

# Estimación de los servicios ecosistémicos que ofrece un bosque urbano en la zona metropolitana de Monterrey

M.A. Flores-Ulloa<sup>1\*</sup>, A. Rocha-Estrada<sup>1</sup>, S.M. Salcedo-Martínez<sup>1</sup>,  
F. Zubieta-Méndez<sup>2</sup> y M.A. Alvarado-Vázquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León,  
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica  
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,  
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.

<sup>2</sup> Dirección de Impacto y Riesgo Ambiental.  
Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de Nuevo León.

\*mayela.floresulloa@gmail.com

## Resumen

El propósito del presente estudio es el de estimar los servicios ecosistémicos que aporta el arbolado de un bosque urbano en la zona metropolitana de Monterrey. El sitio de estudio se encuentra en la Provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo Norte, su geología es de roca sedimentaria, su climatología correspondiente a BS1hw conocido como estepario semiseco, se encuentra dentro de la cuenca Río Salinas y la subcuenca Bajo Salinas. Se identificaron 15 especies arbóreas y se llevó a cabo la estimación de los servicios ecosistémicos utilizando la herramienta i-Tree Eco. Los principales beneficios aportados por el arbolado se clasifican en servicios de regulación como la eliminación de la contaminación, el almacenamiento y secuestro de carbono, la producción de oxígeno y la escorrentía evitada. A partir de los resultados obtenidos en este estudio se podrá mejorar el manejo y mantenimiento del arbolado, además de servir como antecedente para la planeación de proyectos de reforestación y desarrollo urbano.

**Palabras clave:** Arbolado, servicios ecosistémicos, i-Tree Eco, Nuevo León

## Abstract

The purpose of this study is to estimate the ecosystem services provided by the trees of an urban forest in the metropolitan area of Monterrey. The study site is located in the North Gulf Coastal Plain physiographic province, its geology is sedimentary rock, its climatology corresponds to BS1hw known as semi-dry steppe, it is located within the Río Salinas basin and the Bajo Salinas sub-basin. 15 tree species were identified and the estimation of ecosystem services was carried out using the i-Tree Eco tool. The main benefits provided by trees are classified into regulatory services such as the elimination of pollution, carbon storage and sequestration, oxygen production and avoided runoff. Based on the results obtained in this study, the management and maintenance of trees can be improved, in addition to serving as a background for the planning of reforestation and urban development projects.

**Key words:** Trees, ecosystem services, i-Tree Eco, Nuevo León

## Introducción

Las actividades humanas han transformado áreas naturales en sistemas agropecuarios, industriales y habitacionales (Balvanera y Cotler, 2009), lo que ha reducido los espacios verdes en ciudades densamente pobladas (Jiménez Pérez *et al.*, 2013). La modificación y deterioro de los ecosistemas pueden abordarse mediante actividades de mitigación y restauración, restaurando áreas naturales o creando nuevas áreas verdes (Concha *et al.*, 2018). Los beneficios que obtenemos de la naturaleza se les conoce como servicios ecosistémicos y estos se dividen en cuatro categorías, provisión, regulación, sustento y culturales (Food Agriculture Organization-FAO, 2020; Alcamo *et al.*, 2003).

En las ciudades obtenemos estos beneficios del Bosque urbano. Los bosques urbanos, comprenden rodales y árboles individuales en áreas urbanas y periurbanas, son fundamentales para la calidad de vida, proporcionando espacios de recreación, generando empleos y mejorando la calidad del aire y el agua (Benavides, 1989; Benavides y Fernández, 2012; Nowak *et al.*, 2006). Además, previenen desastres naturales en áreas marginales y enriquecen la biodiversidad (Sorensen *et al.*, 1998). Este estudio estima los beneficios del arbolado urbano en la zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León, para garantizar un ambiente sano y el bienestar de sus ciudadanos, conforme a la ley.

## Material y métodos

El Bosque urbano objeto del presente estudio, también conocido como bosque temático, está ubicado en el Campo Militar Número 7-A en Apodaca, Nuevo León. Para estimar la población de árboles, se utilizó un muestreo aleatorio estratificado, dividiendo la población en subgrupos homogéneos y realizando un muestreo aleatorio simple dentro de cada subgrupo (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se establecieron parcelas circulares de 250 m<sup>2</sup> con un radio de 8.92 m, ya que esta figura minimiza problemas de borde y reduce los puntos de referencia necesarios (Gadow y Hui, 1999; Corral Rivas *et al.*, 2013). Este tamaño de parcela es adecuado para evaluar árboles con diámetros meno-

res a 10 o 15 cm (Romahn de la Vega y Ramírez, 2010).

