

Evaluación de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca, México

Rocío Mañon de la Cruz, Estela Orozco Hernández y Patricia Mireles Lezama

Facultad de Planeación Urbana y Regional
Universidad Autónoma del Estado de México
Toluca, Edo. Méx.; México

[rocio.m.delacruz, mirelezamap]@gmail.com, eorozcoh61@hotmail.com

Abstract— The study evaluated the environmental services of the Bicentennial Metropolitan Park, through non-destructive sampling; infiltration of water in soil, interior and exterior temperature and humidity, interior and exterior acoustic pressure and estimation of carbon stores. The results were that soil compaction and depth of the herbaceous stratum determined different capacities to regulate water runoff. In areas without trees the temperature increased and the humidity decreased. The acoustic levels exceed the limits allowed for health and total carbon store was 517,958 MgC. The ecological capacity of the soil and vegetation exposed differentiated processes and local benefits. The deficit of green areas in Toluca city reinforces the importance of increasing the green surfaces in strategic sectors of the urban environment.

Keyword— *urban park, ecosystem services, urbanization, climate change.*

Resumen— El estudio evaluó los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario mediante muestreos no destructivos; infiltración de agua en suelo, temperatura y humedad ambiente, presión acústica interior y exterior y estimación del almacén de carbono. La compactación del suelo y la profundidad del estrato herbáceo determinaron capacidades distintas para regular la escorrentía de agua. En ausencia de arbolado aumentó la temperatura y disminuyó la humedad. Los niveles acústicos superaron los límites permitidos para la salud. El total de carbono resultó 517.958 MgC. La capacidad ecológica del suelo y la vegetación expusieron procesos y beneficios diferenciados de alcance local, aunado al déficit de áreas verdes en Toluca, refuerza la importancia de incrementar la superficie verde en sectores estratégicos del ámbito urbano.

Palabras claves— *parque urbano, servicios ambientales, urbanización, cambio climático.*

I. INTRODUCCIÓN

La rápida urbanización, la contaminación y el calentamiento global agudizan la crisis ambiental en las ciudades. La expansión urbana disminuye la cubierta arbórea, aumenta la superficie impermeable, altas concentraciones de CO₂ (dióxido de carbono) en la atmósfera, islas de calor y sellado del suelo. La población que vive en áreas urbanas y periurbanas está expuestas a riesgos potenciales para la salud, bienestar, medios y modos de vida [1].

Las ciudades como sistemas socio-ecológicos establecen articulaciones con los sistemas ecológicos naturales y la mayoría produce daños. Las ciudades se enfrentan a los efectos actuales y futuros de cambio climático [2]. El punto de partida para la gestión de riesgos y desarrollo de la resiliencia a largo plazo, consiste en que la ciudad conozca el nivel de exposición y sensibilidad ante un conjunto de impactos, de tal manera que se elaboren programas de adaptación que ofrecen beneficios conjuntos en la mitigación del cambio climático y desarrollo económico local [3].

El incremento de la temperatura y los episodios de olas de calor en las ciudades, plantea dos retos: mitigación del efecto isla de calor y preparación de las comunidades frente a las olas de calor. Una de las estrategias es incrementar las áreas verdes [4]. En cada ciudad los impactos específicos dependen del aumento de la temperatura y la precipitación, factores que varían de un lugar a otro.

En las ciudades mexicanas la industrialización y creciente urbanización advierten escenarios de alta vulnerabilidad en condiciones de cambio climático. En este contexto los espacios verdes representan sistemas ambientales que cumplen un doble rol, social y ecológico, en ellos es posible evaluar la sustentabilidad urbana [5].

Las políticas basadas en la Agenda 21 promueven los espacios abiertos, parques y áreas verdes como estrategia básica de la gestión ambiental de las ciudades [6]. La tipología de áreas verdes varía entre ciudades, regiones y países, esto se debe a las particularidades geográficas, necesidades sociales y recomendaciones técnicas gubernamentales [7, 8].

En México el parque urbano es un espacio comunitario y público que desempeña funciones de recreación, conservación del medioambiente y mejoramiento del equilibrio psicosocial de la población (9). Las áreas verdes y los parques urbanos proporcionan a los ciudadanos diversos servicios ambientales que impactan favorablemente en su calidad de vida [10, 11].

Los parques no solo ofrecen servicios de ocio y recreación, los servicios ambientales van desde la consideración de un parque como bioma a regulador de las condiciones climático-térmico a la de amortiguador de los efectos la contaminación atmosférica y sónica [12]. El valor ambiental de los parques urbanos se define a través de aire y agua limpias, captura de agua de lluvia, amortiguamiento de temperatura, secuestro de carbono, formación de oxígeno, aislamiento del ruido, albergue de especies de animales y plantas y mejoramiento de la salud pública [13].

Los servicios ambientales que proveen las áreas verdes tienen beneficios directos e indirectos sobre la población y el medioambiente. Los beneficios directos designan la producción de provisiones –agua y alimentos-, control de la erosión e inundaciones, regulación del clima, emisiones de gases de efecto invernadero. Los beneficios indirectos remite a los procesos que generan los servicios directos, la fotosíntesis, formación y almacenamiento de materia orgánica; el ciclo de nutrientes; creación y asimilación del suelo y neutralización de desechos tóxicos. También ofrecen valores estéticos, espirituales y culturales, y recreacionales [14].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio con base en la bibliografía y reconocimiento de campo se definieron los servicios ambientales objeto de observación y los parámetros de medición (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros

| Tabla 1 | | Parámetros | | |
|---------------------------|----|---|-----------------------------------|---|
| Servicio ambiental | | Parámetros | Metodología | Unidad de medida |
| Control de inundaciones | de | Velocidad de infiltración en el suelo | Manual de la USDA (1999) | Minutos/1l agua |
| Regulación de temperatura | de | Temperatura ambiente y humedad relativa | Data Logger (Modelo RTR-574) | Grados centígrados (°C) y porcentaje de humedad (%) |
| Aislamiento de ruido | | Presión causada por la onda sonora | Sonómetro calibrado | Decibeles (Db) |
| Almacén de carbono | | Carbono en la vegetación arbórea | Ecuaciones alométricas por género | Mega-gramos de carbono (MgC) |

Los sitios de muestreo se identificaron en áreas de cobertura vegetal densa, escasa o nula, y los atributos biofísicos por medio de observación directa (Figura 1).

