANTES ENCONTRADAS EN PLAYA DEL CARMEN. ....	10
FIGURA 5 CANTIDAD DE ÁRBOLES POR ESTRATO EN MILES Y CANTIDAD DE ESPECIES PRESENTE.....	11
FIGURA 6 TAMAÑO DE LOS ARBOLES POR ESTRATO EN FUNCIÓN A SU CLASE DIAMÉTRICA .....	13
FIGURA 7 DISTRIBUCIÓN DE ALTURA DE LOS ÁRBOLES MUESTREADOS PARA EL INVENTARIO DE PLAYA DEL CARMEN.....	14
FIGURA 8 CONDICIÓN DE COPA DE LAS 16 ESPECIES MÁS NUMEROSAS EN PLAYA DEL CARMEN. ....	15
FIGURA 9 CONDICIONES DE COPA DE LOS ÁRBOLES EN CADA ESTRATO DE PLAYA DEL CARMEN. ....	16
FIGURA 9 VALOR DE IMPORTANCIA DE LAS ESPECIES EN EL INVENTARIO DE PLAYA DEL CARMEN. ....	17
FIGURA 11 IDR DE LAS ESPECIES DEL INVENTARIO MAYOR A UNO.....	18
FIGURA 12 SERVICIO AMBIENTAL DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE PLAYA DEL CARMEN. ....	21
FIGURA 13 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES LIBERADOS POR LAS PRINCIPALES ESPECIES DE ÁRBOLES EN PLAYA DEL CARMEN. ....	23
FIGURA 14 METROS CÚBICOS DE AGUA QUE SE REDUCEN DE LOS ESCURRIMIENTOS POR EL AUMENTO EN INFILTRACIÓN POR ESPECIE EN PLAYA DEL CARMEN. ....	24
FIGURA 15 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POR MES EN KILOGRAMOS. ....	26
FIGURA 16 RESUMEN GEOGRÁFICO DE CARACTERÍSTICAS DEL ARBOLADO DE PLAYA DEL CARMEN. ....	27
FIGURA 17 CANTIDAD DE ESPECIES QUE HAY EN UNA FAMILIA Y FAMILIAS CON ESE NÚMERO DE ESPECIES EN LAS ESPECIES PRESENTES DEL INVENTARIO.....	34
CUADRO 1 ESTRATOS, ÁREAS Y PARCELAS DEFINIDAS PARA EL INVENTARIO DE PLAYA DEL CARMEN, Q. ROO.....	5
CUADRO 2. PARÁMETROS DASOMÉTRICOS MEDIDOS EN LOS ÁRBOLES Y SU EXPLICACIÓN .....	7
CUADRO 3 ESPECIES MÁS IMPORTANTES Y SUS CARACTERÍSTICAS EN EL ESTRATO DEL CENTRO DE PLAYA DEL CARMEN. ....	11
CUADRO 4 ESPECIES MÁS IMPORTANTES Y SUS CARACTERÍSTICAS EN EL ESTRATO PLAYA NORTE DE PLAYA DEL CARMEN. ....	12
CUADRO 5 ESPECIES MÁS IMPORTANTES Y SUS CARACTERÍSTICAS EN LOS ESTRATOS EJIDO N Y S DE PLAYA DEL CARMEN .....	12
CUADRO 6 ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD PARA LA POBLACIÓN DE ÁRBOLES DE PLAYA DEL CARMEN Y DENSIDAD/HA.....	19
CUADRO 7 ÁREA FOLIAR POR ESTRATO PARA PLAYA DEL CARMEN. ....	20
CUADRO 8 DENSIDAD BRUTA/HA DE SECUESTRO DE C Y SU EQUIVALENCIA EN CO2. ....	21
CUADRO 9 SERVICIO AMBIENTAL POR C EN LA ZONA CENTRO DE PLAYA DEL CARMEN.....	22
CUADRO 10 SERVICIO AMBIENTAL POR C EN LA ZONA PLAYA NORTE DE PLAYA DEL CARMEN. ....	22
CUADRO 11 SERVICIO AMBIENTAL POR C EN LAS ZONAS DE LOS EJIDOS EN PLAYA DEL CARMEN. ....	22
CUADRO 12 SECUESTRO NETO DE C POR ESPECIE Y SU DISMINUCIÓN EN %. ....	23
CUADRO 13 C NETO SECUESTRADO POR ESTRATO. ....	23
CUADRO 14 METROS <sup>3</sup> DE AGUA REDUCIDOS DE ESCURRIR POR EFECTO DE LOS ÁRBOLES. ....	25
CUADRO 15 RELACIONES HÍDRICAS DE LOS ÁRBOLES POR ESTRATO EN PLAYA DEL CARMEN EN METROS <sup>3</sup> /AÑO.....	25
CUADRO 16 PRODUCCIÓN DE OXIGENO POR ESTRATO. ....	26
CUADRO 17 COMPARATIVO CON OTRAS CIUDADES DE CARACTERÍSTICAS DEL ARBOLADO DE PLAYA DE CARMEN .....	28
CUADRO 18 COMPARATIVO RELATIVO CON OTRAS CIUDADES EN FUNCIÓN A SU SUPERFICIE POBLACIÓN.....	29
CUADRO 19 POBLACIÓN Y CAPACIDAD DE SECUESTRO DE CARBONO PROYECTADO PARA 3 ESCENARIOS DE TASA DE MORTALIDAD Y REFORESTACIÓN DURANTE 15 AÑOS EN PLAYA DEL CARMEN. ....	30
CUADRO 20 REPORTE DEL I-TREE SOBRE EL ORIGEN DE LAS ESPECIES EN EL INVENTARIO.....	34
CUADRO 21 FAMILIAS QUE REPRESENTAN MÁS DEL 80% DE LA POBLACIÓN. ....	35
CUADRO 22 LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES PARA SEMBRAR EN PLAYA DEL CARMEN (TREJO-TORRES, 2014). .....	36

