



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Planeación Urbana y Regional

**Análisis de los servicios ambientales del Parque
Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de
Toluca**

TESIS

**Qué para obtener el título de:
Licenciada en Ciencias Ambientales**

**Presenta:
Rocío Mañón de la Cruz**

Dirigida por:

**Dra. en G. María Estela Orozco Hernández
M. en C. Patricia Mireles Lezama**

UAEMéx 4286/2017/CI



Toluca, Estado de México. Marzo de 2018

DEDICATORIA

A mi madre y a mi hermano, por todo el amor, la comprensión, el apoyo incondicional y la felicidad que me brindan día con día. ¡Los amo!

AGRADECIMIENTOS

A la UAEMéx.

Por apoyarme en la elaboración de este trabajo mediante el proyecto “Evaluación de la función ambiental de los parques urbanos”. Y por ser la institución que me ha forjado como profesionista y también como ser humano.

A la administración del Parque Metropolitano Bicentenario

Por las facilidades otorgadas para la elaboración de este trabajo.

M. Paty Mireles

Por el apoyo que siempre me ha brindado, no solo en el aspecto académico. Gracias por los consejos, las enseñanzas, la amistad y por impulsarme a mejorar en cualquier aspecto de la vida.

Dra. Estela Orozco

Por aceptar trabajar conmigo, por su disposición para escucharme y orientarme. Por el apoyo que me ha brindado, por los consejos, críticas, asesorías y las oportunidades que me ha otorgado.

Dr. Jorge Tapia

Por el interés y disposición que mostró desde el inicio hasta el final de este trabajo. Gracias por sus críticas, observaciones, por apoyarme e impulsarme a construir y mejorar este trabajo.

M. Armando Reyes

Por ser un excelente profesionista y una gran persona. Gracias por las enseñanzas, por compartir su conocimiento y sus experiencias. Gracias por sus críticas y consejos para mejorar este trabajo.

Dr. Gustavo Álvarez

Porque siempre estuvo dispuesto a apoyarme en las dudas que tuve, gracias por las pláticas, consejos y orientación que me brindó.

Lic. Tony, Emilia, Luna, Gabriela, Alejandra, Arintzy, Rubí, Luis, Juan y Alejandro por el apoyo en el trabajo de campo.

Luis

Por todo tu cariño y el apoyo incondicional que me has brindado.

¡Muchas gracias! a todas aquellas personas (mi familia y amigos) que me han apoyado incondicionalmente en este camino y que de alguna u otra forma han incidido en mi vida y en este paso logrado.

ACRÓNIMOS

°C	Grados centígrados
ABT	Área Basal Total
CH ₂ O	Carbohidrato
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
DAP	Diámetro a altura del pecho (1.30 m)
dB	Decibeles/ decibelios
DOF	Documento Oficial de la Federación
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg CO ₂ eq	Gigagramos de dióxido de carbono equivalentes
H ₂ O	Agua
IMECA	Índice Metropolitano de Calidad del Aire
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MgC	Megagramos de Carbono
MgCha ⁻¹	Megagramos de Carbono por hectárea
mL	Mililitros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₂	Oxígeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
PMB	Parque Metropolitano Bicentenario
ProAire	Programa para mejorar la calidad del aire de la ZMVT
tCO ₂	Toneladas de Dióxido de Carbono
USDA	United States Department of Agriculture
ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	5
1.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	6
1.1.1 EFECTOS DE LAS CIUDADES EN EL CLIMA	6
1.1.2 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS CIUDADES	8
1.1.3 EVOLUCIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS PARQUES	11
1.1.4 LOS PARQUES COMO ELEMENTOS DE SUSTENTABILIDAD DE LAS CIUDADES Y SERVICIOS AMBIENTALES..	13
1.1.5 RETOS QUE ENFRENTAN LAS ÁREAS VERDES URBANAS	16
1.1.6 SERVICIOS AMBIENTALES	17
1.1.7 PARQUE URBANO	19
1.1.8 PRECIPITACIÓN E INUNDACIONES	19
1.1.9 AUMENTO DE TEMPERATURA E ISLAS DE CALOR	21
1.1.10 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.....	24
1.1.11 EL CICLO DEL CARBONO Y CAPTURA DEL CARBONO	27
1.2 CASOS DE ESTUDIO	30
1.3 ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN	34
1.3.1 ENFOQUE DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES	34
1.3.2 ENFOQUE DEL DESARROLLO URBANO SUSTENTABLE	35
1.4 DISEÑO METODOLÓGICO	36
1.4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	36
1.4.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	37
1.4.3 JUSTIFICACIÓN	38
1.4.4 OBJETIVOS	39
1.4.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES E INDICADORES	39
1.4.6 METODOLOGÍA	40
1.5 METODOLOGÍA POR SERVICIO AMBIENTAL.....	45
1.5.1 INFILTRACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES	45

1.5.2 REGULACIÓN DE TEMPERATURA.....	48
1.5.3 AISLAMIENTO DE RUIDO.....	50
1.5.4 ALMACÉN DE CARBONO	51
EPÍLOGO	54
CAPÍTULO II. CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE METROPOLITANO BICENTENARIO	55
2.1 TOLUCA DE LERDO.....	56
2.1.1CONDICIONES BIOFÍSICAS.....	58
2.1.1.1 CLIMA Y PRECIPITACIÓN	58
2.1.1.2 VIENTOS.....	60
2.1.1.3 SUELOS	61
2.1.1.4 HIDROLOGÍA.....	63
2.1.1.5 GEOMORFOLOGÍA.....	65
2.1.1.6 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	66
2.1.2 CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS	69
2.1.2.1 POBLACIÓN	69
2.1.2.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS	71
2.1.2.3 PARQUE VEHICULAR	72
2.1.3 ÁREAS VERDES	73
2.1.4 PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES	77
2.1.4.1 CAMBIO EN EL PATRÓN DE PRECIPITACIÓN.....	77
2.1.4.2 AUMENTO DE TEMPERATURA	78
2.1.4.3 EMISIONES DE GEI.....	80
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PARQUE METROPOLITANO BICENTENARIO	84
2.2.1 CLIMA Y PRECIPITACIÓN	84
2.2.2VEGETACIÓN	85
2.2.3 INSTALACIONES.....	86
EPÍLOGO	89