Las variables medidas para cada árbol dentro de la parcela incluyeron identificación del predio, coordenada central de la parcela, identificación del árbol, categoría (plantado, crítico, muerto o natural), especie, uso de suelo, diámetro a la altura del pecho (DAP), porcentaje de condición de la copa, altura, altura superior de la copa viva, altura de la base de copa, ancho y largo de copa, porcentaje de copa faltante, exposición a la luz, coordenada del árbol, tareas de mantenimiento y anidaciones. Para determinar el número necesario de sitios de muestreo, se realizó un muestreo piloto considerando la altura y diámetro normal. A partir de estas variables se calculó el volumen, la desviación estándar ( $s^2$ ) y el coeficiente de variación (CV). Estos datos se usaron en un modelo matemático para estimar la población de árboles (Alanís Rodríguez *et al.*, 2020), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 * CV^2}{E^2}$$

A partir de la información del volumen forestal se aplicó el modelo matemático para obtener el número de parcelas a muestrear, obteniendo un total 59 parcelas (Cuadro 1).

## Resultados y discusión

Durante la estratificación y muestreo piloto, se logró identificar especies propias de matorral tamaulipeco y

**Cuadro 1. Número de parcelas por estrato.**

Estrato	Descripción	Superficie (ha)	No. de parcelas
1	Encinos diversas espe-	13.666	23
2	Encinos siempre verde	12.827	14
3	Especies propias de	12.768	22

de matorral submontano (Alanís Flores *et al.*, 1996). El bosque temático se compone de 15 especies arbóreas. Las especies presentes en el bosque son especies nativas de Nuevo León, sin embargo, algunas no corresponden al tipo de vegetación como *Quercus fusiformis*, *Q. canbyi* y *Q. polymorpha*, ya que pertenecen a bosques de encinos, bosque pino-encino, matorral submontano y chaparral (Alanís Flores *et al.*, 1996; INEGI, 2017). Las especies que presentaron mayor tamaño de copa, diámetro y mejor condición son *Vachellia farnesiana*, *Prosopis glandulosa*, *Parkinsonia aculeata* y *P. texana*, debido a que son especies adaptadas a los hábitats áridos o semiáridos (Alanís Flores *et al.*, 1996). Sin embargo, dichas especies solo representan el 23.17% del bosque, siendo *Q. fusiformis* la especie con mayor población que corresponde al 54.37% del bosque urbano. Se inventariaron un total 432 árboles, registrando 150 árboles para el estrato 1, 114 árboles para el estrato 2 y 168 árboles para el estrato 3. La estimación de los servicios ecosistémicos se realizó por estrato, mediante la extrapolación del resultado de cada estrato. En el Cuadro 2 se presenta el número de árboles y especies estimadas por estrato.

El software i-Tree Eco se utilizó para cuantificar los servicios ecosistémicos proporcionados por cada estrato del bosque urbano. Los resultados muestran que los árboles eliminaron un total de 359.02 kg de contaminantes del aire al año, incluyendo ozono (O<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>), con un valor asociado de \$9,518.85 pesos mexicanos (Figura 1).

El almacenamiento de carbono en el bosque urbano es de 140.27 toneladas por año. El estrato que mayor almacenamiento de carbono presentó fue el estrato 3 (Cuadro 3), con *Vachellia farnesiana*, *Prosopis glandulosa* y *Quercus fusiformis* como las especies más destacadas (Figura 2). El secuestro y almacenamiento de carbono dependerá de la tasa de crecimiento y la densidad de madera, los cuales son aspectos que le permiten acumular más carbono por unidad de volumen (Domínguez Madrid, 2016). Los árboles no solo almacenan el dióxido de carbono en el tronco, también son un depósito importante de otros gases de efecto invernadero (GEI) y contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo a través de la acumulación de la materia orgánica (Schneider, 1989; Dávalos *et al.*, 2008).