## Anexos

- I. Listado de especies con clave de i-tree
- II. Modelo Eco y Mediciones de Campo para i-Tree
- III. Efectos relativos del arbolado
- IV. Recomendaciones generales para mejorar la calidad del aire

## Anexo I. Listado de especies con claves de i-Tree

	Nombre científico	Nombre común	Clave i-Tree
1	Persea americana	AGUACATE	PEAM
2	Annona reticulata	ANONA	ANRE
3	Cordia	CIRICOTE	CO29
4	Spondias purpurea	CIRUELA	SPPU
5	Cocos nucifera	COCO	CONU
6	Annona	GUANABANA	AN8
7	Psidium guajava	GUAYABO	PSGU
8	Ficus carica	HIGO	FICA
9	Pouteria sapota	MAMEY	POSA13
10	Citrus reticulata	MANDARINA	CIRE3
11	Mangifera indica	MANGO	MAIN
12	Citrus aurantium	NARANJA AGRIA	CIAU2
13	Musa	PLATANO	MU5
14	Tamarindus indica	TAMARINDO	TAIN
15	Manilkara zapota	ZAPOTE	MAZA
16	Thevetia	Akits	TH6
17	Thrinax radiata	Chit	THPA
18	Sabal	Huano	SAME8
19	Adonidia merrilli	Kerpis	ADME
20	Pseudophoenix sargentii	Kuká	PSSA
21	Coccoloba readii	Nakax	SA3
22	Roystonea regia	Palma Real	RORE
23	Syagrus romanzoffiana	Pindo Coco Plumoso	SYRO
24	Samanea saman	Algarrobo	PISA2
25	Terminalia catappa	Almendro	TECA
26	Thevetia peruviana	Campanita	THPE3
27	Casuarina equisetifolia	Casuarina	CAEQ
28	Caesalpinia pulcherrima	Chak Sikin	CAPU13
29	Delonix regia	Flamboyán	DERE
30	Plumeria rubra	Flor de Mayo	PLRU
31	Ficus elastica	Hule	FIEL
32	Ficus	Laurel de la India	FI1
33	Cassia fistula	Lluvia de oro	CAFI
34	Azadirachta	Neem	AZ1
35	Morinda citrifolia	Noni	MOCI3
36	Ficus cotinifolia	Alamo	FI1
37	Ficus maxima	Alamo	FI1
38	Pseudobombax ellipticum	Amapola	PSEL5
39	Cordia sebestena	Anacahuita	COSE2
40	Bixa	Axiote	BIOR
41	Bourreria	Bakalché	BO10
42	Lonchocarpus punctatus	Balché	LOPU4
43	Cordia alliodora	bohóm	COAL2
44	Coccoloba diversifolia	Boob	CODI
45	Chrysophyllum	Caimito	CH29
46	Swietenia	Caoba	SW1
47	Muntingia	Capulín	MU3
48	Sideroxylon	caracolillo	BUB8
49	Cedrela odorata	Cedro	CEOD
50	Ceiba pentandra	Ceiba	CEPE
51	Bursera simaruba	Chaká	BUS1
52	Caesalpinia mexicana	Chakte viga	CAME
53	Methopium brownei	Chechem	BR7
54	Pouteria	Chooch y Kaniste	PO15
55	Havardia	Chucum	HA13
56	Swartzia	Corazón Azul	SW2
57	Mossanona depresa	Eelemuy	MACLASS
58	Plumeria obtusa	Flor de mayo blanca	PLOB2
59	Platymiscium	Granadillo	PL2