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	90
3.1 RESULTADOS	91
3.1.1 INFILTRACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES	91
3.1.2 REGULACIÓN DE TEMPERATURA.....	95
3.1.3 AISLAMIENTO DE RUIDO	98
3.1.4 SERVICIO AMBIENTAL: ALMACÉN DE CARBONO	100
3.1.4.1 DENSIDAD Y ÁREA BASAL	101
3.1.1.2 ALMACÉN DE CARBONO	102
3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	104
3.2.1 SERVICIO AMBIENTAL: INFILTRACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES	104
3.2.2 SERVICIO AMBIENTAL: REGULACIÓN DE TEMPERATURA.....	107
3.2.3 SERVICIO AMBIENTAL: AISLAMIENTO DE RUIDO.....	109
3.2.4 SERVICIO AMBIENTAL: ALMACÉN DE CARBONO	111
EPÍLOGO	116
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
4.1 CONCLUSIONES.....	118
4.2 RECOMENDACIONES.....	122
5. ANEXOS.....	125
6. REFERENCIAS.....	131

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1	Efectos potenciales del cambio climático.....	8
Cuadro 1.2	Funciones de los parques en el ambiente urbano.....	14
Cuadro 1.3	Principales servicios ambientales de los parques urbanos.....	15
Cuadro 1.4	Retos de las áreas verdes urbanas.....	16
Cuadro 1.5	Valores límites recomendados para exposición a ruidos.....	25
Cuadro 1.6	Límites máximos permisibles.....	26
Cuadro 1.7	Análisis de servicios ambientales.....	41
Cuadro 1.8	Ecuaciones alométricas.....	52
Cuadro 2.1	Uso de suelo en el municipio de Toluca.....	67
Cuadro 2.2	Áreas verdes municipales.....	74
Cuadro 2.3	Total de emisiones en Gg de CO ₂ eq para los años 2005 y 2010.....	80
Cuadro 2.4	Emisiones de CO ₂ eq. por categoría.....	82
Cuadro 2.5	Emisiones de CO ₂ por categoría en sector energía.....	82
Cuadro 2.6	Principales fuentes contaminantes GEI en Toluca.....	83
Cuadro 2.7	Superficie de las instalaciones y usos.....	87
Cuadro 3.1	Decibeles registrados.....	98
Cuadro 3.2	Densidad de individuos.....	102
Cuadro 3.3	Área basal.....	102
Cuadro 3.4	Carbono almacenado por género arbóreo.....	103
Cuadro 3.5	Superficie por clase de infiltración.....	104
Cuadro 3.6	Estimación del contenido de carbono por hectárea en diferentes áreas verdes.....	114
Cuadro 4.1	Servicios ambientales del parque Metropolitano Bicentenario.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Escalas y capas atmosféricas en el clima urbano.....	6
Figura 1.2	Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	18
Figura 1.3	Número de inundaciones registradas de 1985 a 2011.....	20
Figura 1.4	Flujo de calor en áreas urbanas y suburbanas.....	23
Figura 1.5	Ciclo del carbono.....	27
Figura 1.6	Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.....	29
Figura 1.7	Variables e indicadores.....	40

Figura 1.8 Procedimiento metodológico.....	42
Figura 1.9 Sitios de lectura.....	44
Figura 1.10 Esquema de muestreo.....	45
Figura 1.11 Posición del sonómetro.....	50
Figura 1.12 Medición de circunferencia a los 1.30 m.....	51
Figura 1.13 Medición de la altura del arbolado.....	52
Figura 2.1 Mapa base.....	57
Figura 2.2 Vientos dominantes en el municipio de Toluca.....	60
Figura 2.3 Mapa edafológico.....	62
Figura 2.4. Mapa hidrológico.....	64
Figura 2.5 Mapa de uso de suelo y vegetación	68
Figura 2.6. Mapa áreas verdes.....	76
Figura 2.7 Temperatura y precipitación de 1990-2005 en Toluca.....	77
Figura 2.8 Emisiones de dióxido de carbono, por actividad en Gg de CO ₂ eq, 2005 y 2010.....	81
Figura 2.9 Características del cedro blanco (<i>cupressus lusitánica</i>).....	86
Figura 2.10 Zona Militar Toluca en el año 2003 y Parque Metropolitano Bicentenario 2016.....	86
Figura 2.11 Croquis de ubicación de las zonas del PMB.....	87
Figura 2.12 Instalaciones del PMB.....	88
Figura 3.1 Velocidad de infiltración (minutos) por sitio.....	94
Figura 3.2 Velocidad de infiltración.....	106

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Cubierta plástica sobre el cilindro.....	46
Fotografía 1.2 500 ml de agua sobre la cubierta plástica.....	46
Fotografía 1.3 Conteo de tiempo de infiltración.....	46
Fotografía 1.4 Ejercicio de infiltración.....	46
Fotografía 1.5 Lectura de pH in situ.....	47
Fotografía 1.6 Lectura de humedad y temperatura.....	47
Fotografía 1.7 Lectura de humedad y temperatura en asfalto con arbolado.....	49
Fotografía 1.8 Lectura de humedad y temperatura en superficie cementada sin arbolado.....	49
Fotografía 1.9 Lectura de humedad y temperatura en superficie asfáltica (Tollocan).....	49
Fotografía 1.10 Lectura de humedad y temperatura en arbolado (zona reforestada).....	49
Fotografía 3.1 Sitio 1; Lectura de pH.....	91

Fotografía 3.2 Sitio 2; profundidad de raíces.....	92
Fotografía 3.3 Sitio 3; Infiltración.....	93
Fotografía 3.4 Sitio 3; Infiltración en sitio 3.....	95
Fotografía 3.5 Material de la zona de juegos.....	97

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1 Habitantes en la Ciudad de Toluca.....	70
Gráfica 2.2 Viviendas habitadas en la Ciudad de Toluca.....	70
Gráfica 2.3 Unidades económicas de Toluca de Lerdo.....	72
Gráfica 2.4 Comportamiento de la temperatura por década en la ciudad de Toluca; periodo 1970-2013.....	79
Gráfica 2.5 Climograma Parque Metropolitano Bicentenario (año 2014).....	85
Gráfica 3.1 Promedio en minutos de Y por sitio.....	93
Gráfica 3.2 Promedio en minutos/500 mL por sitio.....	94
Gráfica 3.3 Temperatura y humedad en distintas superficies.....	95
Gráfica 3.4 Temperatura registrada en distintas superficies bajo y sin arbolado.....	96
Gráfica 3.5 Humedad registrada en distintas superficies bajo y sin arbolado.....	97
Gráfica 3.6 Decibeles registrados 7:30 a.m.....	99
Gráfica 3.7 Decibeles registrados 11:30 a.m.....	99
Gráfica 3.8 Decibeles registrados 2:30 p.m.....	100
Gráfica 3.9 Árboles muestreados.....	100
Gráfica 3.10 Número de árboles y DAP (diámetro a la altura del pecho = 1.30 m).....	101
Gráfica 3.11 Porcentaje de carbono almacenado por género.....	103
Gráfica 3.12 Niveles de ruido registrados.....	110