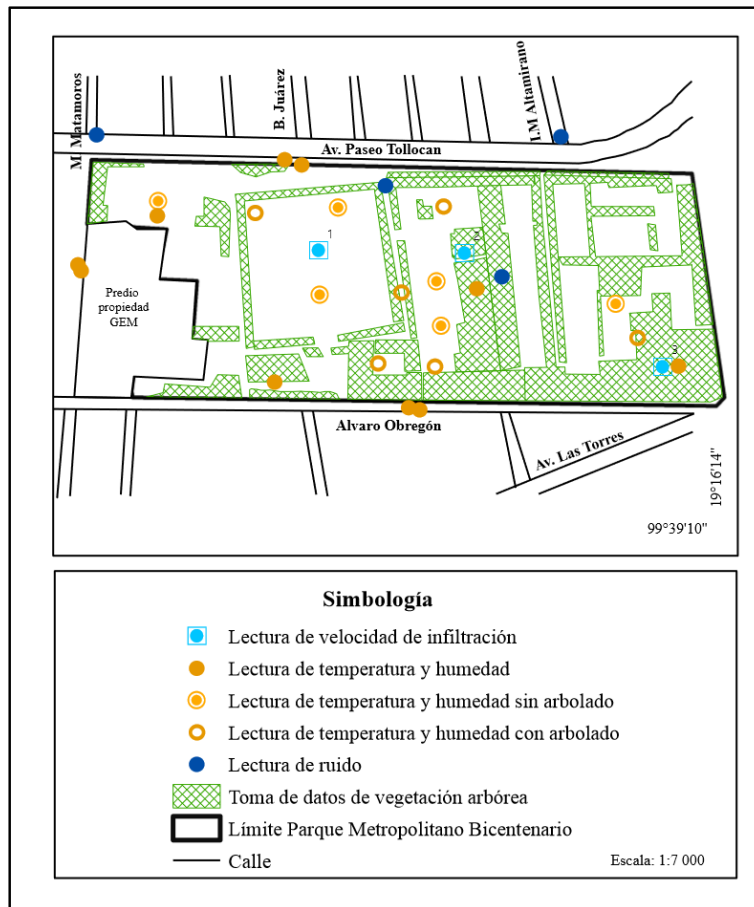


Figura 1. Parque Metropolitano Bicentenario, sitios de muestreo

Para determinar la infiltración en suelo se utilizaron 4 cilindros de PVC de 6 pulgadas de diámetro x 15 de altura, 4 envolturas plásticas, 4 botellas de plástico graduadas de 500 ml y cronómetro. Se seleccionaron tres sitios tipo “Y” que cubren las condiciones de suelo y vegetación del área de estudio. El sitio 1 cobertura vegetal densa (pasto), el sitio 2 cobertura vegetal escasa y el sitio 3 vegetación nula.

Posteriormente se determinó el centro de cada punto (Y1, Y2, Y3) a partir de este se formó una “Y” en dirección Norte, en total se usaron 4 cilindros por cada punto de muestreo, separados a 5 metros del punto central. Cada uno de los cilindros se afirmó en el suelo a profundidad de 2 cm. A efecto de que los suelos mantuvieran humedad similar al momento de las mediciones se realizaron 3 mediciones por cada “Y”.

Los cilindros se cubrieron con plástico y se agregaron 500 ml de agua, luego se retiró el plástico y con el cronómetro se tomó el tiempo de infiltración en el suelo. Una vez finalizado el primer ensayo se procedió a repetirlo 2 veces para un total de 3 y 1,500 ml de agua. En cada sitio se añadieron en total, seis litros de agua y se realizaron 12 repeticiones. Una vez obtenida la infiltración en minutos se estimó la velocidad de infiltración promedio [15].

También se tomó la temperatura, el pH con el potenciómetro, humedad con tensiómetro y la profundidad de raíces en el suelo de cada sitio muestreado. En una tabla de Excel se capturaron los datos, promediando el tiempo que tardó en infiltrarse por unidad. Se construyó un mapa que muestra la velocidad de infiltración por sitio.

Para medir la temperatura y la humedad se identificaron las áreas construidas y las arboladas. Se consideraron los materiales y colores de construcción debido a que cada uno tiene una capacidad distinta de reflejar y absorber la luz solar, lo que se traduce en un comportamiento de temperatura distinto.

Con Data Logger (Modelo RTR-574) se realizó la lectura de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad (%). La lectura se realizó en horario de 12:00 a las 14:00 y sitios ubicados en el interior y exterior del parque. Los sitios se identifican con un símbolo circular simple en color anaranjado, situados en la zona arbolada, zona reforestada, zona arbolada densa, zona de asfalto en el parque, corresponde al estacionamiento, la superficie cementada, específicamente en banquetas y calles asfaltadas de Av. Paseo Tollocan, Álvaro Obregón y Mariano Matamoros (Foto 1 y Foto 2).

Foto 1. Medición de temp. y humedad en zona cementada

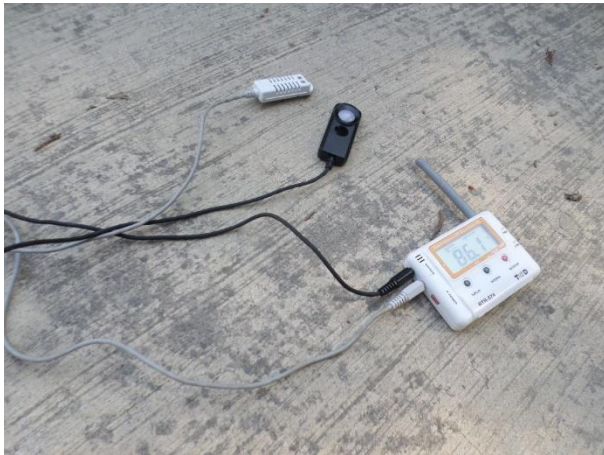


Foto 2. Medición de temperatura y humedad en zona reforestada



El Data Logger fue colocado encima de la superficie por dos minutos y se registró la lectura promedio tomada en ese lapso de tiempo. Se realizaron mediciones en superficies bajo arbolado y sin arbolado -camino (asfalto), canchas (cemento), jardines (pasto), estacionamientos (color negro), andadores (color marrón), construcción, zona de juegos bajo áreas arboladas y sin ellas, y áreas arboladas densas y poco densas.

Para medir el ruido se utilizó un sonómetro calibrado y el cronómetro. Los sitios están representados en el mapa con un círculo de color morado. Los sitios se establecieron dentro y fuera del parque, en las avenidas transitadas y moderadamente transitadas, zona de arbolado denso e interior inmediato del parque. Con base en observación directa se identificó que el mayor nivel de ruido se produce cuando en la ciudad comienza la actividad (7:30) o finalizan (14:30), así como un horario de transición en el que las actividades disminuyen y descienden los niveles de ruido (11:30). Con el objeto de contrastar los niveles de ruido en cada sitio se tomaron lecturas en tres horarios - 8:30 am, 11:30 am y 14:30-. En cada punto se hizo una lectura de 5 minutos para registrar los decibeles promedio. Los datos se comparan con límites máximos permitidos por la NOM-081-SEMARNAT-1994 [16].

En el proceso de estimación del almacén de carbono se utilizó cinta métrica y formato de registro de datos. Se contabilizaron los árboles con circunferencia mayor a 15 cm a altura de 1.3 metros, midiéndose la circunferencia del tronco. Con la guía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [17] se identificó en campo el género o la especie de cada individuo y se marcó el tronco del árbol (Tabla 2).

