

LOS ÁRBOLES COMO REGULADORES DE TEMPERATURA Y ALMACENAJE DE CARBONO: ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y PERCEPCIÓN SOCIAL EN EL MUNICIPIO DE CHIQUIMULA.

Mervin E. Pérez¹, A. López², M. Asturías², J. López², E. Zuñiga², W. Velásquez², B. Monroy², R. Méndez², T. Calderón², M. Castillo², G. Hernández², C. Franco², D. Roldán², S. Sáncz², J. Marcos², S. Velásquez²

¹Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, PO BOX 70377, San Juan, P.R. 00936-8377. ²Tercera Cohorte Curso Análisis de Sistemas Socio Ecológicos: Herramientas para la Resiliencia Comunitaria. Cáritas Zacapa/ ASPRODE, Universidad de San Carlos de Guatemala-USAC-, Centro de Estudios Conservacionistas-CECON-, Centro Universitario de Oriente-CUNORI-, Wetlands International.

*Correspondencia del autor: ixmulej@gmail.com

PALABRAS CLAVE: Zonas Urbana, i-Tree, Áreas Verdes, Contaminación Atmosférica

• RESUMEN

Las ciudades contienen diversos focos de contaminación atmosférica y áreas con altos índices de calor, pero también espacios verdes que reducen estos impactos. Nuestro objetivo fue evaluar los beneficios (remoción de contaminantes y control de temperatura) de árboles a escala de calle (datos en campo) y casco urbano (herramienta i-Tree Canopy) en Chiquimula. A nivel de calle existen doce especies arbóreas siendo *Ficus benjamina* la más dominante. En conjunto los árboles almacenan 18.63 t de carbono (37.27 t/ha) equivalente a \$1,462.89; en promedio un árbol almacena 258.82 kg de carbono y equivale a \$20.31/árbol. A nivel de ciudad, los árboles remueven entre 221 kg a más de 49 kt de contaminantes atmosféricos con un costo de \$88.00 hasta más de un millón de dólares. Además los árboles reducen en promedio 2.8 °C la temperatura del aire diurno. Estos servicios son percibidos por las personas de Chiquimula, sumados a los de aprovisionamiento, cultural y/o soporte. Aunque el estudio es preliminar, los árboles generan múltiples beneficios y requieren poca inversión, beneficios que optimizan la calidad de vida por lo siguiente: remueven contaminantes atmosféricos que se relacionan a casos agudos de enfermedades respiratorias, y amortiguan eventos extremos de temperatura en la ciudad.

• ABSTRACT

Cities contain numerous sources of air pollution and areas with high rates of heat, but they also have green places that alleviate those effects. Our goal was to analyze the benefits (removal of air pollutants and temperature control) provided by trees at both street (using field data) and city (using i-Tree Canopy tool) scales in Chiquimula. At the street level, 72 trees representing 12 species were reported, *Ficus benjamina* being the most dominant. Overall, trees store 18.63 t of carbon (37.27 t/ha), an equivalent of \$1,462.89; on average each tree storage 258.82 kg of carbon, corresponding to \$20.31/tree. At the city level, trees remove between 221 kg and 49 kt of atmospheric pollutants, equivalent to saving ranging from \$88.00 to more than one million dollars. Additionally to these services, the tree canopy reduces the diurnal air temperature by on average 2.8 °C. These benefits, in addition to those related to provision, cultural, and/or support services, are perceived by people in Chiquimula. Although the study is a preliminary one, trees results suggest that Chiquimula trees produce multiple benefits and require minimum investment, enhancing life quality by removing air pollutants related to acute respiratory diseases, and diminishing extreme temperature events in this city.

• INTRODUCCIÓN

Las zonas urbanas, caracterizadas por un alto desarrollo industrial y tecnológico, concentra cerca del 50% de la población mundial, y se espera que para el 2030 dos tercios de la población vivan en pueblos y/o zonas altamente urbanizadas (McMichael, 2000). Esta proyección no solo incrementaría la densidad de personas por kilómetro cuadrado, sino que también favorecería a un aumento en la infraestructura gris (e.g., casas, edificios, centros comerciales, carreteras asfaltadas o cementadas) y alto consumo energético.

Además generaría un cambio en el uso del suelo reduciendo y fragmentando la cobertura vegetal, alterando la estructura y función del ecosistema (Vinya et al, 2011). El resultado de este comportamiento antropogénico afecta, directa e indirectamente, los servicios ecosistémicos (tangibles o no) de los cuales el propio humano es beneficiario. Por ejemplo, un aumento en las superficies impermeables limita la capacidad de infiltración de agua de lluvia aumentando los niveles de escorrentía y mayor probabilidad de



inundaciones (Depietri et al, 2012), además de incrementar la contaminación de cuerpos de agua por el transporte directo de metales pesados y otros elementos sólidos a través de alcantarillados y desagües (Sansalon y Buchberger, 1997). Una expansión urbana se traduce también en un incremento en las redes eléctricas y viales, mayor uso de automotores (e.g., motocicletas, automóviles de dos o más ejes, entre otros) y un crecimiento en el uso de combustible fósil. Lo anterior genera cambios en la composición química de la atmósfera aumentando la cantidad de CO₂, NO₂, SO₂, Ozono, partículas totales en suspensión, y partículas respirables menores a 2.5 y 10 micrones; factores que influyen en la incidencia de enfermedades respiratorias y casos de mortalidad en habitantes de ciudades altamente urbanizadas (Pope et al, 1991 y 1995; Schwartz y Dockery, 1992; Schwartz et al, 1993).