El secuestro de carbono estimado es de 19.01 tonela-

**Cuadro 2. Especies, número de árboles y porcentaje estimado por estrato.**

Estrato	Especies	Número de	%
1	<i>Cordia boissieri</i>	24	1
	<i>Ebenopsis ebano</i>	120	3
	<i>Parkinsonia texana</i>	96	3
	<i>Prosopis glandulosa</i>	120	3
	<i>Quercus fusiformis</i>	2979	83
	<i>Senegalia greggii</i>	72	2
	<i>Vachellia farnesiana</i>	192	5
2	<i>Celtis laevigata</i>	188	4
	<i>Parkinsonia aculeata</i>	75	2
	<i>Platanus occidentalis</i>	37	1
	<i>Prosopis glandulosa</i>	37	1
	<i>Quercus canbyi</i>	37	1
	<i>Quercus fusiformis</i>	3390	79
	<i>Quercus polymorpha</i>	301	7
	<i>Vachellia farnesiana</i>	226	5
3	<i>Celtis laevigata</i>	791	19
	<i>Cordia boissieri</i>	395	10
	<i>Diospyros texana</i>	24	1
	<i>Ebenopsis ebano</i>	74	2
	<i>Ehretia anacua</i>	24	1
	<i>Parkinsonia aculeata</i>	889	21
	<i>Parkinsonia texana</i>	49	1
	<i>Platanus occidentalis</i>	24	1
	<i>Prosopis glandulosa</i>	865	21
	<i>Prosopis laevigata</i>	24	1
	<i>Quercus fusiformis</i>	321	8
	<i>Senegalia greggii</i>	49	1
	<i>Vachellia farnesiana</i>	617	15

das por año. El estrato 2 es el que más contribuye al secuestro de carbono (Cuadro 4), con *Q. fusiformis* como la especie principal debido a su mayor población, seguida de *V. farnesiana* y *P. aculeata* (Figura 3).

En cuanto a la producción total de oxígeno del bosque temático es de 30.8 toneladas/m<sup>3</sup> al año, siendo el estrato 3 generador de 17.3 toneladas/m<sup>3</sup> de oxígeno,

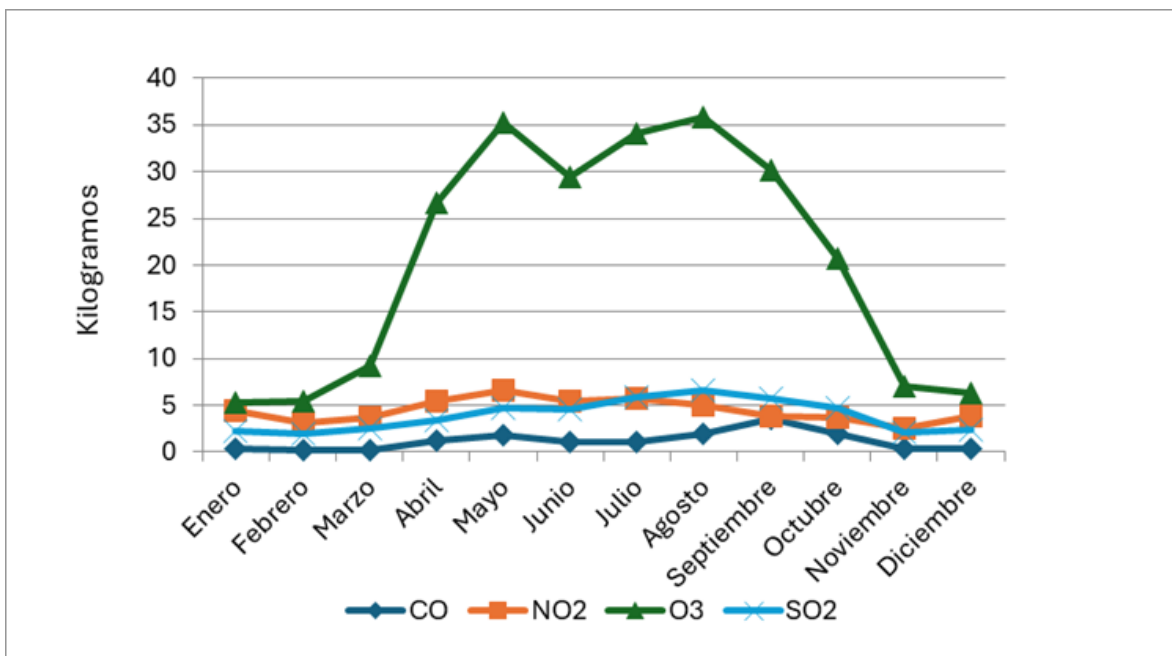


Figura 1. Eliminación de contaminación anual

seguido por el estrato 2. Las especies que más oxígeno producen son *Q. fusiformis*, *V. farnesiana* y *P. leavigata*. A este respecto Arroyave *et al.* (2019), mencionan que, si los árboles no están en buena condición, se ve disminuida la capacidad de prestar este beneficio.