RESUMEN

Los problemas relacionados con la urbanización y los efectos del cambio climático en la ciudad de Toluca originan problemas de salud y bienestar para los habitantes que inciden sobre su calidad de vida. En los ambientes urbanos se ha comprobado la capacidad de las áreas verdes para disminuir algunos efectos ambientales nocivos como los gases de efecto invernadero, las altas temperaturas o el ruido asociados a la dinámica de la ciudad.

En este sentido, en este trabajo se analizaron los servicios ambientales que ofrece el Parque Metropolitano Bicentenario; la capacidad de infiltración de las áreas permeables como amortiguador de inundaciones, la regulación de la temperatura mediante el arbolado, el aislamiento del ruido generado en el exterior y el almacén de carbono en la vegetación arbórea dentro del parque.

En cuanto a la infiltración se obtuvieron valores promedio de velocidad de infiltración que fueron desde los 4.6 min/500mL hasta los 40.1 min/500mL, que de acuerdo a la USDA (1999), se encuentran en categorías de velocidad de infiltración moderadamente lenta a moderadamente rápida. Respecto a la regulación de temperatura, la temperatura más elevada se obtuvo en el punto P. Tollocan y calles aledañas con una temperatura de 39.5°C, mientras que la temperatura más baja se registró en la zona arbolada densa con 20.7°C existiendo una diferencia de 18.8°C.

Al respecto de los niveles de ruido, los niveles más altos se obtuvieron en P. Tollocan con 81.9 dB, la mayoría de los valores obtenidos rebasaron los límites máximos permisibles expuestos en la NOM-081, a excepción de un valor obtenido en la zona arbolada de 54.4 dB, lo que permite observar un aislamiento de ruido del orden de 27.5 dB en este caso. En cuanto al carbono almacenado se obtuvo un total de 517.958 MgC, almacenado en 2,396 individuos arbóreos, las especies que dominaron fueron *Cupressus lusitánica* y *Pinnus cembroides*, con ello se almacena uno de los principales GEI generados en la ciudad.

INTRODUCCIÓN

Las décadas recientes se han caracterizado por una creciente migración desde las áreas rurales a las urbanas. Como consecuencia, desde 2008 y por primera vez en la historia, más de la mitad de la población mundial vive en los poblados y ciudades, y se ha previsto que este porcentaje aumentará hasta un 70% en 2050. En su expansión, las ciudades rediseñan y alteran los paisajes naturales, creando microclimas en los cuales las temperaturas, precipitaciones y vientos son diferentes a los alrededores rurales (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016).

Las grandes urbes se han convertido en las mayores contribuyentes del calentamiento global, al ser las generadoras de aproximadamente el 67% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), las cuales consumen casi el 80% de la energía que se genera mundialmente (Barcena y Tiessen, 2013). Las ciudades concentran cientos de millones de personas que corren un gran riesgo de sufrir los efectos del cambio climático. Las zonas urbanas enfrentan riesgo de inundación en caso de fuertes precipitaciones, altas concentraciones de contaminantes en el aire por actividades industriales y domésticas, ondas de calor, transmisión de enfermedades, etc.

En la actualidad es incuestionable la acumulación de problemas ambientales y la mayoría de las iniciativas de diseño urbano, están relacionadas con el cierre de las heridas causadas por las intervenciones de la era moderna (Ellin, 1996). En este contexto de vulnerabilidad y riesgo, la adaptación debe ser un componente central de cualquier esfuerzo de combate al cambio climático y a sus efectos potenciales. En las ciudades los parques o bosques urbanos, se conciben como una medida de adaptación y mitigación a corto y mediano plazo para amortiguar los efectos del cambio climático.

Si bien las ciudades ocupan sólo el 2% de la superficie del planeta, sus habitantes utilizan el 75% de sus recursos naturales. Por tanto, el desarrollo urbano sostenible

es fundamental para garantizar la calidad de vida de la población mundial. Los bosques y los árboles de los entornos urbanos y periurbanos, si están gestionados adecuadamente, pueden contribuir enormemente a la planificación, diseño y gestión de paisajes sostenibles y resilientes (FAO, 2016).

En las ciudades las áreas verdes permiten regular la temperatura por medio de la sombra y la humedad, actuar como cortinas rompe viento y funcionar como hábitat de algunas especies de fauna, también son denominados como “pulmones de ciudad” ya que permiten mejorar la calidad del aire, así mismo, en consideración a que la superficie de las ciudades está sellada por asfalto, los parques funcionan como un controlador de inundaciones y posibilitan y favorecen la recarga de mantos acuíferos.

Las áreas urbanas de Toluca son vulnerables a las fuertes presiones derivadas de las actividades humanas, como el cambio del uso del suelo, actividades que promueven la emisión de GEI, como la industria, el aumento de vehículos automotores en circulación y la falta de educación ambiental que se conjugan para propiciar la degradación de los recursos y ecosistemas que le dan soporte y equilibrio a la calidad del ambiente en la ciudad y que además brindan servicios ambientales.

Considerando que en la ciudad de Toluca el desarrollo urbano e industrial ha traído consigo una creciente demanda de servicios, así como una gran extensión de espacios para satisfacer estas necesidades, han favorecido el crecimiento demográfico de manera exponencial invadiendo zonas de recreación y esparcimiento.

Debido a la dinámica tan compleja y a los problemas que suscitan en la ciudad de Toluca, es necesario desarrollar investigaciones diseñadas al estudio de las áreas verdes; bosques o parques urbanos y en especial a la relación con los servicios ambientales que proveen para beneficio del hombre. Lo que amplía la perspectiva del importante y diverso papel que poseen las áreas verdes para aminorar los

impactos negativos de la urbanización sobre los ecosistemas regionales y el mejoramiento de la calidad ambiental de las ciudades (Meza y Moncada, 2010).