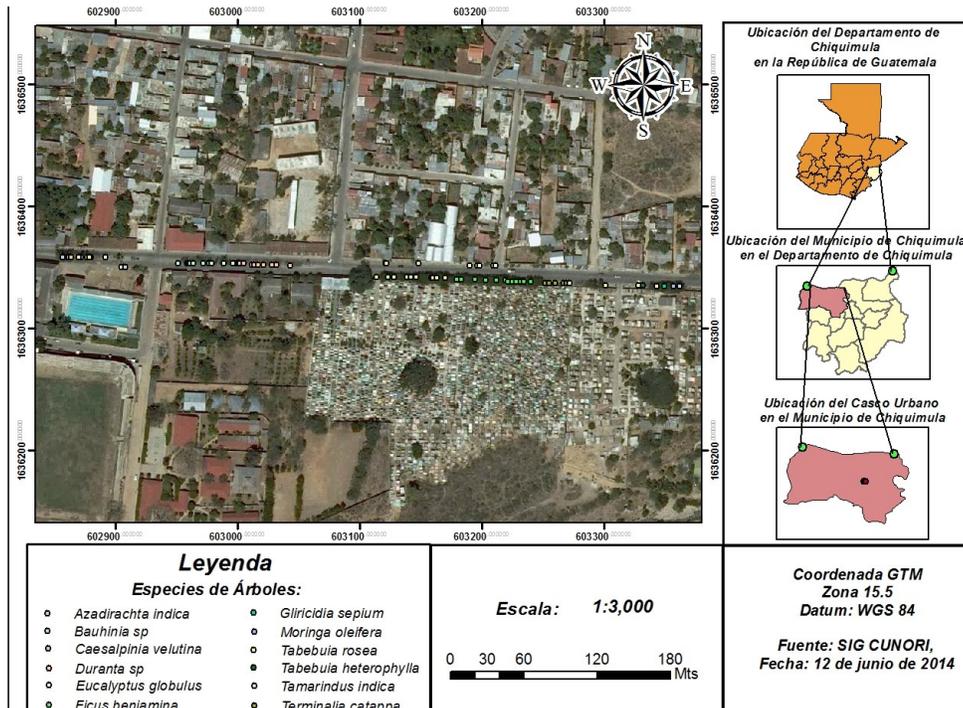
Aunque las ciudades presentan fuentes de contaminación diversa, también contienen áreas verdes como elementos mitigadores de contaminación ambiental; por lo tanto estos servicios deben ser investigados y cuantificados. Las áreas verdes dentro de la matriz urbana funcionan como área de recarga hídrica (Zhang et al., 2012) y purificación del agua de lluvia a través de la infiltración (Barret et al, 1998); reducen la escorrentía y mitigan contra inundaciones, además de ser hábitat importante para especies silvestres y urbanas (Gaston, et al, 2005; Tixier et al, 2011). Las áreas verdes son elementos esenciales en la reducción del efecto de islas de calor (Dimoudi y Nikopoulou, 2003) y amortiguadores de la temperatura del aire (Dobbs et al, 2011), que se refleja, directa e indirectamente, en los costos de consumo energético (Dimoudi y Nikopoulou, 2003). Las áreas verdes remueven además contaminantes atmosféricos tales como bióxido de carbono (CO₂), bióxido de sulfuro (SO₂)

(Jim y Chen, 2008), así como también otros gases y partículas en suspensión que atentan contra el bienestar físico del humano (Pope et al, 1991 y 1995; Schwartz and Dockery, 1992; Schwartz et al, 1993). El objetivo de este proyecto fue evaluar los servicios ecosistémicos ofrecidos por los árboles de la ciudad de Chiquimula en términos de microclima y remoción de contaminantes atmosféricos, cuantificando el valor monetario de estos servicios utilizando datos de campo y la herramienta i-Tree Canopy (<http://www.itreetools.org/>). Además de integrar la percepción social sobre los posibles beneficios generados por los árboles en este municipio a través de encuestas.

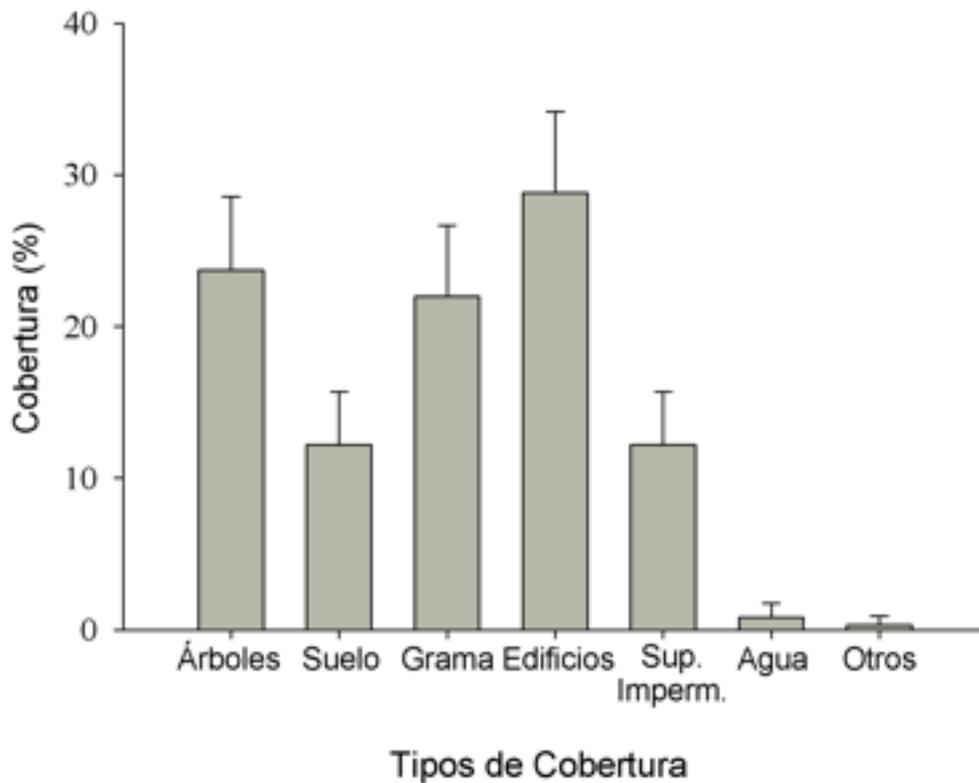
• MATERIALES Y MÉTODOS

SITIO DE ESTUDIO

El municipio de Chiquimula (Gráfica No. 1), cabecera del departamento de Chiquimula, se localiza al occidente del país de Guatemala con una extensión territorial de 353 km² (INYPESA, 2013). La temperatura promedio a nivel de municipio oscila entre los 28 y 29 oC (INYPESA, 2013; Ramírez Pazos, 2012) con una precipitación promedio anual de 1000 mm (INYPESA, 2013). Las zonas de vida dominantes en el municipio es el bosque seco y bosque húmedo subtropical templado (Díaz Gutiérrez, 2008). La ciudad o caso urbano tiene un área de 7.18 km² con una población estimada de 31,808 habitantes, dominada (53.03) por personas entre las edades de menos 1 a 19 años de edad (Ramírez Pazos, 2012). La ciudad se encuentra establecida a una altura de 423 msnm, con estación seca bien definida (INYPESA, 2013; Ramírez Pazos, 2012).



Gráfica No. 1: Área de estudio y distribución de las especies arbóreas evaluadas en el municipio de Chiquimula.



Gráfica No. 2: Porcentaje y clases de cobertura categorizadas dentro de la ciudad de Chiquimula. Círculos y llaves corresponden a un estimado de la cobertura y su error estándar. Sup. Imperm. = Superficies impermeables tales como cemento y asfalto.



EVALUACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE ESPECIES ARBÓREAS EN LA ZONA URBANA DE CHIQUIMULA:

A NIVEL LOCAL O DE CALLE: Seleccionamos una de las principales calles de la ciudad con la mayor incidencia de árboles (6a calle de la zona 1, Gráfica No. 1) con un área aproximada de 0.5 ha. Los árboles a lo largo de la calle fueron contabilizados, geo referenciados, e identificados hasta especie midiéndoles diámetro a la altura del pecho (DAP). Con el valor de DAP se calculó la biomasa aérea del árbol siguiendo la fórmula de Chave et al (2005) para bosques secos tropicales, y utilizando la densidad de la madera de cada especie en la base de datos de Zanne et al (2009). La ecuación de Chave et al (2005) fue generada a partir de árboles que crecen en bosques secundarios y bosques maduros, pero en áreas abiertas como zonas urbanas la biomasa aérea tiende a ser 20% menor, por lo que el valor resultante de la ecuación fue multiplicada por 0.8 (Nowak, 1994). Con el objetivo de comparar nuestros resultados con los reportados en otros estudios calculamos la biomasa total del árbol que se obtiene al dividir el valor de biomasa por 0.78 (McPherson, 1998; Nowak, 1994). Para conocer la cantidad de carbono almacenado por árbol, el valor de biomasa (aérea y total) fue multiplicada por una constante de 0.5 que corresponde al porcentaje de carbono en especies arbóreas (McPherson, 1998; Nowak, 1994). Finalmente, estimamos el valor monetario asociado al carbono almacenado por árbol multiplicándolo por un valor de \$78.5 por tonelada de carbono (Nowak et al, 2013).

Para calcular la función reguladora de temperatura generada por los árboles, se utilizaron monitores ambientales programados para registrar condiciones del clima a cada hora durante tres días (9-11 Julio, 2015).

Los monitores fueron colocados bajo distintos tipos de sombras (e.g., Mango, Icaco, Matiliguatate, Patios (sombra generada por varias especies), VBS (vegetación de bosque seco dentro de las instalaciones de la USAC)) y un control que corresponde a un sitio expuesto y sin cobertura vegetal. Estos monitores fueron colocados entre 1.5 y 2 metros de altura. Los datos ambientales aquí presentados son los correspondientes al período diurno (6:00 AM - 18:00 PM) y no integra los datos de temperatura nocturna. Análisis de varianza y análisis de Tukey fueron realizados para identificar diferencias significativas entre las especies arbóreas en términos de captura de carbono (además de los costos asociados a este servicio) y regulación de temperatura. Los datos recopilados fueron analizados utilizando un valor $p = 0.05$ en el programa R (R Development Core Team, 2013). Para el caso del contenido de carbono y costo asociado a este servicio, los datos fueron transformados a logaritmo para cumplir con el supuesto de normalidad, para este análisis fueron consideradas las especies que presentaron cuatro o más individuos.

A NIVEL DE CIUDAD UTILIZANDO I-TREE CANOPY: La herramienta i-Tree Canopy (<http://www.itreetools.org/canopy/index.php>) fue utilizada para cuantificar el costo económico de los servicios ofrecidos por árboles en términos de remoción de contaminantes atmosféricos a nivel de ciudad. Esta herramienta está destinada para que los usuarios puedan estimar de manera fácil y precisa la cobertura de árboles y otras categorías dentro de ciudades o cualquier área de interés. Esta herramienta distribuye puntos aleatoriamente en imágenes satelitales de Google Earth, posteriormente el usuario asigna la clase de cobertura en cada uno de los puntos generados.

La herramienta consta de tres pasos principales:

1. Importar el mapa (formato shapefile) que define el área de estudio, o bien delimitar el área de estudio utilizando imágenes satelitales de google map incorporadas en el programa;
2. Definir las clases de cobertura dentro del área de estudio;
3. Registrar las clases de cobertura de cada uno de los puntos generados aleatoriamente por el programa.

Para este estudio definimos los límites de la ciudad basándonos en imágenes satelitales incorporadas en i-Tree Canopy, utilizando las calles periféricas como las demarcaciones de nuestra área de estudio. Posteriormente clasificamos siete tipos de cobertura dentro de la ciudad de Chiquimula: 1) árboles; 2) suelos desnudo sin ningún tipo de cobertura vegetal que incluye calles de terracería, terrenos baldíos, canchas de fútbol, o áreas de extracción; 3) superficie sin árboles pero dominados por grama o arbusto de pequeña estatura; 4) edificios, casas, o similares; 5) superficies impermeables incluyendo calles con cemento o asfalto; 6) agua, si los puntos coincidían con el río o cercanos al borde del mismo; y 7) "otros" como categorías poco definidas en la imagen o en menor proporción (e.g., terrenos en construcción, piscinas, etc.). Posteriormente, seleccionamos el estimado económico de remoción de contaminantes atmosféricos por árboles con base a lo reportado para Estados Unidos, especificando que los costos asociados a la remoción de contaminantes fueran calculados bajo la categoría de zonas urbanas. Los costos están dados en dólares estadounidenses para mantener una moneda estándar y evitar fluctuación en el valor económico por conversión de monedas.

Finalmente, se generaron 600 puntos aleatorios en el programa y clasificamos cada uno de ellos con base a los tipos de cobertura anteriormente descritos. Incrementar el número de puntos no genera cambios significativos en los estimados de cobertura y error estándar, y se encuentra en el rango sugerido por el programa (500 - 1000 puntos). La información generada por el programa sobre la cobertura dominante el paisaje urbano de Chiquimula y el costo monetario del servicio ofrecido por árboles se describen en la Gráfica No. 2 y Tabla No. 2 respectivamente. Para mayor información y detalle de los modelos utilizados en i-Tree Canopy para calcular beneficios de remoción de contaminantes y costos monetarios de árboles en Estados Unidos revisar Hirabayashi (2014), mientras que para el cálculo de biomasa (retiro y almacenaje de carbono) revisar los modelos descritos por Nowak et al (2013).

BENEFICIOS DE ÁRBOLES PERCIBIDOS POR CIUDADANO EN CHIQUIMULA

A lo largo de la calle en estudio se realizaron 50 encuestas tanto a peatones como a personas que tienen puestos de comercio, ésta incluía en total cuatro preguntas (abiertas y cerradas) enfocándose en cuatro puntos principales: i) tenencia de árboles en sus casas; ii) conocimiento sobre los beneficios que éstos aportan; iii) importancia de árboles en calles de la ciudad; y iv) disposición de sembrar árboles si estos fueran accesible. La encuesta incluyó personas adultas que pasaban a lo largo del sitio de estudio y que fueron abordadas para realizar la encuesta (con permiso previo). El estudio no contempló evaluar la percepción con respecto a género y edad, sino en tener una idea generalizada de los posibles beneficios generados por los árboles. Sin embargo, advertimos que los resultados no necesariamente reflejaran la percepción de todos los ciudadanos del municipio,