Los datos se condensaron en una base de datos para estimar el almacén de carbono total [18]. Las ecuaciones alométricas se tomaron de [19] (Tabla 2).

Tabla 2. Ecuaciones alométricas [19]

| Género | Especie | Ecuación alométrica | Factor de conversión | Autor |
|-------------------|---|------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| <i>Crupessus</i> | <i>Crupessus lusitánica</i> | $[0.5266]*[DBH^{1.7712}]$ | 0.49 | Vigil, 2010 |
| <i>Pinus</i> | <i>Pinnus cembroides</i> | $[0.084]*[DBH^{2.475}]$ | 0.5 | Ayala <i>et al.</i> , 2001 |
| <i>Eucaliptus</i> | <i>Eucaliptus camaldulensis</i> <i>Eucaliptus globulus</i> | $[0.1186]*[DBH^{2.497}]$ | 0.5 | Toribio, 2006 |
| <i>Quercus</i> | <i>Quercus rugosa</i> | $[0.0345]*[DBH^{2.9334}]$ | 0.49 | Gómez Díaz, 2011 |
| <i>Ficus</i> | <i>Ficus benjamina</i> | $[0.027059]*[DBH^{2.86357}]$ | 0.5 | Rodríguez <i>et al.</i> , 2006 |
| <i>Abies</i> | <i>Abies religiosa</i> | $[0.035]*[DBH^{2.513}]$ | 0.465 | Avendaño <i>et al.</i> , 2009 |

En árboles muertos y tocones se midió la circunferencia y la altura. En estos casos se determinó el área basal y el volumen, una vez obtenido en cm³ fue multiplicado por 0.45 para obtener la biomasa, este dato fue multiplicado por 0.49 para estimar el carbono almacenado en necromasa [18].

Los individuos arbóreos que no correspondían a alguna de las especies o géneros mencionados y que no se encontró ecuación que se adaptara al modelo alométrico, no fueron tomadas en cuenta para la estimación del almacén de carbono, pero si para el cálculo de densidad arbórea.

III. RESULTADOS

A. Contexto urbano

La ciudad de Toluca de Lerdo alberga 489,333 habitantes o cerca de 60% de la población municipal [20] y ocupa 20.97% del territorio municipal. La ciudad se ubica entre las más altas del continente americano, con altura promedio 2,660 msnm. La contaminación del aire se agudiza por incremento del parque vehicular, intensificación de las actividades agrícola, extractiva e industrial [21].

La variabilidad climática reporta temperatura media anual de 12.9°C, oscilación de $\pm 0.7^\circ\text{C}$ e incremento promedio entre décadas de 0.15°C [22]. En el centro de la ciudad de Toluca una isla de calor asociada al incremento de la precipitación y a la concentración de la humedad en la época lluviosa. Partiendo de la temperatura media anual (13.8°C) se precisa disminución de la temperatura media anual en razón de -2.0°C en invierno y aumento en 10.9 °C en verano. La diferencia térmica entre el centro de la ciudad y la periferia, es 3.0° C durante el día y 1.5° C durante la noche [23].

Respecto a las áreas verdes, en la porción centro-sur de la ciudad se distribuyen jardines, parques y zonas de reserva destinadas a la recreación, contemplación y ocio público.

Por la extensión destaca el Parque Alameda 2000 y el Parque Metropolitano Bicentenario, en otros, Parque Vicente Guerrero; Alameda central Toluca; Parque Matlatzincas (El Calvario); Parque Estatal

Sierra Morelos y superficie menor ocupada por los jardines urbanos. El Parque Metropolitano Bicentenario representa el 9% de la superficie total de las áreas verdes de la ciudad.

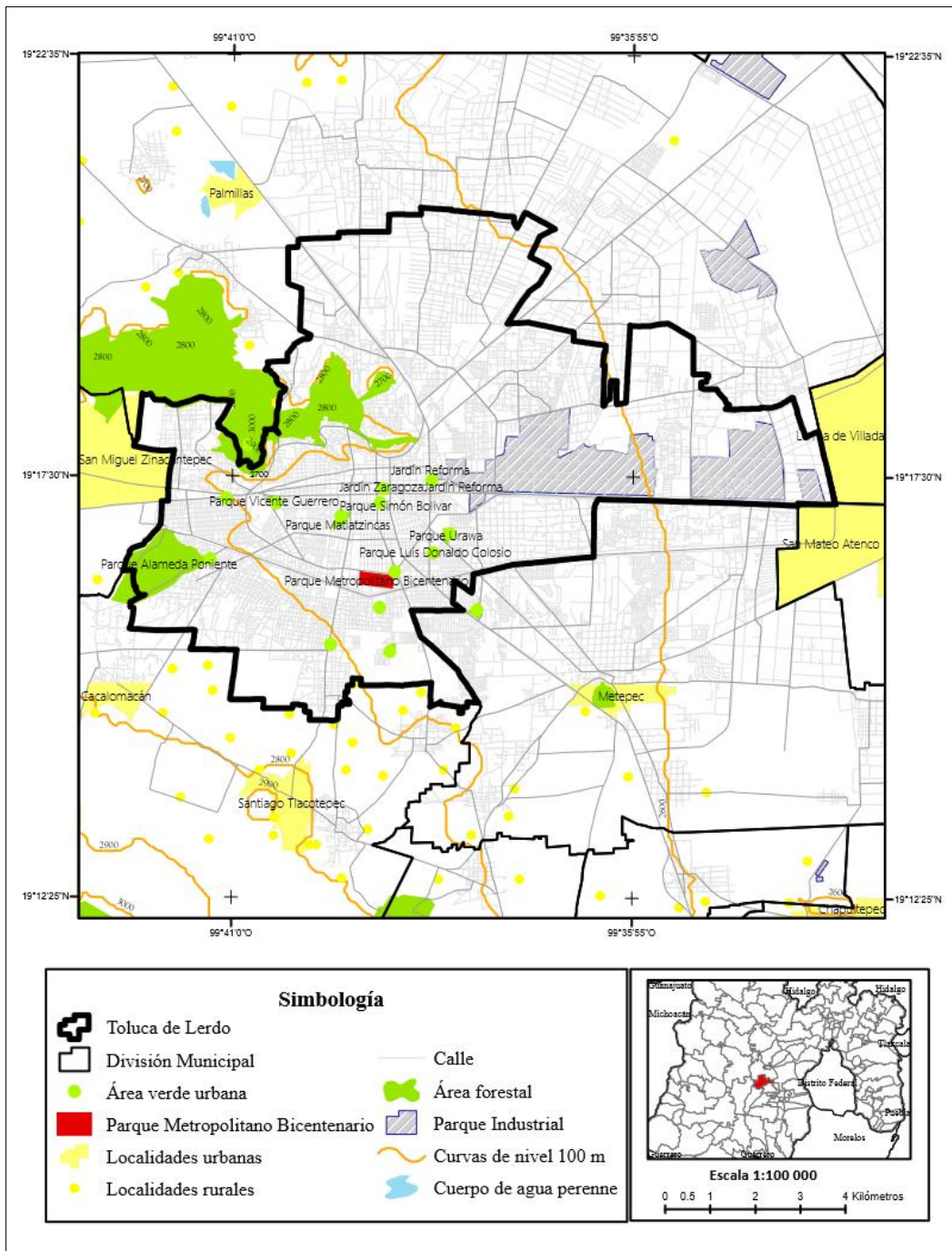


Figura 2. Distribución de áreas verdes, Toluca de Lerdo [24] [25].