	Nombre científico	Nombre común	Clave i-Tree
60	Ribes rubrum	Grosella	RIRU80
61	Cecropia	Guayumbo	CE4
62	Guajacum sanctum	Guayacan	GUSA
63	Melicoccus bijugatus	Huaya	MEBI
64	Piscidia piscipula	Jabin	PIPI1
65	Crescentia cujete	Jicara	CRCU
66	Senna racemosa	K'anha'abin	SERA5
67	Lonchocarpus	K'anaśin	LO4
68	Clusia	Kanchunup	CL13
69	Pouteria campechiana	Kaniste	POCA23
70	Swartzia	Katalox	SW2
71	Caesalpinia	Kitamché	CA5
72	Magnoliopsida	Latifoliada tropical	MACLASS
73	Nectandra coriacea	Laurelillo	NECO
74	Citrus	Lima	CISP
75	Tabebuia chrysantha	Maculis Amarillo	TACH
76	Tabebuia rosea	Maculis o Jacaranda	TARO
77	Conocarpus erectus	Mangle botoncillo	COER
78	Maclura tinctoria	Mora	MAT13
79	Moringa	Moringa	MO8
80	Byrsonima	Nance	BY1
81	Carica papaya	PAPAYA	CAPA3
82	Simarouba glauca	Pasak	SIGL
83	Bauhinia variegata	Pata de Vaca	BAVA
84	Croton	Peerez kuuch	CR9
85	Enterolobium cyclocarpum	Pich	ENCY
86	Guettarda elliptica	Pichiche	GUEL
87	Pimenta dioica	Pimienta Gorda	PIDI3
88	Trema micrantha	Pixoy	TRMI
89	Brosimum alicastrum	Ramón	BRAL3
90	Ehretia thinifolia	Roble	EH1
91	Glyricidia maculata	Saak Kiab	MACLASS
92	Byrsonimia crassifolia	Sac pa	MACLASS
93	Guettarda	Tastab	GU6
94	Crossopetalum	Tatsi	CR6
95	Pithecellobium	Ts'úche	PIDU
96	Gymnopodium floribundum	Tsi tsil che	MACLASS
97	Diospyros	Tsilil	DI6
98	Lysiloma latisiliquum	Tzalam	LYLA
99	Coccoloba uvifera	Uva de Mar	COUV
100	Leucaena leucocephala	Waxim	LELE
101	Tecoma stans	X'can Lol	TEST
102	Chloroleucon mangense	Ya' ax eek'	MACLASS
103	Vitex	Yaax Niik	VI5
104	Cordia gerascanthus	Yauco	COGE

FRUTALES (15)

PALMAS (8)

Introducidas (12)

69 Nativas

No se encuentra en i-Tree

MACLASS. (6)

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

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

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

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

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

### Características del árbol:

El área foliar de los árboles se evaluó mediante la medición de las dimensiones de la corona y el porcentaje de la copa de corona que faltaba. En el caso de que no se recogieran estas variables de datos, éstas son estimadas por el modelo. Un análisis de especies invasoras no está disponible para estudios fuera de los Estados Unidos. Para los Estados Unidos, las especies invasoras se identifican utilizando una lista de especies invasivas para el estado en el que se encuentra el bosque urbano. Estas listas no son exhaustivas y abarcan especies invasoras de diversos grados de invasividad y distribución. En los casos en que un estado no tenía una lista de especies invasoras, se creó una lista basada en las listas de los estados adyacentes. Para las especies de árboles que son identificadas como invasivas por la lista de especies invasoras del estado se hacen referencias cruzadas con datos de rango nativo. Esto ayuda a eliminar especies que están en la lista de especies invasoras del estado, pero que son nativas del área de estudio.