En este sentido, este trabajo tiene como principal objetivo analizar los servicios ambientales que provee el Parque Metropolitano Bicentenario (PMB) en la ciudad de Toluca.

En el primer capítulo se desarrolla el marco teórico-metodológico que permite ampliar el panorama de la temática de los servicios ambientales, ahondando en conceptos clave y casos de estudio que permiten comprender la importancia de las áreas verdes urbanas en las ciudades, resaltando la importancia y el impacto de sus beneficios para disminuir, mitigar o controlar algunos efectos adversos de la urbanización y del cambio climático, así mismo se contextualiza al parque a través del tiempo y se identifica la evolución de su uso e importancia. También se aborda el procedimiento metodológico para obtener los datos requeridos para el análisis.

En el segundo capítulo se caracteriza a la Ciudad de Toluca de Lerdo y al parque Metropolitano Bicentenario, resaltando los aspectos importantes de ambos para la dinámica de la ciudad. El tercer capítulo versa en dar a conocer los resultados obtenidos, una vez que estos ya fueron sometidos a un proceso de captura y procedimientos estadístico-matemáticos y cartográficos para determinar y obtener los resultados, posterior a esto se muestra también en este capítulo el análisis de los resultados obtenidos. Por último, el capítulo IV muestra las conclusiones del presente trabajo, así como las sugerencias dirigidas a los administradores y tomadores de decisiones del Parque Metropolitano Bicentenario.

CAPÍTULO I

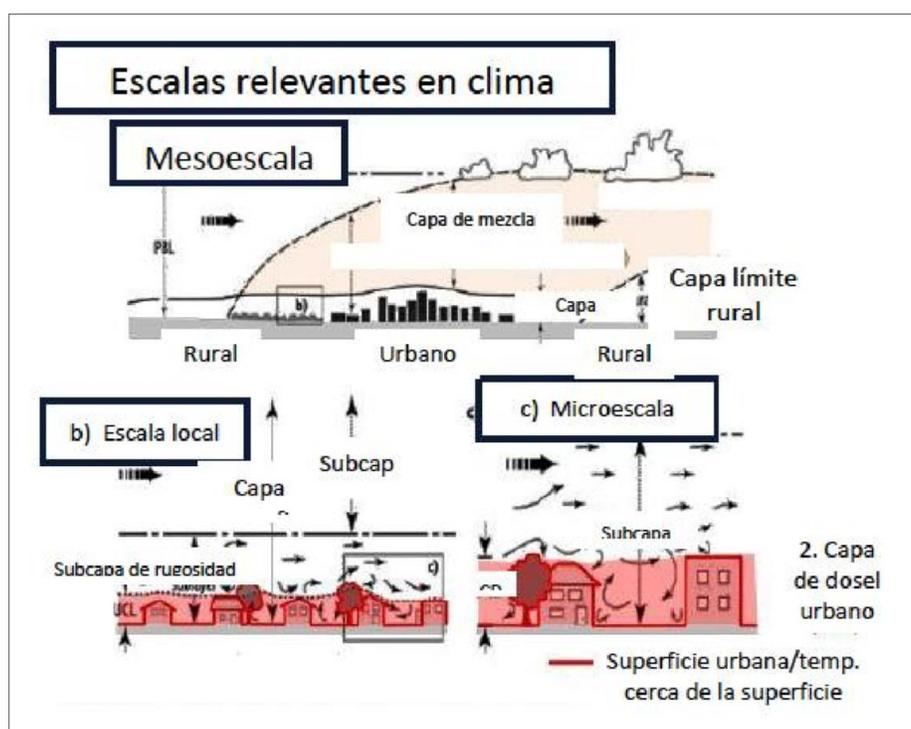
MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO

1.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

1.1.1 EFECTOS DE LAS CIUDADES EN EL CLIMA

La planificación urbana es vital, sobre todo en ciudades con rápido crecimiento, en donde la reducción de riesgos asociados a fenómenos meteorológicos, hidrológicos y climáticos hacen necesario conocer cuáles son los procesos atmosféricos y climáticos que inciden sobre ellas (Conde et al., 2013). La interface ciudad-atmósfera es extremadamente compleja, por lo que es necesario tener un buen entendimiento del papel y las superficies urbanas para reducir los efectos negativos de la urbanización (Grimmond y Souch, 1994).

Figura 1.1 Escalas y capas atmosféricas en el clima urbano.



Fuente: Modificado al español de Srivanit, M, 2013, modificado de Oke, 1997.

Oke (1987) explica que la influencia de la superficie de la tierra se limita a los primeros diez kilómetros, sin embargo en periodos determinados se restringe a una capa mucho más delgada, a la que se le conoce como “capa límite atmosférica” la cual no tiene una altura determinada ya que depende de la turbulencia generada por el calentamiento de la superficie. También explica que la disipación de la energía proveniente del sol es distinta si se trata de un medio urbano o rural. En un ambiente urbano durante el día los materiales se calientan de forma progresiva y más lentamente que los suelos con vegetación o desnudos de las zonas rurales, durante la noche los materiales urbanos más densos conservan durante más tiempo el calor que ganaron durante el día, la presencia de edificios y calles en la ciudad dificulta la pérdida de calor y modifica el movimiento del aire en la superficie.

La evapotranspiración, juega un papel importante ya que en el medio rural la radiación solar se consume primordialmente en evaporar agua, mientras que en el medio urbano la energía se emplea más en calentar las edificaciones al existir menos superficies húmedas. La combinación de la radiación solar de onda corta incidente (cielos despejados) y de la baja humedad resulta en una ganancia durante todo el día, pero una baja capacidad en la superficie y un rápido enfriamiento del suelo o vegetación durante la noche, produce diferencias térmicas urbano-rurales (McCarthy y Sanderson, 2011).

Producto de estas diferencias en la forma en que se disipa el calor en los ambientes urbanos y rurales es el fenómeno conocido como isla de calor, la cual se muestra como una diferencia marcada de mayores temperaturas al interior de la ciudad con respecto a los alrededores rurales (Stewart y Oke, 2012) y que tiene como primera consecuencia el aumento del consumo energético de los edificios para el enfriamiento en condiciones de verano.