En un estudio se partió de la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual establece 10 y 15 m² por habitante de área verde. Los resultados para el municipio de Toluca exponen déficit de 53.6%, es decir, a los habitantes les corresponden 4.64 m². Para la ciudad de Toluca de Lerdo 7.78 m² por habitante y un déficit de 22.2% [27]. La estimación propia y con base en la recomendación máxima de 15m²/hab y la superficie total de jardines, parques y zonas de reserva de la ciudad de

Toluca, indica que se dispone de 4.43 m² de área verde por habitante y acusa déficit de 55.7%, indicador que se ubica en nivel muy bajo de áreas verdes, 4.0 a 6.0 m²/hab [28].

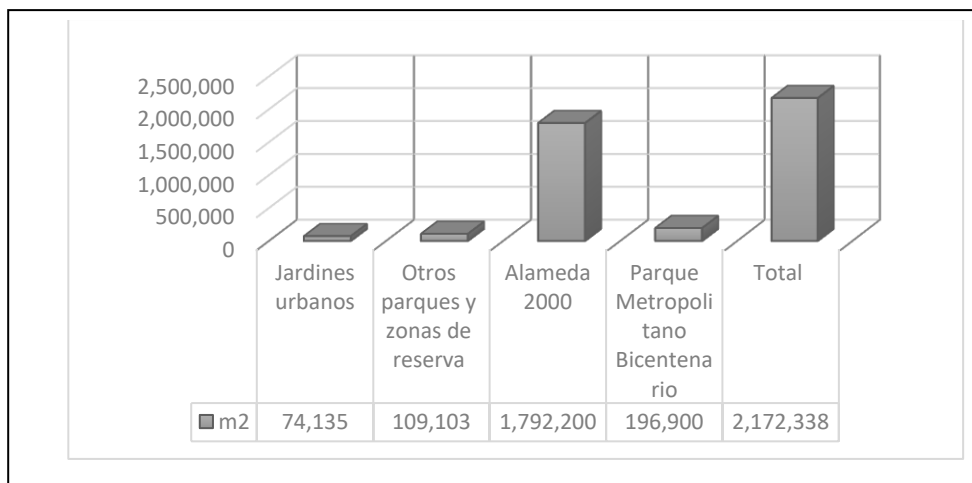


Figura 3. Áreas verdes en la ciudad de Toluca [26]

B. Parque Metropolitano Bicentenario (PMB)

El nivel de servicios de los parques urbanos, coloca a la ciudad de Toluca de Lerdo en el nivel estatal -100,001 a 500,000 habitantes- y en el nivel regional a una población de 500,000 habitantes y más. En ambos casos la superficie recomendada debe ser 728,000 m² o 73 hectáreas. El Parque Metropolitano Bicentenario ocupa una superficie de 196,900 m² o 19.69 has, la cual lo ubica en el nivel de servicio intermedio-182,000 m² o 18 hectáreas -propio para localidades de 50,001 a 100,000 habitantes-, por debajo de los niveles de servicio regional y estatal. Para todas las variantes el radio de servicio es 30 kilómetros o 60 minutos. Los parques urbanos deben tener compatibilidad con usos de suelo habitacional, comercio, oficinas y servicios, uso agrícola, pecuario, etcétera, no son compatibles con el uso industrial y deben ubicarse en un área especial o fuera del área urbana, en vialidad principal o vialidad regional [9].

El PMB se inauguró en el año 2011, ocupa una superficie de 19.69 hectáreas y más del 40% de esta superficie es forestal. La vegetación se compone principalmente de Cupressus lusitánica. La temperatura media anual promedio es 14.8°C y la precipitación media anual es de 577.4 mm. Se localiza entre vialidades principales, Av. Paseo Tollocan; General Álvaro Obregón y la Av. las Torres. Al norte la colonia Universidad y al sur la colonia Moderna de la Cruz.

En marzo del año 2017 se decretó Área Natural Protegida Estatal en la categoría de parque urbano, cuyo objetivo es mejorar las condiciones de habitabilidad en la ciudad, creando un espacio de reserva ambiental [29]. Anualmente recibe 1, 169,160 visitantes o 97,430 al mes.

C. Control de inundación

A través de la cartografía se estimó la superficie permeable en 12.75 hectáreas, el resto comprende zonas selladas por construcciones o por envolventes de cemento, alfombra y asfalto. La superficie permeable identifico tres clases de infiltración condicionadas por las características del suelo, la profundidad de raíces de pastos y estrato vegetal y la velocidad por litro de agua (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros obtenidos

| Sitio de lectura | Clases de infiltración (USDA, 1999) | Superficie (ha) | Velocidad de infiltración (min/l) | pH | Profundidad de raíces de pasto | Estrato vegetativo |
|------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------|
| Sitio 1 | Moderado | 4.667 | 37.2 | 6.2 – 7.0 | 1.5 – 4.5 cm | Herbáceo |
| Sitio 2 | Moderadamente rápido | 8.040 | 9.2 | 5.8 – 6.2 | 0 – 1.5 cm | Herbáceo y arbóreo |
| Sitio 3 | Moderadamente lento | 0.0415 | 80.2 | 6 – 6.8 | 0 cm | Arbóreo |

En el sitio uno, la infiltración moderada se debe al uso del área como campo de entrenamiento o eventos masivos. La compactación reduce la porosidad del suelo y la profundidad de las raíces de pastos disminuye la velocidad de infiltración. Abarcó el 36.6% de la superficie permeable (Figura 4).