ESPECIE		n	DM (g/cm ³)	DIÁMETRO (CM)	CONTENIDO DE CARBONO (KG/ÁRBOL)	COSTO ESTIMADO (\$/T)
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	I	8	0.66	30.0 (±1.3)	349.5 (±6.6)	27.4 (±1.9)
<i>Caesalpinia velutina</i> (Britton & Rose) Standl.	N	2	0.994	25.0(±0.8)	423.8 (±11.5)	33.3 (±3.2)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	I	2	0.722	55.5 (±3.2)	1127.2 (±20.1)	88.5 (±5.6)
<i>Ficus benjamina</i> L.	I	28	0.459	22.6 (±0.4)	283.8 (±2.2)	22.3 (±0.6)
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	N	1	0.64	22.6*	131.65*	10.3*
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	I	1	0.262	14.8 [§]	41.3*	3.2*
<i>Tabebuia heterophylla</i> (DC.) Britton	I	1	0.756	9.9*	23.4*	1.8*
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	N	19	0.48	22.0 (±0.7)	144.9 (±2.8)	11.4 (±0.8)
<i>Tamarindus indica</i> L.	I	1	0.854	12.5 [§]	200.1*	15.7*
<i>Terminalia catappa</i> L.	I	9	0.483	15.4 (±0.8)	58.3 (±2.8)	4.6 (±0.6)

Tabla No. 1: Promedio (± error estándar) del carbono acumulado y costo estimado (moneda estadounidense, \$) de las especies arbóreas (introducidas - I, nativas - N) reportadas en la ciudad de Chiquimula. n = refiere al número de árboles por especie. DM = densidad de la madera; Diámetro = diámetro a la altura del pecho; * cuando el valor no corresponde a un promedio; § media de tallos principales; kg = kilogramos; t = toneladas (1,000 kg); kt = kilo tonelada (1 millón de kg)

por lo que encuestas mejor estructuradas y con mayor número de personas es recomendado.

• RESULTADOS Y DISCUSIÓN

REMOCIÓN Y ALMACENAJE DE CO₂

En total se reportaron 72 árboles que corresponden a 12 especies (Gráfica No.1). De estas especies, 10 presentaron valores de densidad de la madera (Tabla No.1). Tres de las especies reportadas son nativas (*Tabebuia rosea*, *Caesalpinia velutina* y *Gliricidia sepium*) y el resto introducidas. El número de árboles por especie fue variable dominando la especie introducida *Ficus benjamina* (n = 28) seguido por *T. rosea* (n = 19). Cada árbol a lo largo de la calle en estudio almacena en promedio 258.82 kg de carbono (±1.96 kgC/árbol, n = 72) con un costo asociado de \$20.31 (±0.53 \$/tC, n = 72). En total almacenan 8.63 toneladas de carbono (tC), que corresponde a una remoción estimada de

37.27 tC/ha y equivale a un costo asociado de \$1,462.89. El estimado de carbono removido y almacenado por los árboles en Chiquimula (37.27 tC/ha) es mucho más baja que la reportada en ciudades de Estados Unidos. Por ejemplo, los árboles localizados en la ciudad de Chicago pueden almacenar alrededor de 0.9 millones toneladas de carbono (128 tC/ha), mientras que en los condados de Cook y DuPage se almacenan 3.2 y 1.2 millones toneladas de carbono (75.5 tC/ha y 95.0 tC/ha respectivamente) (Nowak, 1994). Sin embargo, en ciudades de China como Beijing (Yang 2005) y Shenyang (Liy y Li, 2012) el carbono almacenado por hectárea (7.47 tC/ha y 7.40 tC/ha respectivamente) es mucho más bajo que el reportado para Chiquimula, pero en términos generales la cantidad de carbono almacenado en los árboles de estas ciudades de Asia sobrepasa las 220,000 toneladas. Sin embargo, hay que considerar que nuestros datos estuvieron sesgados a zonas con

árboles y por lo tanto no representa el paisaje urbano en su totalidad, este contenido de carbono podría reducirse si se considera el total de calles de la ciudad. Aunque nuestros datos podrían estar arrojando algunas tendencias, advertimos que el área muestreada es muy pequeña y no incorpora otras calles y áreas de la ciudad, por lo que se necesita mejorar el diseño para fortalecer nuestros resultados. Recomendamos estandarizar las ecuaciones alométricas y el diseño para tener mejor punto de comparación. Para estandarizar los métodos, Nowak et al (2008) recomienda un diseño estratificado con 200 parcelas (cada parcela de 0.04 ha con un radio de 11.3 m) distribuidas al azar para tener un estimado real de los costos y servicios a nivel de ciudad. Este número de parcelas reduce el esfuerzo y costo de recolección de datos en campo, así como la reducción del error estándar relativo sobre el total de árboles a nivel de ciudad (Nowak et al, 2008).

Con base al análisis de varianza y Tukey, existe una diferencia significativa en el carbono almacenado ($F_{3,60} = 12.30, p < 0.001$) y el costo asociado ($F_{3,60} = 6.59, p < 0.001$) entre las especies. *Ficus benjamina* y *A. indica* reportaron promedios similares y fueron significativamente mas altos (a excepción de la comparación entre *T. rosea* vs. *A. indica*, $p > 0.05$) a los valores observados en las otras dos especies (Tabla No. 1). *Caesalpinia velutina* y *Eucalyptus globulus* son dos especies con poca representación en el área de estudio ($n = 2$ por especie), pero ambas presentan alto contenido de carbono y alto costo asociado a este servicio (Tabla No. 1). Esta diferencia puede orientar el uso de especies en zonas urbanas si las propuestas son orientadas a la reducción de CO₂ por ejemplo; sin embargo, existe discrepancia en la presencia de algunas especies cuando son considerados los temas de arquitectura y urbanismo por daño a la infraestructura vial, sistema de alcantarillado

y propiedad privada (e.g., casas, edificios, e infraestructura similar). Por ejemplo, *F. benjamina* es una especie bastante común en ciudades tropicales como México, Brasil y Colombia, pero la aceptación por parte de ciudadanos y líderes municipales es negativa a causa de la forma de crecimiento de sus raíces que fractura el concreto y fundiciones de casas y edificios (Vargas-Garzón y Molina-Prieto, 2012). Esta especie también presenta impactos similares en las calles y cercas perimetrales de cemento en Chiquimula (M. Pérez, Obs. Pers.) y ciudad de Guatemala (Molina Gómez, 1994). Sin embargo, resaltamos la función y servicios que ofrece *F. benjamina* ya que resulta ser un elemento importante para el bienestar social porque remueve y almacena gases de efecto invernadero (e.g. CO₂, datos de este estudio), porque puede reducir hasta 10 °C la temperatura del aire por la forma de la copa y densidad del follaje (Jiménez, 2008), además de que remueve metales pesados dispersos en la atmósfera urbana (Aguilar Reyes et al, 2012; Guzmán-Morales et al, 2011). Factores que deben contemplarse al momento de discutir su uso en áreas urbanas.