### Eliminación de la contaminación atmosférica:

La eliminación de la contaminación se calcula para el ozono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono y las partículas de menos de 2,5 micras. Las partículas de menos de 10 micras (PM10) son otro contaminante importante del aire. Dado que i-Tree Eco analiza material en partículas de menos de 2,5 micras (PM2.5) que es un subconjunto de PM10, PM10 no ha sido incluidos en este análisis. Por lo general, la PM2.5 es más pertinente en los debates sobre los efectos de la contaminación en la salud humana.

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

La eliminación de partículas incorporó una tasa de resuspensión del 50 por ciento de las partículas de vuelta a la atmósfera (Zinke 1967). Las recientes actualizaciones (2011) del modelo de calidad del aire se basan en simulaciones mejoradas del índice de área foliar, el procesamiento e interpolación de la contaminación y los valores monetarios de los contaminantes actualizados (Hirabayashi et al 2011; Hirabayashi et al 2012; Hirabayashi 2011). Los árboles eliminan PM2.5 cuando la materia particulada se deposita sobre las superficies de las hojas (Nowak et al 2013). Estos PM2.5 depositados pueden ser resuspendidos a la atmósfera o eliminados durante eventos de lluvia y disueltos o transferidos al suelo. Esta combinación de eventos puede conducir en la eliminación de la contaminación positiva o negativa y al valor dependiendo de varios factores. Generalmente, la eliminación de PM2.5 es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, hay algunos casos en que la eliminación neta es negativa o bien las partículas resuspendidas conducen a un aumento de las concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (por ejemplo, sin lluvia), los árboles resuspenden más partículas de las que eliminan. La resuspensión también puede llevar a un aumento de las concentraciones totales de PM2.5 si las condiciones de la capa límite son menores durante los períodos netos de resuspensión que durante los períodos netos de eliminación. Dado que el valor de eliminación de la contaminación se basa en el cambio en la concentración de la contaminación, es posible tener situaciones en las que los árboles eliminan PM2.5 pero aumentan las concentraciones y, por lo tanto, tienen valores negativos durante los períodos de eliminación global positiva. Estos eventos no son comunes, pero pueden ocurrir. Para reportes en los Estados Unidos, el valor de eliminación de la contaminación atmosférica por defecto se calcula sobre la base de la incidencia local de efectos adversos de salud y los costos medianos nacionales de externalidad. El número de efectos adversos para la salud y el valor económico asociado se calcula valor para el ozono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y las partículas de menos de 2,5 micrones utilizando datos del Programa de Análisis y Mapeo de Beneficios Ambientales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (BenMAP)

(Nowak et al., 2014). El modelo utiliza un enfoque de daño-función que se basa en el cambio local en la contaminación, concentración y población. Los costos de externalidad mediana nacional se utilizaron para calcular el valor del monóxido de carbono (Murray y col., 1994).

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

Para este análisis, el valor de eliminación de la contaminación se calcula sobre la base de los precios de 27.380 pesos mexicanos por tonelada (monóxido de carbono), Mex \$ 192.772 por tonelada (ozono), Mex \$ 192.772 por tonelada (dióxido de nitrógeno), Mex \$ 47.194 por tonelada (dióxido de azufre), Mex \$ 128,705 por tonelada (partículas de menos de 2,5 micras).

#### Almacenamiento y Secuestro de Carbono:

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

El secuestro de carbono es la eliminación del dióxido de carbono del aire por las plantas. Para estimar la cantidad bruta de carbono secuestrada anualmente, el crecimiento del diámetro promedio de los géneros apropiados y la clase de diámetro y fue añadida la condición del árbol al diámetro del árbol existente (año  $x$ ) para estimar el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año  $x + 1$ .

Los valores de almacenamiento de carbono y secuestro de carbono se basan en valores de carbono locales estimados o personalizados. Para los reportes internacionales que no tienen valores locales, las estimaciones se basan en el valor del carbono para los Estados Unidos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 2015, Grupo de Trabajo Interagencial sobre el Costo Social del Carbono 2015) y convertidos a moneda local con tipos de cambio definidos por el usuario. Para este análisis, los valores de almacenamiento de carbono y secuestro de carbono se calculan en base a Mex \$ 146.7 por tonelada.