El fenómeno de la isla de calor puede producirse tanto de día como de noche, provocando un aumento de temperatura que puede alcanzar los 10°C (Tumini, s/f). El problema del enfriamiento de los edificios en los climas cálidos es muy importante, ya que puede suponer un consumo energético y emisiones superiores

a los producidos por la calefacción. No todas las ciudades presentan las mismas afectaciones.

Las diferencias en cuanto a ubicaciones, características del tejido urbano, la planeación o falta de ella en su proceso de crecimiento y en general la situación socioeconómica resaltara las modificaciones sustanciales climáticas entre ellas (Luyando, 2016).

1.1.2 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS CIUDADES

Las ciudades se enfrentan a los impactos significativos, actuales del cambio climático. Tales impactos pueden desencadenar graves consecuencias para la salud, los medios, modos de vida y las actividades de los seres humanos, en especial en el caso de las poblaciones pobres urbanas, los residentes de asentamientos informales y grupos vulnerables.

Los impactos del cambio climático incluyen desde el aumento de los fenómenos meteorológicos extremos y las inundaciones, hasta un clima extremo. En cada ciudad, los impactos específicos dependerán de los cambios en el clima (tales como aumento de la temperatura o de la precipitación), que varían de un lugar a otro.

En ciertos casos, las ciudades estarán expuestas a un aumento en la frecuencia de los peligros ya existentes relacionados con el clima, como es el caso de las inundaciones (Banco Mundial, 2008). En el cuadro 1.1 se visualizan los riesgos potenciales del cambio climático en las ciudades.

Cuadro 1.1 Efectos potenciales del cambio climático

Riesgo	Implicaciones para la ciudad	Sectores afectados	Grupos más vulnerables
Clima más cálido, días	Incremento en la contaminación del aire.	Salud pública Energía Transporte	Grupos de ingresos bajos, ancianos.

y noches más calientes	Incremento en la demanda de electricidad (refrigeración). Reducción de la necesidad de energía para calefacción. Propagación de enfermedades tropicales en estaciones concretas. Plagas (ej. mosquitos).	Construcción	
Olas de calor	Incremento de la mortalidad relacionada con el calor (en especial en grupos vulnerables). Incremento de la demanda de agua. Problemas de calidad del agua. Reducción en la calidad de vida de las personas en áreas cálidas.	Salud pública. Energía. Protección civil.	Ancianos, enfermos, recién nacidos, personas aisladas.
Episodios de precipitación intensa	Riadas. Contaminación del agua. Pérdida de inmuebles e infraestructuras.	Protección civil. Planificación urbana. Salud pública.	Barrios de ingresos bajos. Barrios ubicados en zonas con riesgo de riadas.
Aumento de episodios de sequía	Incremento de los problemas derivados de la escasez de agua.	Suministro y tratamiento de agua.	Grupos de ingresos bajos.

Fuente: Oltra, 2013.

De acuerdo al Banco Mundial (2008) el principal efecto es el aumento en la temperatura que aunado al efecto de los suelos sellados hacen que la temperatura local se eleve, provocando una serie de reacciones causales que conllevan a mayor

uso de agua para beber, más residuos sólidos, mayor uso de energía por el uso de aire acondicionado y que puede derivar en el desarrollo de ondas de calor que tienen efectos directos a la salud y bienestar de la población.

Considerando que las ciudades son sistemas dinámicos que enfrentan impactos climáticos únicos, la adaptación debe ser un proceso específico del lugar en que se realice, con características apropiadas para el contexto local. El punto de partida para la gestión de riesgos y el 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 políticas de respuesta e inversiones que permitan hacer frente a esas vulnerabilidades y riesgos (Banco Mundial, 2008).

Hay diversas formas de estrategias y opciones de adaptación, una de ellas es la destinada a la gestión del calor en las ciudades, esto a través del incremento del arbolado, la vegetación, y azoteas verdes. El incremento previsible de las temperaturas y de los episodios de olas de calor en las ciudades plantea dos retos fundamentales: la mitigación del efecto isla de calor y la preparación de las comunidades frente a las olas de calor (Oke, 1982).

Al considerar la adaptación al cambio climático a través del proceso formal de planificación o elaboración de políticas, se puede hacer más duradero un programa a largo plazo especialmente cuando se trate de una ciudad en que la determinación de hacer frente al cambio climático resida en gran medida en unos pocos tomadores de decisiones.

Los programas informales, así como las iniciativas que no versen expresamente sobre el cambio climático, pero que contribuyan a la resiliencia, pueden también ser puntos de partida valiosos. Los programas de adaptación realizados en ciudades, ofrecen beneficios conjuntos en cuanto a mitigación del cambio climático y desarrollo económico local (Banco Mundial, 2008).

1.1.3 EVOLUCIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS PARQUES

A través del tiempo y entre las sociedades humanas, la percepción, diseño y uso de los parques han cambiado notablemente. Boffill et al. (2009) hacen una reseña histórica de los parques desde la Grecia clásica, donde existían parcelas naturales, que en un inicio eran dedicadas a los dioses Dionisio y Apolo, pero que posteriormente pasaron a uso público.

En la Edad Media, surge una época que es marcada por la ausencia de este tipo de espacios públicos, restringiendo el uso de jardines a particulares en el interior de edificios religiosos, para uso privado de los reyes. En el Renacimiento surge un nuevo concepto del espacio urbano, los parques y jardines alcanzan gran desarrollo pero siempre ligados a las élites económicas o de sangre, son los grandes jardines renacentistas complemento de las edificaciones arquitectónicas. La Edad Moderna trae consigo un nuevo orden social y político, caracterizado por las monarquías absolutas y el estilo artístico barroco, también destaca la conciencia ciudadana en la puesta en práctica de la filosofía de la extensión de parques públicos.

El siglo XIX supone el término de todo un proceso dedicado a conseguir la recreación de la naturaleza en el espacio urbano para recreo y esparcimiento público, a la vez que constituye el punto de partida para la consideración del parque como factor de higiene y servicio público a cargo de los municipios. Actualmente, los parques y jardines no pueden analizarse como elementos independientes, ya que su consideración debe tener en cuenta no solo el cambio producido en la escala urbana, sino también en carácter de aquellos que consideran a la ciudad como un conjunto de elementos y funciones entrelazados (Sierra y Ramírez, 2010).