Por otro lado, los árboles del bosque urbano contribuyeron a reducir el escurrimiento de agua en casi 298.89m<sup>3</sup>/año, con un valor de \$13,431.69 pesos. Basándose en los resultados, el estrato 1 fue el que evitó mayor escorrentía, debido a que presenta mayor superficie plantada. Sin embargo, tomando en cuenta toda el área de estudio, son *V. farnesiana* y *P. glandulosa* las especies que mayor escorrentía reducen.

Cuadro 3. Almacenamiento de carbono total y su valor por estrato (\$)

Estrato	Almacenamiento de carbono	Valor
1	90.59	334,232.21
2	9.75	414,41.44
3	39.93	98,451.85
<b>Total</b>	<b>140.27</b>	<b>474,125.51</b>

### Conclusión

El bosque temático se evaluó en \$35,500,177.01 pesos, aunque este valor podría ser mayor ya que no se cuantificaron todos los beneficios ecosistémicos y algunas especies no se incluyeron. También se omitieron beneficios relacionados con la biodiversidad, como polinización y refugio, por ejemplo, *Celtis laevigata* sirve de refugio para la mariposa *Asterocampa celtis* y *Quercus fusiformis* es la especie con más nidos de aves. Se destacaron los servicios de regulación, como la eliminación de contaminación, almacenamiento y secuestro de carbono, producción de oxígeno y escorrentía evitada, es-

Cuadro 4. Secuestro bruto de carbono y su valor por estrato (\$)

Estrato	Secuestro de	Valor
1	7.69	29560.41
2	4.89	16831.68
3	6.43	23705.57
<b>Total</b>	<b>19.01</b>	<b>\$70,097.65</b>

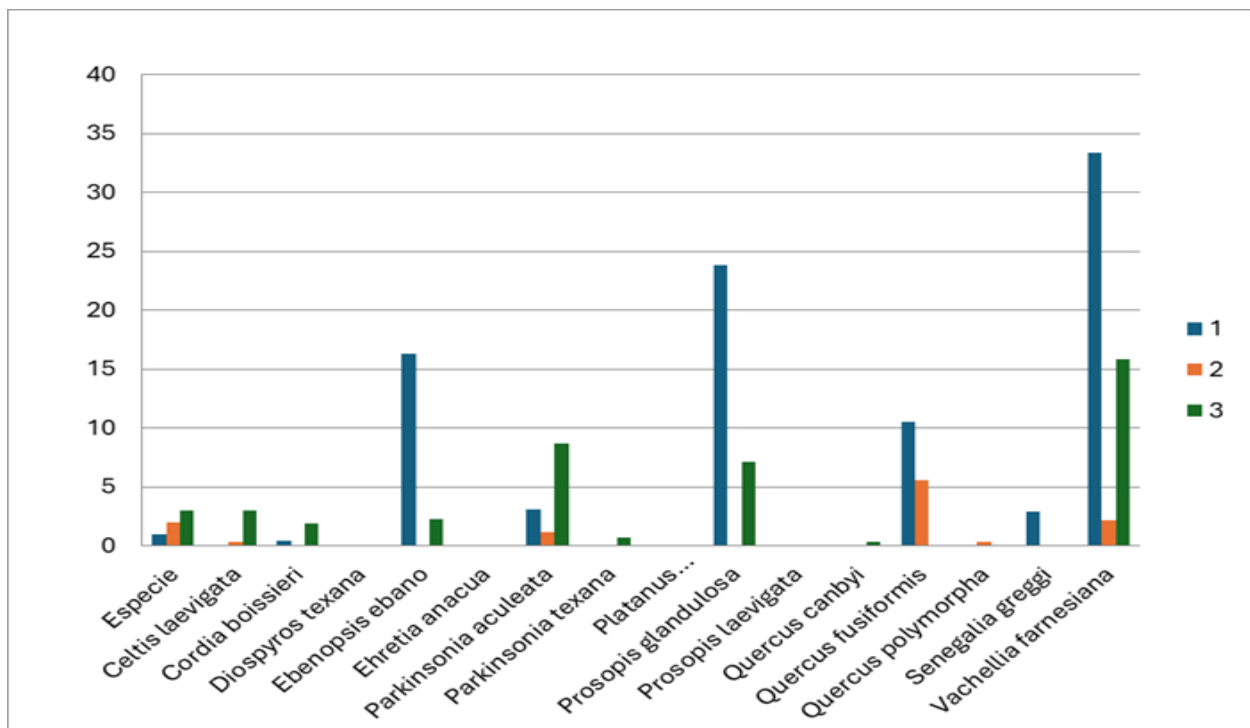


Figura 2. Almacenamiento de carbono total por estrato (tonelada métrica).