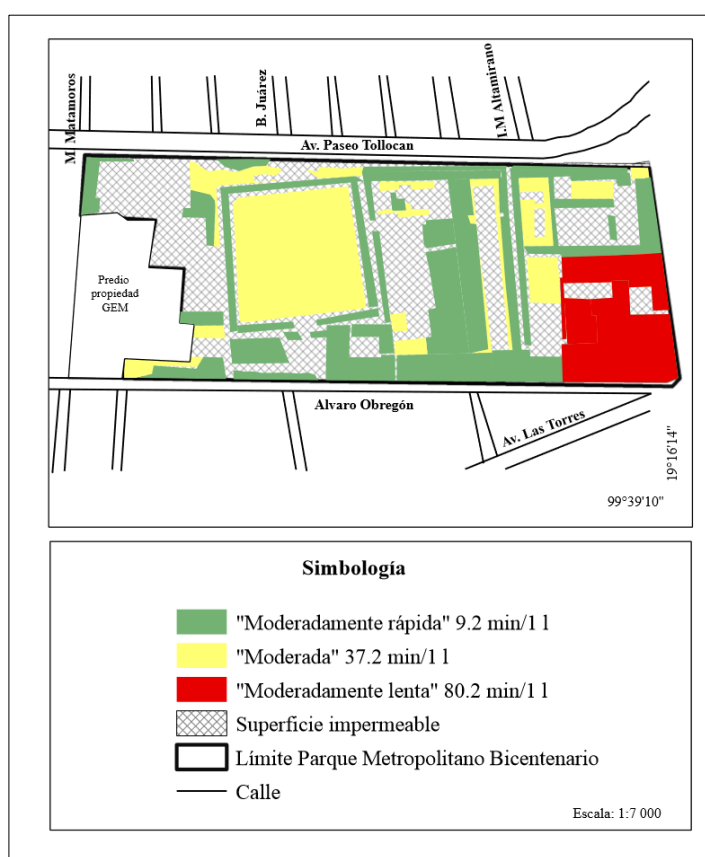


Figura 4. Clases de velocidad de infiltración

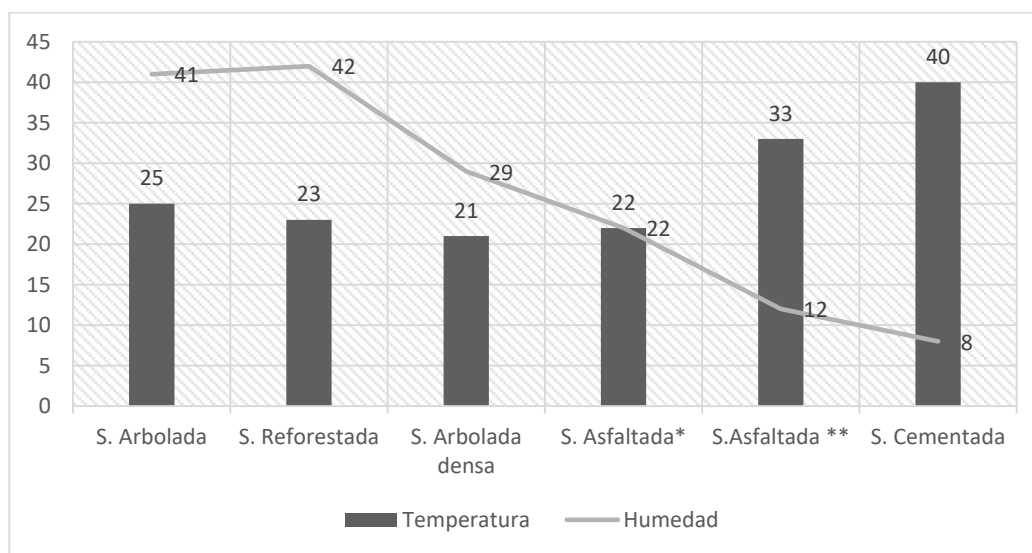
En el sitio dos, los estratos herbáceo y arbóreo aportan materia orgánica que mejora la estructura del suelo, el pH se ubicó en un rango de 5.8–6.2, moderadamente ácido, lo que se debe a la existencia de materia orgánica, lo cual favorece la actividad biológica, la porosidad del suelo y la velocidad de infiltración. En el sitio tres el suelo presento compactación, ausencia de porosidad, encostramiento superficial, lo que determino infiltración moderadamente lenta

D. Regulación de temperatura

En general las zonas arboladas registraron temperaturas de 21 a 25 o C y humedad relativa entre 29% y 41%. Las zonas arbolada y reforestada caracterizan un microclima templado con elevada humedad,

contrasta las zonas de arbolado denso y superficie asfaltada interior, la temperatura disminuye de 2 a 4 °C y la humedad a menos de la mitad. En las áreas exteriores las temperaturas más altas se registraron en las superficies cementada y asfaltada, 33°C y 40 °C, humedad entre 8% y 12%, en la superficie asfaltada del interior, la temperatura disminuye a 22°C y 21 % de humedad (Figura 5).

El área de juegos infantiles sin arbolado, registró una temperatura de 35°C y 12% de humedad, y con arbolado 24°C y 6% de humedad. Los edificios sin arbolado temperaturas de 29°C y bajo la sombra 21°C. En los andadores existe una diferencia de 9°C y 9% más de humedad en sitios bajo arbolado (Figura 6).



*Al interior del parque. ** Al exterior del parque
 Figura 5. Temperatura y humedad en distintas superficies

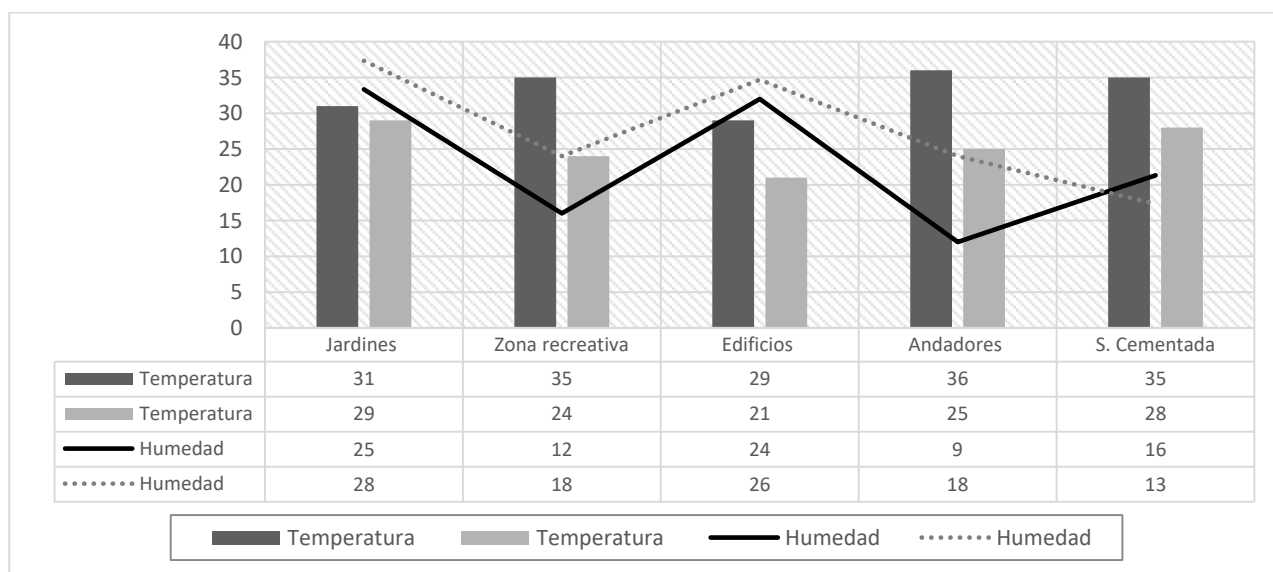


Figura 6. Temperatura y humedad en sitios bajo y sin arbolado

E. Aislamiento de ruido

Los sitios en los que se realizó la lectura de ruido se identifican en la vialidad de Paseo Tollocan, Ignacio M. Altamirano, interior inmediato y zona arbolada del parque urbano. Los tres primeros sitios presentaron niveles superiores a 65 decibeles (dB) y en los sitios con superficie arbolada, el nivel promedio fue de 56 dB (dB). (Figura 7).