REGULACIÓN DEL MICROCLIMA

En cuanto a las condiciones micro climáticas se reportó una diferencia significativa entre la temperatura del sitio expuesto y aquellas reportadas bajo la copa de árboles ($F_{7,320} = 4.02, p = 0.0003$). Las áreas abiertas presentaron un promedio de 31.0°C, mientras que la temperatura promedio bajo la sombra de árboles fue de 28.2°C (Gráfica No. 3). Con base a nuestros datos, los árboles reducen en promedio 2.8° C la temperatura del aire en la zona urbana de Chiquimula. Si consideramos las temperaturas diurnas máximas reportadas para la ciudad durante los tres días de muestreo, los árboles reducen la temperatura hasta 9.3°C (máxima temperatura reportada en áreas abiertas = 43.7°C, máxima temperatura bajo



sombra =34.4°C). El microclima debajo de cualquier tipo de cobertura vegetal (árboles, patios y VBS) son similares por lo tanto la regulación de la temperatura parece ser bastante homogénea en cualquier tipo de copa (todos los p-valores > 0.05). El patrón micro climático reportado en este estudio es similar al documentado para la ciudad de Beijing, donde la copa de árboles puede reducir en 1.6 a 2.5°C la temperatura del aire en comparación con zonas abiertas (Yan et al, 2012). En otras ciudades como Taipei y Berlin, las áreas verdes reducen en menor grado la temperatura del aire, pero son consideradas como "islas de frío" ya que presentan condiciones más frescas que zonas sin ningún tipo de cobertura (Chang et al, 2007; Meier y Scherer, 2012). Sin embargo, los árboles pueden reducir su efecto regulador por las características de la copa y área foliar, o por la dominancia de la infraestructura gris circundante (Meier y Scherer, 2012). El diseño del presente estudio nos limita un análisis sobre la regulación de temperatura y el costo monetario asociado a este servicio en la ciudad de Chiquimula; pero se sabe que la función reguladora de los árboles disminuye el costo de energía eléctrica por reducir el uso de calefacción y aire acondicionado (Brack, 2002; McPherson et al, 1994; McPherson et al, 2005). Considerando que la ciudad de Chiquimula esta localizada geográficamente en áreas de bosque seco, los árboles son elementos que deben priorizarse en los proyectos de planificación urbana para amortiguar las altas temperaturas que en esta ciudad se reportan, tomando en cuenta siempre una distribución espacial eficaz a fin de incrementar los servicios que éstos ofrecen.

EVALUACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE ÁRBOLES UTILIZANDO I-TREE CANOPY:

A nivel de la ciudad de Chiquimula el tipo de cobertura que domina es la relacionada a edificios (**28.8 % ± 1.85**), seguida por la cobertura de árboles (23.7 % ± 1.74) y superficies permeables cubiertas con grama (**22.0 % ± 1.69**). Superficies con suelo expuesto e infraestructura vial impermeable (calles hechas de cemento o asfalto) presentaron el mismo porcentaje de cobertura (**12.2 % ± 1.33**). El elemento de agua y otras categorías se encuentran en porcentajes menores al **1%** (Gráfica No. 2). A nivel de ciudad, y unificando categorías para área verde (árboles y grama) y área gris (edificios y superficies impermeables), los porcentajes de cobertura son bastante similares (45.7% y 41.0% respectivamente); contrario a lo reportado para otras ciudades como Antigua Guatemala en donde las superficies impermeables (carreteras y edificios) dominan el paisaje urbano con un 67% de cobertura (Castillo et al, 2013).). La cobertura de área verde en Chiquimula es bastante similar a la reportada para otras ciudades del trópico como San Juan, Puerto Rico (**41.7%**), pero también son similares al porcentaje de cobertura registrados en ciudades templadas como Los Ángeles California (**43.3%**) y Boston Massachusetts (**47.9%**) (Ramos-González, 2014). Un patrón interesante es que la mayoría de los árboles en la ciudad de Chiquimula parece estar en los patios de las casas, y una menor proporción en parques, calles y avenidas. Las calles y avenidas son bastante angostas y esto limita la siembra de árboles, además del número reducido de parques o áreas verdes de uso público. Este patrón de distribución de áreas verdes ha sido reportado para otras ciudades categorizándolas como isletas verdes (Ramos-González, 2014),

en donde la permanencia de árboles, y en general la sustentabilidad de la ciudad, parece estar definida por las amenidades de los habitantes. Un tema que requiere mayor atención y análisis para dirigir proyectos de conservación de las áreas verdes en la ciudad de Chiquimula.

A nivel de ciudad, los árboles remueven entre 221 kg a más de 49kt de contaminantes atmosféricos con un costo de \$88.00 hasta más de un millón de dólares. Al analizar los beneficios asociados a cobertura de árboles los costos del servicio de remoción de contaminantes resultan ser bastante altos (Tabla No. 2); y por lo tanto, un argumento y justificación válida para conservar y promover el uso de árboles en zonas urbanas del país. La mayoría de los contaminantes atmosféricos evaluados por la herramienta i-Tree Canopy han estado relacionados a la incidencia de casos respiratorios reportados en salas de emergencia en hospitales por exposición a PM_{10} (Schwartz et al, 1993); a la reducción de un 3% y 6% la función pulmonar cuando los valores de PM_{10} se elevan a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Pope et al, 1991), o a la inflamación de las células en las vías respiratorias cuando las concentraciones de ozono alcanzan los 0.4 ppm (Koren et al, 1989); así como a la relación en el incremento de la mortalidad por elevadas concentraciones de SO_2 ($299 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Schwartz y Dockery, 1992). La ciudad de Chiquimula no cuenta con monitores de calidad de aire, pero extrapolando los patrones de ciudad de Guatemala, los contaminantes atmosféricos (a excepción de dióxido nitroso) sobrepasan los límites sugeridos por la Organización Mundial de la Salud y por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Instituto Nacional de Estadística, 2009; Oliva, 2010). La concentración de contaminantes no es homogénea en el tiempo y el espacio, pero los habitantes pueden estar expuestos a valores muy altos en algunos

meses del año o en áreas de mayor flujo vehicular, alcanzando concentraciones de hasta $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y SO_2 respectivamente (Instituto Nacional de Estadística, 2009; Oliva, 2010). La probabilidad entonces de que los habitantes de zonas urbanas presenten enfermedades respiratorias se incrementa. A nivel de departamento, en el año 2013 Chiquimula presentó un porcentaje de 61.6% defunciones relacionada a Neumonía (INE, 2014; información en línea), y entre las enfermedades más recurrentes figuran las relacionadas al asma y alergias (INYPESA, 2013), casos que guardan una relación con los contaminantes atmosféricos descritos en la Tabla No. 2 (Instituto Nacional de Estadística, 2009; Oliva, 2010). Aunque no se descarta una relación entre contaminantes atmosféricos y la frecuencia de enfermedades respiratorias reportadas para Chiquimula, existe la tendencia y beneficio de los árboles en evitar altos casos de mortalidad y enfermedades respiratorias agudas (Nowak et al, 2014). Resaltamos la importancia de los árboles en su función de remover contaminantes producidos por actividades antropogénicas, además de remover y almacenar miles de toneladas de dióxido de carbono generado por la industria y quema de combustible fósil, elementos importantes en la mitigación contra el cambio climático.