tos beneficios dependen de la condición del arbolado. Se calculó cuantitativamente los servicios de regulación, demostrando su potencial en la mitigación de la contaminación con la absorción de 359.02 kg de contaminantes por año ( $O_3$ , CO y  $NO_2$ ), el almacenamiento de 140.27 toneladas de carbono por año, el secuestro de 19.01 toneladas de carbono y la reducción de escorrentía en 298.89  $m^3$  anuales. En cuanto a los servicios ecosistémicos de apoyo y culturales, se identificó su presencia. El bosque tiene potencial para albergar diversas especies de flora y fauna, y atrae visitantes que realizan actividades recreativas. El bosque urbano contribuye a mejorar la calidad de vida de las personas y de la flora y fauna silvestre. Este proyecto establece un precedente para comprender los beneficios del arbolado urbano y destaca la importancia de una planificación adecuada de reforestación. Es fundamental considerar las condiciones y las interacciones ecológicas del sitio para maximizar los servicios ecosistémicos. Además, se debe tener en cuenta que un buen manejo y mantenimiento de los árboles aumentará los beneficios ecosistémicos a largo plazo. Con este estudio se demostró que el bosque urbano evaluado ofrece los cuatro tipos de servicios ecosistémicos; además conocer los servicios ecosistémicos del arbolado urbano promueve la educación ambiental y la participación ciudadana en los

procesos ecológicos del bosque urbano.

### Referencias

- Alanís Rodríguez E., Mora Olivo A. y Marroquín de la Fuente J.S. (2020). Muestreo ecológico de la vegetación. Editorial Universitaria UANL. 249.
- Alanís Rodríguez E., Rubio Camacho E.A., Canizales Velázquez P.A., Mora Olivo A., Pequeño Ledezma M.Á. y Buendía Rodríguez E. (2020). Estructura y diversidad de un bosque de galería en el noreste de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(58): 134-153.
- Alanís Flores G.J., Cano G. y Róvalo M. (1996). Vegetación y flora de Nuevo León: Una Guía Botánico-Ecológica. Nuevo León, México. Impresora Monterrey S.A. de C.V. 265.
- Alcamo J., Ash N., Butler C.D., Callicott J.B., Capistrano D., Carpenter S.R., Zurek M. (2003). Ecosistemas y bienestar humano: Marco para la evaluación. Washington: Evaluación de Ecosistemas del Milenio. [https://www.unescoetxea.org/dokumentuak/Ecosistemas\\_bienestar.pdf](https://www.unescoetxea.org/dokumentuak/Ecosistemas_bienestar.pdf)
- Arroyave M., Posada M., Nowak D. y Hoehn R. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el Valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1): 5-16.
- Balvanera P., Cotler H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.), *Capital natural*