#### Producción de oxígeno:

La cantidad de oxígeno producido se calcula a partir del secuestro de carbono basado en pesos atómicos: liberación neta de O<sub>2</sub> (Kg / año) = captura neta de secuestro de C (kg / año) × 32/12. Para estimar la tasa neta de captura de carbono, la cantidad de carbono secuestrado como resultado del crecimiento de los árboles se reduce por la cantidad perdida resultante de la mortalidad de los árboles. Así, el carbono neto secuestrado y la producción neta anual de

oxígeno de la cuenta forestal urbana para la descomposición. Para los proyectos de inventario completo, la producción de oxígeno se calcula a partir del secuestro bruto de carbono y no cuenta en la descomposición.

#### Escorrentía evitada por aumento de infiltración

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

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

Para este análisis, el valor de escorrentía evitado se calcula sobre la base del precio de Mex \$ 2.361 por m<sup>3</sup>.

#### Uso de Energía en Edificios:

Si se recopilaron datos de campo apropiados, se calcularon los efectos estacionales de los árboles en el uso de energía para edificios residenciales basados en los procedimientos descritos en la literatura (McPherson y Simpson 1999) usando la distancia y la dirección de los árboles desde las estructuras residenciales, la altura de los árboles y los datos de las condiciones de los árboles. Para calcular el valor monetario del ahorro energético, se utilizan precios locales o personalizados por MWH o MBTU.

Para este análisis, el valor de ahorro de energía se calcula sobre la base de los precios de Mex \$ 116.15 por MWH y Mex \$ 17.30 por MBTU.

#### Potenciales impactos de plagas:

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

Para los Estados Unidos, el riesgo potencial de plagas se basa en los mapas de distribución de plagas y en las especies huésped de plagas que es probable que experimenten mortalidad.

Mapas de la gama de plagas para 2012 del Equipo Forestal de Empresas de Tecnología de la Salud (FHTET) (Forest Health Technology Enterprise Team 2014) se utilizaron para determinar la proximidad de cada plaga al condado en el que el bosque urbano se encuentra. Para el condado, se estableció si el insecto / enfermedad ocurre dentro del condado, es dentro de 400

kilómetros de la frontera del condado, está entre 400 y 1210 kilómetros de distancia, o es mayor que 1210 kilómetros de distancia. FHTET no tenía mapas de rango de plagas para la enfermedad de olmo holandés y la niebla de castaña. El rango de estas plagas se basó en la ocurrencia conocida y en el rango de huéspedes, respectivamente (Centro de Evaluación de Amenaza Ambiental del Bosque oriental; Worrall 2007).

#### Efectos relativos de árboles:

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

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

Tasas de emisión de vehículos ligeros (g / mi) para CO, NO<sub>x</sub>, COV, PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> para 2010 (Bureau of Transportation Statistics 2010; Heirigs et al 2004), PM<sub>2.5</sub> para 2011-2015 (California Air Resources Board 2013) y CO<sub>2</sub> para 2011 (U.S. Environmental Protection Agency 2010) se multiplicaron por millas promedio conducidas por vehículo en 2011 (Federal Highway Administration 2013) para determinar las emisiones promedio por vehículo.

Las emisiones de los hogares se basan en el consumo medio de electricidad kWh, el uso de gas natural Btu, el uso de combustible Btu, el queroseno, el uso de Btu, el uso de GLP Btu y el uso de madera Btu por hogar en 2009 (Energy Information Administration 2013; Energy Information Administration 2014).

- 🌳 Las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> por kWh provienen de Leonardo Academy 2011. Emisión de CO por kWh asume que 1/3 del uno por ciento de las emisiones de C es CO basado en Energy Information Administration 1994. Emisiones PM<sub>10</sub> por kWh provienen de Layton 2004.
- 🌳 Emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO por Btu para gas natural, propano y butano (media utilizada para representar GLP), Combustible # 4 y # 6 (promedio utilizado para representar la gasolina y el queroseno) de Leonardo Academy 2011.
- 🌳 Emisiones de CO<sub>2</sub> por Btu de madera de Energy Information Administration 2014.
- 🌳 Emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> por Btu sobre la base de las emisiones totales y la quema de madera (toneladas) de (British Columbia Ministry 2005; Comisión Forestal de Georgia 2009).