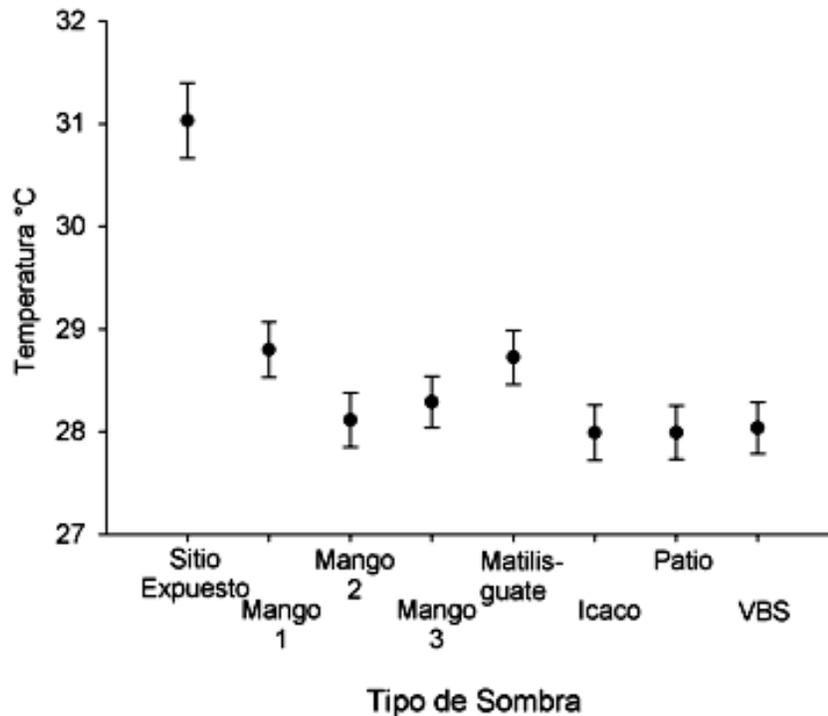
PERCEPCIÓN SOCIAL SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE ESPECIES ARBÓREAS EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULA:

Un total de 44 personas (88%) afirmaron tener árboles en el área de la vivienda, mientras que 6 personas (12%) indicaron lo contrario. Sin embargo, la ausencia de árboles en la vivienda refiere al espacio como el factor limitante. La mayoría coincidieron en tener árboles frutales en sus patios, tanto por el



ESPECE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	IMPORTANCIA Y RECOMENDACIONES
<i>Tabebuia rosea</i>	Buena	El uso de esta especie puede ser un factor importante para atraer polinizadores como: colibríes, abejas, bombus y paserinos.
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	Mala	Puede acidificar los suelos y evitar el establecimiento de otras especies, además causa daños a la infraestructura gris.
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Buena	Aunque el impacto es considerado "Bueno", la alta concentración de taninos puede generar suelos ácidos evitando el establecimiento de otras especies.
<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	Buena	Atrae polinizadores y otros insectos como luciérnagas
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth	Mala	Raíces expuestas genera daño a la infraestructura. Pero es recurso importante para especies nativas como murciélagos, se recomienda sembrarla en lugares abiertos.
<i>Olmediella betschleriana</i> (Göpp.) Loes.	Buena	Es una planta de zonas altas, el uso en ciudades de altitudes bajas y secas podría ser limitado.
<i>Casimiroa sapota</i> Oerst.	Mala	Puede causar daño a la infraestructura, pero es un recurso alimenticio para aves y mamíferos (incluyendo humanos)
<i>Citharexylum donell-smithii</i> Greenm.	Buena	Atrae polinizadores como mariposas, y es un recurso alimenticio para algunas aves.
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth.	Buena	Atrae polinizadores como colibríes, y funciona como recurso medicinal.

TABLA NO. 2: Especies nativas reportadas para las zonas urbanas de Guatemala (extraídas de Molina Gómez 1994). Nivel de aceptación con base a Molina Gómez (1994), que incluye características de las especies por su valor ornamental y su impacto en la infraestructura gris. En donde "Buena" es considerada una especie altamente recomendada para su uso por su valor estético y bajo impacto en la infraestructura; "Mala" refiere a las especies que causan un daño significativo a la infraestructura aunque tenga valor estético. Importancia y recomendaciones con base al conocimiento del primer autor.



Gráfica No. 3. Promedio de la temperatura diurna reportada en distintos tipo de sombra. Círculos y llaves corresponden a un estimado de la cobertura y su error estándar. VBS = Vegetación de Bosque Seco (parche detrás del vivero de plantas del Centro Universitario de Oriente-CUNORI).

servicio de alimento como el de regulación de la temperatura. En general la percepción social respecto a los árboles en zona urbana de Chiquimula es la de proporcionar sombra (50%), alimento (46%) y producción de oxígeno (40%). El 12% mencionó que los árboles también presentan otros servicios como recursos medicinales, fuente de madera y bienestar social (e.g., felicidad). Con base a los servicios ecosistémicos estipulados en la evaluación de los ecosistemas del milenio (World Resources Institute, 2005), la población de Chiquimula dividió los servicios generados por los árboles en las siguientes categorías: 50% aprovisionamiento (producción de agua, alimento, oxígeno), 46% regulación (control de clima y contaminantes), 12% en lo cultural (espiritual y recreación) y de soporte (ciclo de nutrientes y polinización).

Otro dato interesante que revela esta encuesta, es que el 88% de las personas participantes afirmaron que es necesario plantar más árboles dentro de la ciudad, ya que las temperaturas registradas en época seca son muy altas y éstos brindan sombra y "frescura" al ambiente. Estudios recientes han demostrado que las altas temperaturas afectan el comportamiento de los habitantes en las áreas urbanas por estrés térmico, además de una correlación entre las condiciones termales y el uso de áreas para la recreación o de uso público (Bowler et al, 2010; Kariminia, 2012). Los pobladores de Chiquimula no sólo conocen la importancia de los árboles, sino que también el 98% de los encuestados dijeron están dispuestos a plantar un árbol dentro de su huerto/patio prefiriendo especies frutales (41%), que brinden sombra (29%), o que presenten un valor estético (26%). En general los habitantes perciben que los árboles son valiosos, ya que juegan un papel importante en la producción de oxígeno y en la conservación de la biodiversidad, siendo además un factor clave en la captación de

agua de lluvia y prevención de derrumbes (aunque este último no sea necesariamente un servicio típico en la ciudad por su topografía mayormente plana). Los resultados son bastante consistentes con la opinión y percepción de pobladores de otras ciudades como Antigua Guatemala y Quetzaltenango; en la que incluyen beneficios estéticos y visuales, servicios relacionados a la regulación de temperatura y lluvia, así como remoción de contaminantes atmosféricos (Castillo et al, 2013). Sin embargo, se necesita mayor esfuerzo y encuestas mejor estructuradas que recopilen tanto información de la sociedad civil, comercios privados (e.g., viveros) y trabajadores municipales.