En la carta de Atenas, nombre conferido al documento “reflexión y conclusiones del IV Congreso Internacional de Arquitectura Moderna” de 1933 denuncia la falta de áreas verdes, se habla de la necesidad de sustituir a los islotes insalubres urbanos por espacios verdes, pues éstas juegan un importante papel como elementos reguladores del medio ambiente, pero también por tener una acción directa sobre la

psiquis del hombre, en las relaciones sociales y ser el soporte físico de las actividades de recreo y descanso. A partir de estas consideraciones, el concepto de parque respondería a un esquema multifuncional muy integrado dentro del contexto urbano y accesible para el conjunto de la población (Sierra y Ramírez, 2010).

El tema del equilibrio ecológico en las metrópolis ha adquirido mayor importancia en el ámbito internacional a partir de la Primera conferencia cumbre de la Organización de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente, en la ciudad de Estocolmo en 1972. Los antecedentes directos sobre el tema datan de 1976 con la conferencia cumbre sobre las ciudades “Hábitat I” en Vancouver, Canadá. Posteriormente, en Estambul, Turquía en junio de 1996 se llevó a cabo la segunda conferencia cumbre de las ciudades de la Organización de las Naciones Unidas sobre asentamientos humanos “Hábitat II”. El tema central: los problemas generados por el acelerado desarrollo de las ciudades (González, 1996).

La sustentabilidad ambiental de las áreas verdes urbanas, es aquella que concilia al menos tres objetivos: la eficiencia ecológica, la equidad social y la eficiencia económica. Se necesita encuadrar el contexto de la sustentabilidad hacia la búsqueda de un desarrollo sustentable en la gestión de áreas verdes, designando espacios para la sociabilización, en los denominados parques urbanos. Dicha tarea ha llevado a los gobiernos y organizaciones de todo el mundo a esforzarse en el diseño de estrategias que aseguren la calidad de vida y el bienestar de los ciudadanos siguiendo criterios de ahorro, conservación de recursos y respeto al entorno (García y Guerrero, 2006).

Desde una perspectiva de sustentabilidad, la OMS establece que deben existir entre 10 y 15 m² de áreas verdes por habitante, mismas que deben encontrarse a no más de 15 minutos de distancia de los habitantes (Merzell, 2015; Rodríguez, 2002;). No obstante, el deterioro ambiental, las amenazas naturales, así como las agravadas por hombre y la mala gestión de espacios públicos, abaratan el suelo, lo sacan del mercado formal y facilitan el desarrollo de asentamientos informales de crecimiento que aumentan los riesgos y la degradación de áreas verdes (Camargo, 2008).

1.1.4 LOS PARQUES COMO ELEMENTOS DE SUSTENTABILIDAD DE LAS CIUDADES Y SERVICIOS AMBIENTALES

De acuerdo a Cities Alliance (2009) de Estados Unidos, los parques urbanos son instituciones dinámicas que juegan un vital, pero no totalmente apreciado o entendido papel en el desarrollo social, económico y el bienestar físico de las áreas urbanas y de su población. Un parque urbano contribuye a la sustentabilidad en primer plano, en el aspecto ecológico ya que los parques contribuyen al secuestro de carbono de la atmósfera y a la amortiguación de la temperatura (Anaya, 2002).

En el aspecto económico, se puede decir que dentro de un parque se pueden generar empleos y servicios que contribuyen al turismo urbano. Además contribuyen por ejemplo, al ahorro en los costos de mantenimiento en infraestructuras de la ciudad. Los árboles y la vegetación en parques urbanos ofrecen soluciones naturales de un menor costo para hacer frente a la escorrentía de aguas pluviales y la contaminación del aire, por ejemplo, Filadelfia experimentó \$16 millones en ahorros anuales de costos públicos como resultado de la gestión de las aguas pluviales y la reducción de la contaminación del aire, según un informe de 2008 por el Fideicomiso para el Centro de Suelos Públicos para la Excelencia en Parques Urbanos (Cities Alliance, 2009).

En el aspecto social, estos espacios operan de manera democratizadora en la sociedad que los visita y son un resguardo para la recreación, relacionada con las necesidades del individuo que busca alternativas para disfrutar el espacio en el que vive (Anaya, 2001). A su vez los parques traen buena salud a los habitantes de las ciudades pues incitan la adopción de un estilo de vida activo que a su vez reduce el estrés y la obesidad, e incluso puede disminuir el riesgo de enfermedades del corazón y diabetes lo que habla en favor de los grandes espacios abiertos como una puerta de entrada a una mejor salud (City Alliance, 2009).

En el cuadro 1.2 se mencionan algunos de los beneficios de los parques en un ambiente urbano.

Cuadro 1.2 Funciones de los parques en el ambiente urbano

Valor	Funciones
Ecológico	Recarga de acuíferos Control en la emisión de partículas Hábitat de flora y fauna Biodiversidad Absorben el ruido Microclima
Paisaje arquitectónico	Control vial Ruptura visual Reducen el brillo y reflejo del sol Elementos armonizantes y de transición Mejoran la fisonomía del lugar
Socioeconómico	Desarrolla actividades recreativas Permite realizar educación ambiental Brinda confort anímico Agradable en sus ratos de ocio Moderan el estrés Ofrece salud física-mental Provee empleo Brinda bienes materiales Fomenta la convivencia comunitaria

Fuente: Anaya 2001: 25.

Los parques no solo ofrecen servicios de ocio y recreación, unas de las funciones más importantes es fungir como prestadores de servicios ambientales. Estos van desde la consideración de un parque como bioma a regulador de las condiciones de carácter climático-térmico a la de amortiguador de efectos ambientales nocivos como la contaminación atmosférica y sónica (García, 1989).

Los principales servicios ambientales que ofrecen los parques se muestran en el cuadro 1.3.