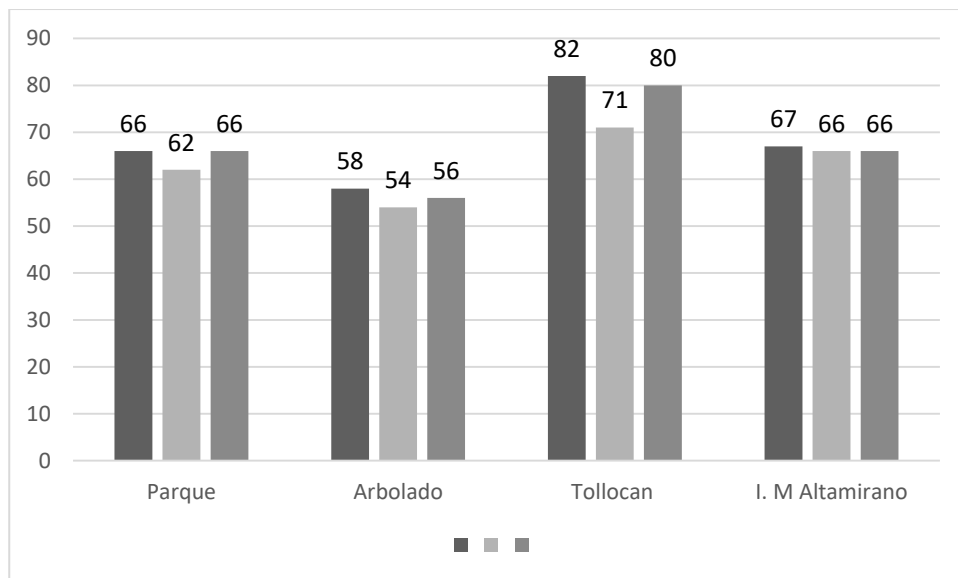


Figura 7. Decibeles registrados por sitio

El horario que registró mayores niveles fue el de las 7:30 am, este representa un horario conflictivo en cuanto al aspecto vial. El horario 11:30 am registró los menores niveles debido a que las actividades merman. En el horario de las 2:30 los niveles vuelven a elevarse.

En general los niveles de ruido rebasan los límites máximos de la NOM-081-1994 [33] y recomendados por la Organización Mundial de la Salud [34]. Los efectos expresan molestias graves y daños en el oído (Tabla 4).

Tabla 4. Límites máximos permisibles

| | <i>Límites máximos y/o recomendados (dB)</i> | <i>Niveles registrados (dB)</i> | <i>Efectos en la salud según la OMS</i> |
|--|--|-----------------------------------|---|
| Límite máximo permisible (dB) NOM-081 | 55 50 (Residencial 1; exteriores) | 54 (Dentro de los límites) | Molestias graves |
| Valores límites recomendados para exposición a ruido por la OMS | 55 (Exterior habitable) 75 (Zonas de tráfico y comerciales) | 55 – 82 (Fuera de los límites) | Daños al oído |

F. Almacén de carbono

El área arbolada está constituida por individuos inducidos que reciben saneamiento, podas y derribos que se aprecia en la existencia de tocones. La especie dominante es *Cupressus lusitánica* (cedro blanco), introducida décadas atrás en lo que fue la Zona Militar de Toluca y hoy es parque urbano. Se identificaron especies exóticas de origen australiano; *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto rojo) y *Eucalyptus globulus* (eucalipto azul) y especies de origen asiático como *Ficus benjamina* (laurel de la india), *Salix babilónica* (sauce llorón) y *Populus alba* (álamo blanco).

Se contaron 2,396 árboles, incluye 35 árboles muertos en pie y 64 restos maderables (tocones). El 69.8% de los arboles pertenecen a la especie *Cupressus lusitánica*, el 12.8% a la especie *Pinus cembroides* (pino piñonero) y el resto a los géneros *Quercus*, *Abies*, *Eucalyptus*, *Ficus*, *Salix*, *Populus*, *Prunus*, *Fraxinus* y *Pyrus*.

La categoría de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) abundante fue de 30-50 cm, corresponde a los árboles de la especie *Cupressus lusitánica*, compuesta por ejemplares de gran altura y circunferencia. Estos ocupan 35.68% de la Densidad Arbórea total (DAT) y contribuyen con 38.31% del Área Basal Total (ABT).

Pinus cembroides mostró la mayor incidencia en la categoría de DAP de 10-30 cm, estos árboles en su mayoría jóvenes forman parte de la zona reforestada. En lo que se refiere a los intervalos de ABT, la categoría de DAP >50 tuvo 584 individuos, que contribuyen con el 43.35% del ABT del área boscosa. La necromasa tuvo una participación baja, con 4.8 % del ABT y 4.13 % de la DAT.

A partir del total de árboles se estimó el almacén de carbono para 90.73% de los individuos, a través de ecuaciones alométricas para cada género. Las especies *Salix babilónica*, *Populus alba*, y los géneros *Fraxinus*, *Pyrus* y *Prunus*, en conjunto 222 individuos, no se tomaron en cuenta para la estimación, debido a que no se contó con ecuación alométrica adecuada al método.

El carbono total almacenado fue de 517.958 MgC, los restos maderables aportaron 0.34% y de los árboles vivos *Cupressus* aportó el 70.45% (Véase Tabla 5).

Tabla 5. Carbono almacenado por género arbóreo.

| <i>Género</i> | <i>Carbono (kg)</i> |
|-------------------|---------------------|
| <i>Pinus</i> | 57,107.63 |
| <i>Cupressus</i> | 364,948.06 |
| <i>Quercus</i> | 788.58 |
| <i>Abies</i> | 1,984.42 |
| <i>Eucalyptus</i> | 85,249.41 |
| <i>Ficus</i> | 6,087.33 |
| Necromasa | 1,792.80 |
| Total (kg) | 517958.223 |
| Total MgC | 517.958 |

Las categorías de DAP, indican que 40% de los arboles vivos se encuentran en etapa joven, el 36% en etapa madura y el 24% en etapa senil.