• CONCLUSIONES

Chiquimula presenta un estimado de 23.7% del área urbana cubierta por árboles. Estos árboles remueven entre 221 kg a más de 49 kt de contaminantes con un costo asociado de \$88.00 hasta más de un millón de dólares. Estos servicios refieren a los de remoción de contaminantes atmosféricos (CO, NO₂, O₃, PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO₂) que tienen impacto, directo o indirecto, en la salud de sus habitantes.

A nivel de calle se reportaron 72 árboles distribuidos en 12 especies, siendo las más frecuentes las especies introducidas. A nivel de calle se almacena un total de 37.27 tC/ha con un costo equivalente a \$1,462.89. Cada árbol almacena en promedio 258.82 kg de carbono y equivale a un costo de remoción de carbono de \$20.31/árbol. Considerando que los árboles son elementos importantes en la remoción y almacenamiento de gases de efecto invernadero como el bióxido de carbono, su utilización en áreas urbanas es de prioridad considerando las altas emisiones de este gas por uso de combustible fósil.



Además de los servicios de remoción de contaminantes, los árboles reducen en promedio 2.8°C la temperatura del aire en la zona urbana de Chiquimula. La ciudad de Chiquimula está localizada en áreas de bosque seco, por lo tanto los árboles son elementos que deben priorizarse en los proyectos de planificación urbana para amortiguar las altas temperaturas y olas de calor que se reportan en esta ciudad.

Los habitantes de la ciudad de Chiquimula están consientes del rol que juegan los árboles en el funcionamiento de la zona urbana, esto implica un conocimiento sobre los servicios que éstos generan en términos de regulación del clima, remoción de contaminantes, así como los relacionados a soporte (e.g., alimento y medicina) y cultural (e.g., recreación). Esta percepción y conocimiento brinda una ventana de oportunidades para integrar a los ciudadanos en los proyectos verdes de planificación urbana.

• RECOMENDACIONES

En la ciudad de Chiquimula las "propuestas verdes" en la planificación urbana podrían presentar varios inconvenientes: **i)** las calles y avenidas son bastante angostas y limitaría el espacio para la siembra de árboles; **ii)** el desarrollo informal y formal de puestos comerciales a lo largo de las calles y avenidas podría presentar un obstáculo para el desarrollo de estas propuestas; y **iii)** el rechazo por parte de la población y líderes municipales que presenten como premisa el daño a la infraestructura gris y el costo económico relacionado a gastos de mantenimiento. Para hacer frente a este posible escenario se debe invertir en educar al ciudadano a través de talleres ambientales, charlas en colegios y escuelas públicas, integrar a los habitantes en los proyectos de planificación urbana (e.g., reforestación de terrenos baldíos, viveros

comunitarios), o crear incentivos (no necesariamente económicos) que le permita al dueño de los patios la permanencia de sus árboles.

Es necesario resaltar que la encuesta desarrollada fue sencilla y enfocada propiamente a beneficios, por lo que es necesario profundizar en este aspecto e incorporar posibles perjuicios que los habitantes pudieran percibir tales como: acumulación de hojas y ramas en el suelo y techos, daños a la propiedad por levantamiento de raíces, obstrucción de las líneas de alumbrado eléctrico entre otros (Roy et al, 2012). Esta información permitiría integrar la percepción actual y desarrollar propuestas de planificación urbana más afines a la realidad y bienestar del ciudadano. Aunque todas las especies aquí reportadas juegan un rol fundamental en servicios de regulación del micro clima, almacenamiento de CO₂ y remoción de contaminantes atmosféricos, algunas pueden generar controversia por los daños que causan a la infraestructura gris. Sin embargo, la opinión de las personas sobre qué árbol sembrar, dónde sembrar, y qué tipo de árbol sembrar, puede ser una herramienta valiosa para crear consenso y desarrollar las propuestas verdes participativas..

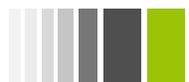
Este estudio, aunque preliminar, genera información relevante sobre el conocimiento general y función de los árboles en la ciudad de Chiquimula, además de ser un tema socio-ecológico con mucho futuro en las ciudades del trópico. Actualmente, existen proyectos en algunas ciudades del trópico en donde se está utilizando la herramienta i-Tree (<https://www.itreetools.org/>) para cuantificar los servicios ecosistémicos de los árboles y los costos asociados a estos servicios, es un programa de fácil acceso y gratuito. Por lo tanto, sugerimos el uso de esta herramienta para estandarizar los métodos y que los resultados puedan ser comparables a nivel mundial.

• AGRADECIMIENTOS

Este artículo forma parte del proyecto (o curso graduado) "Análisis de Sistemas Socio Ecológicos: Herramientas para la Resiliencia Comunitaria", el cual tiene como objetivo la capacitación de estudiantes y profesionales en el tema de servicios ecosistémicos. Este proyecto ha sido realizado gracias al apoyo de Cáritas Zacapa/ASPRODE, Universidad de San Carlos de Guatemala-USAC-, Centro de Estudios Conservacionistas-CECON-, Centro Universitario de Oriente-CUNORI- y Wetlands International. Agradecemos a la Universidad de Puerto Rico - Recinto de Río Piedras y al Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (IITF) por la capacitación del primer autor en el manejo y análisis de la herramienta i-Tree. Además de agradecer a los dos revisores anónimos por los comentarios y sugerencias que ayudaron a mejorar considerablemente el manuscrito.