Cuadro 1.3 Principales servicios ambientales de los parques urbanos

Servicio ambiental	Descripción
Regulador climático	Los factores climáticos como lo son la humedad, la temperatura o los vientos, pueden y de hecho lo son, modificados en los parques y transmitir su influencia a las zonas urbanas próximas. La presencia de masas vegetales presenta un efecto refrigerador sobre el clima urbano a la vez que el aumento de la humedad relativa combate la sequedad ambiental actuando como regulador higrométrico.
Amortiguador de efectos ambientales nocivos	La polución atmosférica es uno de los grandes temas de preocupación en las áreas urbanas; toda vez que las masas vegetales fijan el polvo y materiales residuales, depuran bacterias, generan oxígeno, fijan gases tóxicos. Diversos estudios demuestran que una zona con vegetación reduce la contaminación entre 10% y 20% en comparación con otras zonas sin vegetación. En cuanto a la contaminación sónica, según señala Velasco (1971) el papel de los árboles o de las pantallas vegetales como amortiguadores de ruido es importante y puede suponer una disminución del orden de 8 a 10 decibeles.
Protección a la naturaleza	Desde la estrategia ambiental conservacionista, el parque permite por su extensión la organización y división de espacios en orden al desarrollo de biotopos.
Función higiénico-sanitaria	Centrada a las consecuencias de los factores anteriormente enunciados, como factor bactericida, oxigenante, fijador de gases nocivos.
Función educativa	El parque ofrece grandes posibilidades de educación ambiental, lo que proporcionara al educando valoración de la naturaleza y de sus efectos sobre la especie humana.

Fuente: Elaborado con base en García, 1989.

1.1.5 RETOS QUE ENFRENTAN LAS ÁREAS VERDES URBANAS

De acuerdo a Sorensen et al. (1998) existen numerosos obstáculos relacionados con la sociedad, las instituciones y las propias condiciones ambientales. En el cuadro 1.4 se muestran los principales retos.

Cuadro 1.4 Retos de las áreas verdes urbanas

Retos	Descripción
Capacidad gubernamental	Falta general de coordinación entre los distintos niveles de gobierno y falta de una evaluación económica.
Sostenibilidad financiera	El financiamiento para el mantenimiento regular y protección de los espacios verdes no es suficiente. Sin un compromiso presupuestario para sostener las áreas verdes, una inversión en el establecimiento de dichas áreas puede convertirse en un desperdicio de dinero
Tenencia de la tierra	La tenencia de la tierra no regulada podría ser concebida como el obstáculo más significativo, sobre todo en el caso de la propiedad privada o comunal o la posesión ilegal de la tierra de asentamientos humanos informales.
Participación local	Algunos programas nacionales no coinciden con prioridades locales producto de una falta de coordinación a nivel local. Algunos proyectos fracasan en su implementación debido a que los usuarios locales no suelen tener interés si sienten que sus opiniones no se valoran ni se toman en cuenta.
Limitaciones ecológicas	Principalmente relacionado con la condición del suelo debido a que en la mayoría de las ocasiones el suelo se encuentra compactado, rellenado o sellado.

Fuente: Elaboración propia con base en Sorensen et al., 1998.

Lograr que los funcionarios municipales y los sectores privado y público estimen los beneficios reales del manejo de áreas verdes para tomar decisiones de inversión es uno de los principales retos, debido a que constantemente se encuentra el problema

de como asignar un valor a los recursos verdes de la ciudad, reflejando todos los costos y beneficios.

Aunado a lo anterior se encuentran una serie de inconvenientes relacionados con la aceptación de la sociedad dirigida a la creación de las áreas verdes, ocasionado por diversas causas, una de ellas es que la hojarasca derivada de los procesos de floración de los árboles puede causar molestias en dueños de casa-habitación cercanas. Además, las hojas, pasto o ramas pueden ocasionar obstrucción en el alcantarillado a falta de limpieza o mantenimiento y en caso de fuertes vientos o lluvias pueden caerse ramas, frutos o árboles que pueden provocar accidentes.

Además el polen producido por la vegetación puede ocasionar alergias afectar la salud de muchas personas. El descuido y falta de manejo de las áreas puede traducirse en focos de inseguridad debido a la falta de alumbrado o seguridad y que inciten a malos hábitos dentro de éstas, o también pueden convertirse en tiraderos de basura, dando paso a la existencia de algunas plagas.

1.1.6 SERVICIOS AMBIENTALES

Los servicios ambientales son los bienes (como alimentos) y servicios (como asimilación de residuos) de los ecosistemas, que representan los beneficios que la población humana obtiene directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Costanza et al., 1997).

La Millennium Ecosystem Assessment (2003) clasifica los servicios ecosistémicos o ambientales en servicios de provisión, de regulación, soporte y culturales; los servicios de provisión son aquellos recursos tangibles y finitos, que se contabilizan y consumen, además pueden ser o no renovables. Entre ellos se encuentra la provisión de agua para consumo humano, la provisión de productos como la madera y la producción de alimentos.

Figura 1.2 Clasificación de los servicios ambientales



Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

Por otro lado, están los servicios de regulación y son aquellos que mantienen los procesos y funciones naturales de los ecosistemas, a través de las cuales se regulan las condiciones del ambiente humano, entre ellos se encuentran la regulación del clima y gases como los de efecto invernadero, el control de la erosión o de las inundaciones. También se encuentran los servicios de soporte que son necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos.

Además, se encuentran los servicios culturales, que pueden ser tangibles e intangibles y son producto de percepciones individuales o colectivas; son dependientes del contexto socio-cultural, intervienen en la forma en que interactuamos con nuestro entorno y con las demás personas. Entre ellos se encuentra la belleza escénica de los ecosistemas como fuente de inspiración y la capacidad recreativa que ofrece el entorno natural a las sociedades humanas.

1.1.7 PARQUE URBANO

Para que un parque urbano pueda ser denominado como tal, se determina que la superficie mínima que garantiza su plurifuncionalidad e independencia de un parque son 4 hectáreas, que deben presentar continuidad física o bien una conexión entre los sectores que lo componen (Canosa et al., 2003). De acuerdo a los mismos autores, un parque urbano comprende cuatro criterios: 1. Ubicarse en un núcleo urbano (es decir, una localidad con más de 10,000 habitantes). 2. Debe estar definida su forma y su dimensión. 3. Debe garantizarse el uso público y su libre acceso, 4. Debe de estar acondicionado con el mobiliario indispensable para garantizar las funciones básicas (bancos, papeleras y farolas), caminos y zonas de estancia.

De acuerdo a la definición de parque urbano de Canosa et al. (2003), se puede decir de forma certera que el Parque Metropolitano Bicentenario cumple con los criterios antes mencionados por lo que se le puede llamar parque urbano. Sin embargo, la conformación de los parques es variable pues depende del crecimiento y la planeación de las ciudades.