La densidad arbórea muestra 298 árboles por hectárea, suponiendo condiciones homogéneas cada árbol ocupa 33.6 m². Lo que indica que cumple y rebasa la recomendación de la Norma técnica estatal ambiental, establece las condiciones de protección, conservación, fomento y creación de las áreas

arboladas y verdes de las zonas urbanas en el territorio del Estado de México y dispone que cada árbol debe tener un área mínima de 4.8 m² para garantizar desarrollo adecuado [30].

IV. DISCUSIÓN

El control de las inundaciones remite a las condiciones del terreno. Los suelos aluviales y los suelos de relleno utilizado en la cimentación de las edificaciones, expone tres capacidades de infiltración de agua, moderada, moderadamente rápida y moderadamente lenta, lo cual depende de la porosidad y presencia de actividad biológica en el suelo, y la profundidad de las raíces del estrato herbáceo.

En el entorno domina el pavimento en calles y vialidades principales, aunado a la insuficiente capacidad hidráulica de los desagües, lo que reduce la capacidad de retención de agua en el suelo, aumenta la velocidad de escurrimiento superficial y pluvial. El parque urbano ralentiza la velocidad y el volumen de escorrentía, aminorando escurrimientos, encharcamiento y arrastre de basura en la vialidad Paseo Tollocan y áreas habitadas circunvecinas.

Las zonas con arbolado en el parque registraron temperatura promedio de 23°C y 33% de humedad. Las zonas asfaltadas y cementadas en el exterior del parque, registraron temperatura promedio de 37°C y 10% de humedad promedio. La temperatura tiene su origen en la intensa actividad vehicular y en la capacidad de los materiales de construcción para absorber los rayos solares, lo que indica elevada evapotranspiración y disminución relativa de la humedad ambiente.

Las zonas correspondientes a los sitios jardín, zona recreativa, edificios, andadores y superficie cementada bajo arbolado registraron temperatura promedio de 25°C y 21% de humedad, en las mismas superficies (jardines, zona recreativa, edificios, andadores y superficie cementada), sin arbolado, la temperatura promedio fue de 33°C y humedad de 16%.

La temperatura y la humedad en las áreas sin arbolado y áreas exteriores, muestra diferencias en el orden de +8°C a +19°C y -12% a -34%, acusan formación de islas de calor con poca humedad relativa. En sentido inverso las áreas arboladas catalizan la radiación solar propia de alta montaña, disminuyen la temperatura y aumentan la humedad relativa. En el interior, crean microclimas que disminuyen la temperatura en el orden de -2°C a -11°C e incrementan la humedad en +2% a +9%, caracteriza islas frías que mejoran las condiciones de confort de los visitantes y coadyuvan en la mitigación de la contaminación del área en estudio [31].

No obstante que la presencia de árboles, supone disminución de ruido de 8 a 10 decibeles [32]. La lectura de ruido dentro y fuera del PMB identifica el punto P. Tollocan (calle muy transitada) éste registró los mayores niveles, con un promedio de 78 dB, el punto I.M. Altamirano (moderadamente transitada) 66 dB promedio, en el interior del parque el aislamiento es de hasta 13 dB, registrando 65 dB promedio, en la zona arbolada se registraron 56 dB promedio, lo que indica que la vegetación y el suelo, aíslan entre 13 a 21 dB.

En este estudio el carbono total estimado asciende a 517.958 MgC. El almacenamiento de carbono depende de la etapa de desarrollo de los árboles vivos, en el caso que nos ocupa, 40% son jóvenes, 36% maduros y 24% seniles. Los árboles maduros presentaron mayor altura, volumen, biomasa y carbono. Los árboles jóvenes tuvieron menor altura, volumen, biomasa y carbono. Sin embargo, estos desarrollan mayor actividad fotosintética a través de la cual fijan CO₂ atmosférico necesario para su crecimiento y liberan oxígeno. En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos en investigaciones realizadas en áreas verdes que identifican el total de carbono, por lo que el carbono obtenido en el PMB supera los resultados registrados en otras áreas verdes (Tabla 6).

Tabla 6. Estimación del contenido de carbono por hectárea en diferentes áreas verdes [35]

| Autor | Año | Sitio | País | Contenido de carbono (MgCha ⁻¹) |
|----------------|------|------------------|----------------|---|
| PMB | 2016 | Estado de México | México | 64.42 |
| Sánchez | 2007 | Durango | México | 59.53 |
| Mijangos | 2015 | Ciudad de México | México | 52.74 |
| Yang et al. | 2005 | Beijing | China | 43.7 |
| Nowark y Crane | 2002 | Atlanta | Estados Unidos | 35.74 |
| Liu y Li | 2012 | Shenyang | China | 33.22 |
| Nowark y Crane | 2002 | Baltimore | Estados Unidos | 25.28 |

En los árboles seniles disminuye la actividad fotosintética, la capacidad de absorción y fijación de carbono atmosférico. Los resultados de estudios realizados en parques, bosques urbanos, espacios en las vialidades y jardines indican que el PMB almacena 64.42 MgCha⁻¹ por unidad de área.

La mayor capacidad de captura y almacenamiento de carbono se encontró en las especies de *Cupressus lusitánica* (cedro blanco) y *Pinus cembroides* (Pino piñonero), *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto rojo) y *Eucalyptus globulus* (eucalipto azul). Se recomendaron como especies adecuadas para la reforestación o forestación del PMB: *Fraxinus uhdei* (fresno), *Chirandanthendron pentadactylon* (Árbol de las manitas), *Liquidambar styraciflua* (Liquidámbar), *Crataegus mexicana* (Tejocote) y *Prunus serótina* (Capulín).

V. CONCLUSIÓN

Aunque existe acuerdo sobre la importancia de las áreas verdes en el mejoramiento del medioambiente urbano y se incorpora en la agenda como estrategia de adaptación social en condiciones de cambio climático, en la ciudad de Toluca la intensa actividad industrial, tránsito vehicular y déficit de áreas verdes, expone que las alternativas no dependen exclusivamente de incrementar la superficie de las áreas verdes, sino de la regulación de las fuentes y las emisiones de contaminantes; ahorro energético, difusión de la información y educación ambiental en la población.

La evaluación ambiental del Parque Metropolitano Bicentenario, muestra que los árboles desempeñan una función ecológica principal, estabilizan la temperatura y aumentan la humedad relativa en algunas áreas, en ausencia de arbolado en las vialidades, calles y las edificaciones se producen altas temperaturas y menos humedad. Lo cual confirma que los ambientes micro climático e higrométrico favorables están regulados por la superficie arbolada. En el entorno la regulación es inhibida por la intensidad de la circulación vehicular y sequedad ambiental propia de altas temperaturas y baja humedad.

El muestreo que se realizó en la superficie permeable ocupada por árboles y áreas de jardín, mostro que la compactación o en su caso la porosidad del suelo y la profundidad del estrato herbáceo determinan las velocidades de infiltración de agua. Lo que aproxima capacidades distintas para regular la escorrentía del agua de lluvia y mitigar los encharcamientos en la vialidad Paseo Tollocan y áreas circunvecinas habitadas.