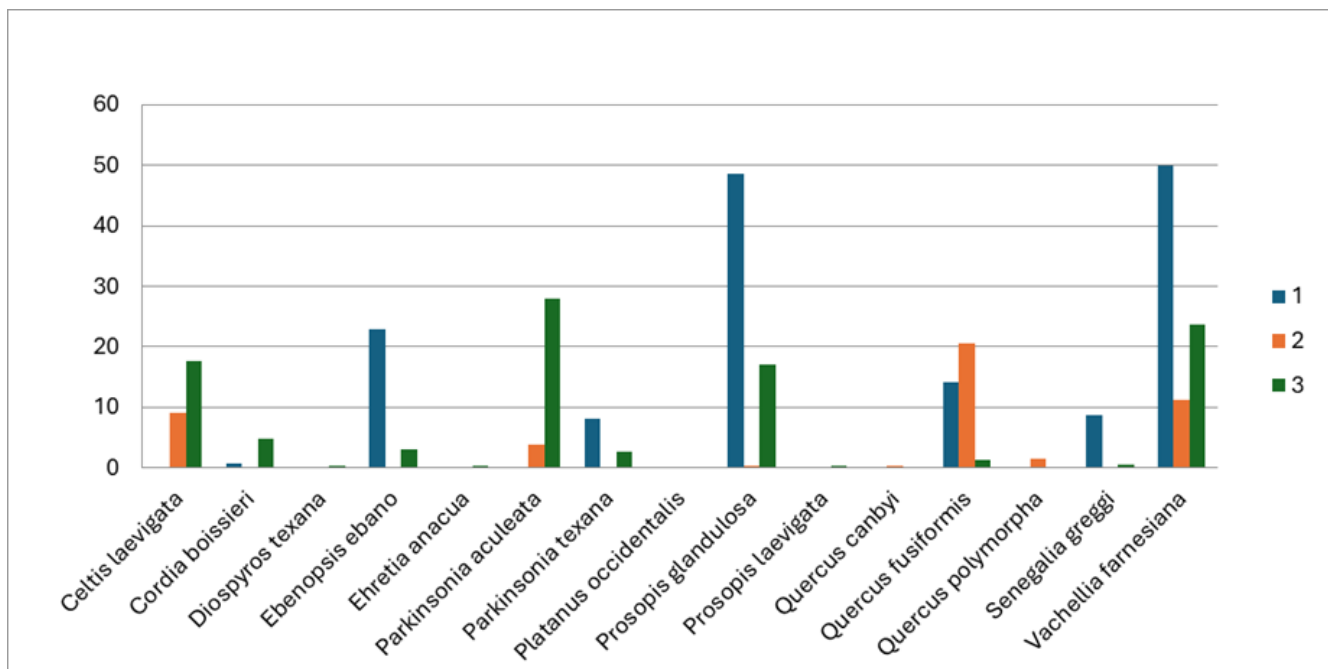


Figura 3. Esgurrimiento evitado por especie (m<sup>3</sup>/año).

de México. 2: 185-245.

Benavides H.M. (1989). Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. Gobierno del Estado de México, Academia Nacional de Ciencias Forestales, A. C. Estado de México. 966-992.

Benavides H.M, Fernández D.Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. Madera y Bosques, 18 (2): 51-71.

Concha H., Roche M.A., García A. (2018). Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida. Yucatán, México: Ayuntamiento de Mérida, Yucatán. 57.

Corral Rivas J.J., Vargas Larreta B., Wehenkel C., Aguirre Calderón O.A., Crecente Ocampo F. (2013). Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales. Comisión Nacional Forestal-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. [http://forestales.ujed.mx/monafor/archivos/descargas/guias\\_manuales/Guia\\_para\\_el\\_Establecimiento\\_Seguimiento\\_y\\_Evaluaci%C3%B3n\\_de\\_Sitios\\_Permanentes\\_de\\_Monitoreo.pdf](http://forestales.ujed.mx/monafor/archivos/descargas/guias_manuales/Guia_para_el_Establecimiento_Seguimiento_y_Evaluaci%C3%B3n_de_Sitios_Permanentes_de_Monitoreo.pdf)

Dávalos R., Rodríguez M., Martínez E. (2008). Almacenamiento de carbono. Manson R.H., Hernández-Ortiz V., Gallina S. y Mehlreter K. (Eds). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación (223-233). Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). 223-233.

Domínguez Madrid A.Y. (2016). Estimaciones de captura

de los parques y emisiones de CO<sub>2</sub> vehicular en Tijuana, B.C. Tesis de Maestría, El Colegio De La Frontera Norte. Tijuana, México. 110.

Food and Agriculture Organization. (2020). Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. <http://www.org/agriculture/crops/core-themes/theme/biodiversity0/es/#bio1>

Gadow K.V., Hui G. (1999). Modelling forest development. Kluwer Academic Publishers. 27-63.

I-Tree. (2015). Manual del Usuario. [https://www.itreetools.org/documents/196/EcoV6\\_UsersManual.es.pdf](https://www.itreetools.org/documents/196/EcoV6_UsersManual.es.pdf)

Jiménez Pérez J., Cuellar G., Treviño E. (2013). Áreas verdes del municipio de Monterrey. Universidad Autónoma de Nuevo León. 21.

Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban Forestry & Urban Greening, 4(3-4): 115-123.

Romahn de la Vega C.F., Ramirez H. (2010). Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México, México. 309.

Schneider S.H. (1989). The greenhouse effect: science and policy. Science 243(10):271-281.

Sorensen M., Barzetti V., Keipi K., Williams J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Inter-America Development Bank. Washington, D.C. 56.