## Anexo III. Efectos relativos del arbolado

El bosque urbano del Inventario Playa del Carmen, QR ofrece beneficios que incluyen almacenamiento y secuestro de carbono y eliminación de contaminantes. Para estimar el valor relativo de estos beneficios, se compararon los beneficios de los árboles con las emisiones de carbono municipales promedio, las emisiones promedio de automóviles de pasajeros y las emisiones medias de los hogares. (Véase el Anexo II para la metodología).

### El almacenamiento de carbono es equivalente a:

-  Cantidad de carbono emitida en Inventario Playa de Carmen QR en 2 días
-  Emisiones anuales de carbono (C) de 39,200 automóviles
-  Emisiones anuales de C de 16,100 casas unifamiliares

### La remoción de monóxido de carbono es equivalente a:

-  Emisiones anuales de monóxido de carbono de 123 automóviles
-  Emisiones anuales de monóxido de carbono de 338 casas unifamiliares

### La remoción de dióxido de nitrógeno es equivalente a:

-  Emisiones anuales de dióxido de nitrógeno de 440 automóviles
-  Emisiones anuales de dióxido de nitrógeno de 198 casas unifamiliares

### La remoción de dióxido de azufre es equivalente a:

-  Emisiones anuales de dióxido de azufre de 36,300 automóviles
-  Emisiones anuales de dióxido de azufre de 96 casas unifamiliares

### El secuestro anual de carbono es equivalente a:

-  Cantidad de carbono emitida en Inventario Playa de Carmen QR en 0.2 días
-  Emisiones anuales de C de 3,900 automóviles
-  Emisiones anuales de C de 1,600 casas unifamiliares

## Anexo IV. Recomendaciones generales para mejorar la calidad del aire

La vegetación urbana puede afectar directa e indirectamente la calidad del aire local y regional alterando el ambiente de la atmósfera urbana. Cuatro maneras principales en que los árboles urbanos afectan la calidad del aire son (Nowak 1995):

- ✿ Reducción de la temperatura y otros efectos del microclima
- ✿ Eliminación de contaminantes del aire
- ✿ Emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC) y emisiones de mantenimiento de árboles
- ✿ Efectos energéticos en edificios

Los efectos acumulativos e interactivos de los árboles sobre el clima, la eliminación de la contaminación y las emisiones de VOC y centrales eléctricas determinan el impacto de los árboles en la contaminación del aire. Los estudios acumulativos sobre los impactos de los árboles urbanos sobre el ozono han revelado que el aumento de la cubierta urbana del dosel, particularmente con las especies que emiten bajo VOC, conduce a la reducción de concentraciones de ozono en las ciudades (Nowak 2000). Las decisiones locales de gestión urbana también pueden ayudar a mejorar la calidad del aire.

Las estrategias de manejo forestal urbano para ayudar a mejorar la calidad del aire incluyen (Nowak 2000):

Estrategia	Resultado
Aumentar el número de árboles sanos	Aumenta la eliminación de contaminación
Sostener la cubierta arbórea existente	Mantiene los niveles de eliminación de la contaminación
Maximizar el uso de árboles de baja emisión de VOC	Reducir la formación de ozono y monóxido de carbono
Sostener árboles grandes y sanos	Los árboles grandes tienen los mayores efectos por árbol
Utilizar árboles de larga vida	Reducir las emisiones de contaminantes a largo plazo de la siembra y remoción
Utilizar árboles de bajo mantenimiento	Reducir las emisiones de contaminantes de las actividades de mantenimiento
Reducir el uso de combustibles fósiles en el mantenimiento de la vegetación	Reducir las emisiones contaminantes
Plantar árboles en lugares que conservan energía	Reducir las emisiones contaminantes de las centrales eléctricas
Plantar árboles para dar sombra a los automóviles estacionados	Reducir las emisiones vehiculares VOC
Suministrar abundante agua a la vegetación	Mejorar la eliminación de la contaminación y la reducción de la temperatura
Plantar árboles en áreas contaminadas o muy pobladas	Maximizar los beneficios de la calidad del aire en los árboles
Evitar las especies sensibles a los contaminantes	Mejorar la salud de los árboles
Utilizar árboles perennes para eliminar partículas	Elimina partículas a lo largo de todo el año