No obstante que el suelo y los árboles del PMB amortiguan la presión ejercida por el ruido exterior y modifican la percepción de los niveles de ruido que los visitantes escuchan. Los niveles de ruido rebasan los límites permisibles que podrían ocasionar molestias graves y daños de oído en visitantes y transeúntes en las vialidades cercanas.

En el PMB dominan las especies nativas, la mayor capacidad de captura y almacenamiento de carbono se encontró en especies maduras de *Cupressus lusitánica* (cedro blanco) y *Pinus cembroides* (pino piñonero). En la medida que los árboles seniles han alcanzado su máximo desarrollo se convierten en emisores de CO₂ y propensos a las plagas.

Es necesario que se renueven los árboles seniles y remover los árboles muertos, estos representan riesgo para los visitantes. Realizar reforestación procurando especies arbóreas eficientes en la captura de carbono, considerando características de crecimiento, raíces, copa, tipo de follaje y el espacio adecuado en los sitios de plantación.

La presencia de árboles jóvenes equiparable a la superficie ocupada por los árboles maduros, muestra labores de reforestación y aunque en este momento los árboles jóvenes contribuyen poco en las reservas de carbono, la principal función que desempeñan en su proceso de crecimiento es la captura de CO₂ atmosférico.

El PMB es un espacio con condiciones aceptables para el ofrecimiento de los servicios ambientales en el área urbana, permitiendo mediante el arbolado la disminución de la temperatura de -8°C a -19°C, la captura de carbono de 64.42 MgCha⁻¹, aislamiento considerable del ruido en el orden de 13 dB a los 21 dB, además aumenta el área disponible para infiltración de agua pluvial, todos estos servicios benefician al bienestar del visitante y otros de manera general contribuyen a la mejora climática.

La función ambiental depende no solo de la superficie arbolada, reconocimiento de los servicios ambientales y recreacionales, sino de la capacidad del suelo y la vegetación para regular la temperatura y la humedad, favorecer la infiltración de agua de lluvia, amortiguar el ruido y captura y almacenamiento de carbono.

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2016. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes N° 178, Roma, FAO.
- [2] ONU-HABITAT. 2016. Declaración de Toluca para hábitat III América Latina y el Caribe Reunión Regional de América Latina y el Caribe. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible. México: Hábitat III.
- [3] Banco mundial. 2008. Climate Resilient Cities. Reducing Vulnerabilities to Climate Change Impacts and Strengthening Disaster Risk Management in East Asian Cities. The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank.
- [4] Oke, R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.
- [5] García, S. y Guerrero M. 2006. Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes. Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. Argentina: Revista de Geografía Norte Grande.

- [6] Flores Xolocotzi, R. 2012. Incorporando desarrollo sustentable y gobernanza a la gestión y planificación de áreas verdes urbanas. *Frontera Norte*, El Colegio de la Frontera Norte, A.C, julio-diciembre, vol. 24, núm. 48, Tijuana, México. p. 165-190.
- [7] Flores Xolocotzi, R., González Guillen, M.J. 2010. Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos de algunas ciudades del mundo, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, INIFAP, vol. 1, núm. 1, México. p. 17-24.
- [8] Salvador, P. 2003. *la Planificación verde en las ciudades*, Barcelona, Gustavo Gilli.
- [9] Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL). 1999. *Sistema normativo de equipamiento urbano*”, Tomo V. *Recreación y deporte*, Distrito Federal. México: SEDESOL.
- [10] Falcón, A. 2007. *Espacios verdes para una ciudad sostenible*, Barcelona, Gustavo Gilli.
- [11] Vélez, L. 2009. Del parque urbano al parque sostenible. Bases conceptuales y analíticas para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbanos”, *Revista de Geografía Norte Grande*, Pontificia Universidad Católica de Chile, vol. 43, núm. 1, Chile, p. 31-49.
- [12] García, M. 1989. *El Parque urbano como espacio multifuncional: Origen, evolución y principales funciones*. Paralelo 37, España.
- [13] Chiesa, Anna. 2004. “The role of urban parks for the sustainable city”, *Landscape and Urban Planning*, vol. 68, núm. 1, Estados Unidos, pp. 129-138.
- [14] Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being synthesis*, Island Press. United States of America: Island Press. Washington, [<http://www.millenniumecosystem.org>].
- [15] United States Department of Agriculture [USDA]. 1999. *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Estados Unidos: Departamento de Agricultura de Estados Unidos.
- [16] Diario Oficial de la Federación (DOF). 1994. *Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Límites Máximos permisibles de emisión de ruido de Fuentes Fijas y su Método de emisión*. México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- [17] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. *Guía de campo árboles comunes de la ciudad de México*. México: CONABIO.
- [18] Álvarez, G., García, N., Krasilnikov, P., García-Oliva, F. 2013. Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, vol. 47. núm. 2.
- [19] Rojas-García F., De Jong B. H.J., Martínez-Zurimendi P., Paz-Pellat F. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science* 72: 835–864.
- [20] Consejo Nacional de Población. 2010. *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México*. Sedesol-Conapo-Inegi ; México. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010
- [21] Contreras, L. (2013). *Confirman mala calidad del valle de Toluca*. Portal, p. 6.
- [22] Guerrero, A., Primo, A., Gómez, A., Paredes, J. 2016. Variabilidad de la temperatura y la precipitación en la ciudad de Toluca, periodo 1970-2013. En *Sociedad de riesgo en México Análisis y Perspectivas*. Campos, L., Velázquez, D., Orozco, E. (Coord.), pp. 243-267. México: Universidad de Quintana Roo.
- [23] Morales C, Madrigal D, González A. 2007. *Isla de calor en Toluca*. Redalyc. México. ISSN: 1405-0269.
- [24] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2012. *Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica Carta topográfica E14A48*. México: INEGI.
- [25] Gobierno del Estado de México. 2013. *Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático del Estado de México*. México: GEM
- [26] H. Ayuntamiento de Toluca. 2013. *Plan municipal de desarrollo urbano de Toluca 2013-2015*. México: H. Ayuntamiento de Toluca.
- [27] Mercel, E. 2015. *Bosques Urbanos y Parques ecológicos del bicentenario. El Caso de estudio de Parque Metropolitano Bicentenario (PMB), en la ciudad de Toluca, Estado de México*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma México. México.

- [28] Instituto de Información Estadística y Geográfica. 2017. El Sistema de Consulta de Áreas Verdes Urbanas por Habitante, Zapopan, Jalisco, México <http://sitel.jalisco.gob.mx/areasverdes/>
- [29] Gobierno del Estado de México. 2017. Decreto del ejecutivo del estado por el que se declara área natural protegida con la categoría de parque urbano al denominado Parque Metropolitano Bicentenario. México: Gaceta de Gobierno.
- [30] Gobierno del Estado de México. 2012. Norma Técnica Estatal Ambiental. NTEA-015-SMA-DS-2012. México: Gaceta del Gobierno.