• LITERATURA CITADA

- Aguilar Reyes B, Cejudo Ruiz R, Martínez-Cruz J, Bautista F, Goguitchaichvili A, Carvallo C, Morales J (2012) Ficus benjamina leaves as indicator of atmospheric pollution: a reconnaissance study. *Studia Geophysica et Geodaetica* 56: 879-887.
- Barret ME, Walsh PM, Malina Jr. JF, Charbeneau RJ (1998) Performance of vegetation controls for treating highway runoff. *Journal of Environmental Engineering* 124: 1121-1128
- Bowler DE, Buyung-Ali L, Knight TM, Pullin AS (2010) Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97: 147-155.
- Brack C (2002) Pollution mitigation and carbón sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution* 116: 195-200.
- Castillo, F., J. García, A. López, M. Celada. 2013. Los servicios ecosistémicos urbanos en las ciudades de Quetzaltenango y la Antigua Guatemala. Dirección General de Investigaciones, Universidad de San Carlos de Guatemala. Proyecto DIGI 2.26. pp. 113.
- Chang C-R, Li M-H, Chang S-D (2007) A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning* 80: 386-395.
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Hguchi N, Kira T, Lescure J-P, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99.
- Depietri Y, Renaud FG, Kallis G (2012) heat waves and floods in urban areas: policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science* 7: 95-107
- Díaz Gutiérrez, RA (2008) Caracterización de la zona productora de chile pimiento (*Capsicum frutescens*) de los municipios de Camotán, Ipala, Esquipulas y Chiquimula, para la propuesta de líneas de acción en la producción y comercialización de las asociaciones de FASAGUA. Tesis Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 50 pp.
- Dimoudi A, Nikolopoulou M (2003) Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings* 35: 69-76
- Development Core Team (2008) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.<http://www.r-project.org/>
- Dobbs C, Escobedo FJ, Zipperer WC (2011) A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning* 99: 196-206.
- Gaston KJ, Warren PH, Thompson K, Smith RM (2005) Urban domestic gardens (IV): the extent of the resource and its associated features. *Biodiversity and Conservation* 14: 3327-3349.
- Guzmán-Morales J, Morton-Bermea O, Hernández-Álvarez E, Rodríguez-Salazar MT, García-Arreola ME, Tapia-Cruz V (2011) Assessment of atmospheric metal pollution in the urban area of Mexico City, using *Ficus benjamina* as biomonitor. *Bull Environ Contam Toxicol* 86: 495-500.



- Hirabayashi S (2014) i-Tree Canopy air pollutant removal and monetary value model description. Disponible en: http://www.itreetools.org/canopy/resources/iTree_Canopy_Methodology.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (2009) Anuario estadístico ambiental de Guatemala 2008. Sección de Estadísticas ambientales, Guatemala. 354 pp.
- Jim CY, Chen WY (2008) Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management* 88: 665-676.
- Jiménez OE (2008) Índice de confort de la vegetación. *Revista Nodo* 3: 49-70.
- Kariminia S, Ahmed SSh, Norhati I (2012) Landscape attributes, microclimate and thermal comfort of an urban square in moderate and dry climate. *Advanced Materials Research* 610-613: 3780-3784.
- Koren HS, Devlin RB, Graham DE, Mann R, McGee MP, Horstman DH, Kozumbo WJ, Becker S, House DE, McDonell WF, and Bromberg PA (1989) Ozone-induced inflammation in the lower airways of human subjects. *American Review of Respiratory Disease* 139: 407-415.
- Liu C, Li X (2012) Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *El Servier, Urban Forestry & Urban Greening* 11: 121-128.
- McPherson EG (1994) Energy-Saving Potential of trees in Chicago. In: *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. McPherson et al. (Ed.) Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 95-114
- McPherson EG (1994) Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24: 215-223. McPherson EG, Simpson J, Peper P (2005) Municipal Forest Benefits and Costs in Five US Cities. *Journal of Forestry* December: 411-416.
- Meier F, Scherer D (2012) Spatial and temporal variability of urban tree canopy temperature during summer 2010 in Berlin, Germany. *Theoretical and Applied Climatology* 110: 373-384
- McMichael AJ (2000) The urban environment and health in a world of increasing globalization: issues for developing countries. *Bulletin of the World Health Organization* 78: 1117-1126.
- Molina Gómez RJ (1994) Efecto sobre la infraestructura vial de las especies arbóreas utilizadas como ornato en la ciudad de Guatemala. Tesis de Licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. pp. 42.
- Nowak DJ (1994) Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. McPherson et al. (Ed.) Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.
- Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC, Hoehn RE, Walton T, Bond J (2008) A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture & Urban Forestry* 34: 347-358.
- Nowak DJ, Greenfield EJ, Hoehn RE, Lapoint E (2013) Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution* 178: 229-236.
- Nowak DJ, 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.
- Oliva P (2010) Deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Guatemala, un aspecto ambiental que limita el desarrollo sostenible. *Revista Científica* 18: 1-10.
- Pope III CA, Dockery DW, Spengler JD, and Mark ER (1991) Respiratory Health and PM10 Pollution: A Daily Time Series Analysis. *American Review of Respiratory Disease* 144: 668-674.
- Pope III CA, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath Jr CW (1995) Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 151: 669-679.

- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available online at <http://www.R-project.org/>. Accessed 13 August 2013.
- Ramos-González OM (2014) The Green areas of San Juan, Puerto Rico. *Ecology and Society* 19: 21-<http://dx.doi.org/10.5751/ES-06598-190321>
- Ramírez Pazos JA (2012) Esquema director de ordenamiento urbanístico e identificación de proyectos urbanos estratégicos para el casco urbano de la ciudad de Chiquimula 2011-2031. Tesis de Maestría en Desarrollo Urbano y Territorio, Universidad de San Carlos de Guatemala, 210 pp.
- Roy S, Byrne J, Pickering C (2012) A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening* 11: 351-363.
- Schwartz J and Dockery DW (1992) Increased Mortality in Philadelphia Associated with Daily Air Pollution Concentrations. *American Review of Respiratory Disease* 145: 600-604.
- Schwartz J, Slater D, Larson TV, Pierson WE, and Koenig JQ (1993) Particulate Air Pollution and Hospital Emergency Room Visits for Asthma in Seattle. *American Review of Respiratory Disease* 147: 826-831.
- Sansalone J, and Buchberger S (1997) Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water. *Journal of Environmental Engineering* 123: 134-143.
- Tixier G, Lafont M, Grapentine L, Rochfort Q, Marsalek J (2011) Ecological risk assessment of urban stormwater ponds: Literature review and proposal of a new conceptual approach providing ecological quality goals and the associated bioassessment tools. *Ecological indicators* 11: 1497-1506.
- Vargas-Garzón B, Molina-Prieto LF (2012) *Ficus benjamina* L. in the cities: high number of individuals, severe damages to infrastructure and expensive economic losses. *Revista Nodo* 13: 93-101.
- Vinya R, Syampungani S, Kasumu EC, Monde C, Kasubika R (2011) Preliminary study on the drivers of deforestation and potential for REDD+ in Zambia. A consultancy report prepared for Forestry Department and FAO under the National UN-REDD+ Programme Ministry of Lands & Natural Resources. Lusaka, Zambia.
- World Resources Institute. 2005. <http://www.unep.org/>. Recuperado el 5 de julio de 2015, de <http://www.unep.org/maweb/documents/document.354.aspx.pdf>
- Yan H, Wang X, Hao P, Dong L (2012) Study on the microclimatic characteristics and human comfort of park plant communities in summer. *Procedia Environmental Science* 13: 755-765.
- Yang J, McBride J, Zhou J (2005) The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening* 3: 65-78.
- INYPSA (2013) Plan de ordenamiento y desarrollo territorial municipal (PODTM). Municipio de Chiquimula, Guatemala. 219 pp.
- Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J (2009) Global wood density database. *Dryad*. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
- Zhang B, Xie G, Zhang C, Zhang J (2012) The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management* 100: 65-71