## Citas Bibliográficas

1. Baldocchi, D. 1988. **A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy**. Atmospheric Environment. 22: 869-884.
2. Baldocchi, D.D.; Hicks, B.B.; Camara, P. 1987. **A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces**. Atmospheric Environment. 21: 91-101.
3. Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E. 1972. **Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves**. Canadian Journal of Botany. 50: 1435-1439.
4. British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. **Residential wood burning emissions in British Columbia**. British Columbia.
5. Bolniarz, D. and H. Dennis, P. Ryan 1996. **The use of volunteer initiatives in conducting urban forest resource inventories**. Journal of Arboriculture 22(2) March. 75-81.
6. California Air Resources Board. 2013. **Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3 Average Auto Emission Factors**. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board.
7. Carbon Dioxide Information Analysis Center. 2010. **CO2 Emissions (metric tons per capita)**. Washington, DC: The World Bank.
8. Federal Highway Administration. 2013. Highway Statistics 2011. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.
9. Energy Information Administration. 2013. **CE2.1 Fuel consumption totals and averages**, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
10. Energy Information Administration. 2014. **CE5.2 Household wood consumption**. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
11. Freilicher, E.M. 2010. **Evaluating Federal Urban Forestry Performance Measures in Massachusetts (U.S.A.)**. Univ. of Mass Amherst. Master Thesis 1911 Feb 2014. <http://scholarworks.umass.edu/theses/509>
12. Georgia Forestry Commission. 2009. **Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet**. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission.
13. Hirabayashi, S. 2012. **i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions**, [http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree\\_Eco\\_Precipitation\\_Interception\\_Model\\_Descriptions\\_V1\\_2.pdf](http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf)
14. Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2011. **Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model**. Environmental Modeling and Software. 26(6): 804-816.
15. Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2012. **i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions V 1.0**
16. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. 2015. **Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866**. <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/scc-tds-final-july-2015.pdf>
17. Lovett, G.M. 1994. **Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective**. Ecological Applications. 4: 629-650.
18. McPherson, E.G. 2014. **Monitoring million trees LA: Tree performance During the early years and future benefits**. Arboriculture & Urban Forestry 40(5): 286-301.
19. 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.

20. Murray, F.J.; Marsh L.; Bradford, P.A. 1994. **New York State Energy Plan**, vol. II: issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office.
21. Nowak, D.J. 1995. Trees pollute? **A "TREE" explains it all**. In: Proceedings of the 7th National Urban Forestry Conference. Washington, DC: American Forests: 28-30.
22. Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 193:119-129
23. 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.
24. Nowak, D.J.; Crane, D.E. 2000. **The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions**. In: Hansen, M.; Burk, T., eds. *Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century*. Proceedings of IUFRO conference. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.
25. Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Walton, J.T; Bond, J. 2008. **A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services**. *Arboriculture and Urban Forestry*. 34(6): 347-358.
26. Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E. 2005. **The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual**. V1b. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 34 p.  
[http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE\\_Manual.pdf](http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf).
27. 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
28. 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
29. Santamour, F.S. Jr. 1990. **Trees for Urban planting: diversity uniformity and common sense**. Proceedings of the Seventh Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance. The Morton Arboretum Lisle, Illinois
30. Trejo-Torres, J.C. & G.D. Gann. 2014-2016. **Plantas del Mayab: Plantas para Todos**. v. 2.0, portal de internet. The Institute for Regional Conservation – Programa para la Península de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. [Portal botánico [www.plantasdelmayab.com](http://www.plantasdelmayab.com), disponible desde 01/enero/2014].
31. van Essen, H.; Schrotten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. 2011. **External Costs of Transport in Europe**. Netherlands: CE Delft. 161 p.
32. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007a. **Interior West Tree Guide**.
33. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007b. **Temperate Interior West Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting**.
34. 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, FS, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
35. Worrall, J.J. 2007. **Chestnut Blight. Forest and Shade Tree Pathology**. Page 35  
[http://www.forestpathology.org/dis\\_chestnut.html](http://www.forestpathology.org/dis_chestnut.html)
36. Zinke, P.J. 1967. **Forest interception studies in the United States**. In: Sopper, W.E.; Lull, H.W., eds. *Forest Hydrology*. Oxford, UK: Pergamon Press: 137-161