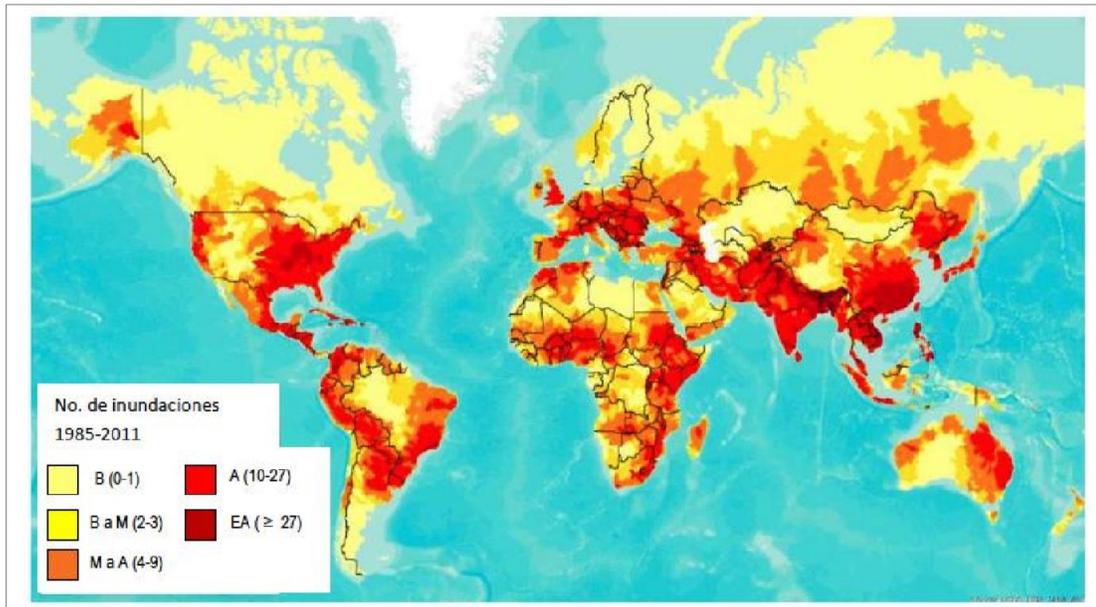
1.1.8 PRECIPITACIÓN E INUNDACIONES

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC] (2012) precisa que el cambio climático proyecta un ciclo hidrológico más intenso en todo el planeta, cuando menos durante el presente siglo, por lo que se espera que las sequías sean más intensas y prolongadas y se presente un mayor número de eventos de precipitación fuerte.

Los ecosistemas terrestres y costeros tienen distintas capacidades de respuesta a la incidencia de estos eventos naturales extremos que dependen de sus características físicas y bióticas, las cuales les permiten o les impiden modular los impactos de eventos sobre los ecosistemas mismos y sobre las poblaciones humanas que ahí habitan. El mantenimiento de condiciones adecuadas del suelo

(profundidad, textura y contenido de materia orgánica), de la cobertura vegetal es fundamental para regular las inundaciones (Bravo de Guenni et al., 2005).

Figura 1.3 Número de inundaciones registradas de 1985 a 2011



B= Bajo, B a M= Bajo a Medio, M a A= Medio a alto, A=Alto, EA= Extremadamente alto.

Fuente: World Resources Insitute, 2011.

El hombre influye sobre el ciclo del agua natural de dos formas distintas: mediante la extracción de las mismas y posible vertido de aguas contaminadas; o indirectamente modificando la vegetación y la cobertura del suelo. Ambas formas alteran el régimen de circulación y la calidad de las aguas (Fariña, 2000).

Es importante mencionar que el suelo en la ciudad constituye el soporte físico sobre el que se asientan todos los usos urbanos. A lo largo de la historia de las ciudades, éstas han ido modificando su relación con las características iniciales del suelo, pasando de la necesidad originaria para la alimentación de los ciudadanos, al concepto actual con un equilibrio acuífero y ambiental diferente (Fariña, 2000).

Según Hough en Fariña (2000) la evapotranspiración en el campo corresponden, como media, al 40% del agua precipitada, mientras que en la ciudad sólo al 25%. En el campo el 50% de la precipitación va a los freáticos subterráneos, mientras que

en la ciudad sólo el 32%. Respecto a la escorrentía, en el campo, como media es un 10% mientras que las conducciones se encargan de encauzar el 30% del agua precipitada en las ciudades (a lo que hay que añadir un 13% de aguas sucias).

La estructura de las ciudades y suelos sellados imposibilita que el agua de lluvia pueda infiltrarse, ocasionando que la mayor parte del agua pluvial termine en el sistema de drenaje, evitando que pueda ser infiltrada por la ausencia de espacios verdes o de suelo descubierto, sin embargo, considerando que la superficie de la ciudad es o casi en su totalidad cubierta por suelos sellados e imposibilitar la infiltración, las fuertes precipitaciones pueden ocasionar inundaciones, desbordamiento de ríos o canales que pueden derivar en múltiples impactos negativos para la población y la infraestructura de la ciudad.

El uso de parques como importantes componentes del sistema de control de inundaciones en una ciudad es muy viable¹. Al ubicar los espacios verdes en zonas de inundación de ríos, arroyos o sistemas de drenaje natural, se incrementa la superficie permeable disponible para captación de agua, reducir la tasa de velocidad de las corrientes y eliminar daños a edificios o asentamientos humanos² (Sorensen, et al., 1998).

1.1.9 AUMENTO DE TEMPERATURA E ISLAS DE CALOR

Hoy día, las observaciones y modelos científicos han permitido establecer la indiscutible influencia humana en el actual calentamiento de nuestro planeta, debido a que las múltiples y diversas actividades socioeconómicas han modificado y han hecho aumentar las concentraciones de gases traza en la atmósfera, fenómeno que provoca una mayor absorción de radiación infrarroja, lo cual trae como resultado un

¹ En Nueva York, los árboles de las calles interceptan 890,6 millones de galones (3 370 millones de litros) de aguas pluviales anualmente, un promedio de 1525 galones por árbol. El valor total de este beneficio para la ciudad se calcula en más de 35 millones de USD al año (Peper et al., 2007).

² Desde 2006, la ciudad de Filadelfia ha reducido los desbordamientos de alcantarillados y mejorado la calidad del agua por medio de políticas de infraestructura verde y proyectos piloto, ahorrando aproximadamente 170 millones de USD (Boyle et al., 2014).

aumento en la temperatura y con ello lo que se ha denominado cambio climático global (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2001).

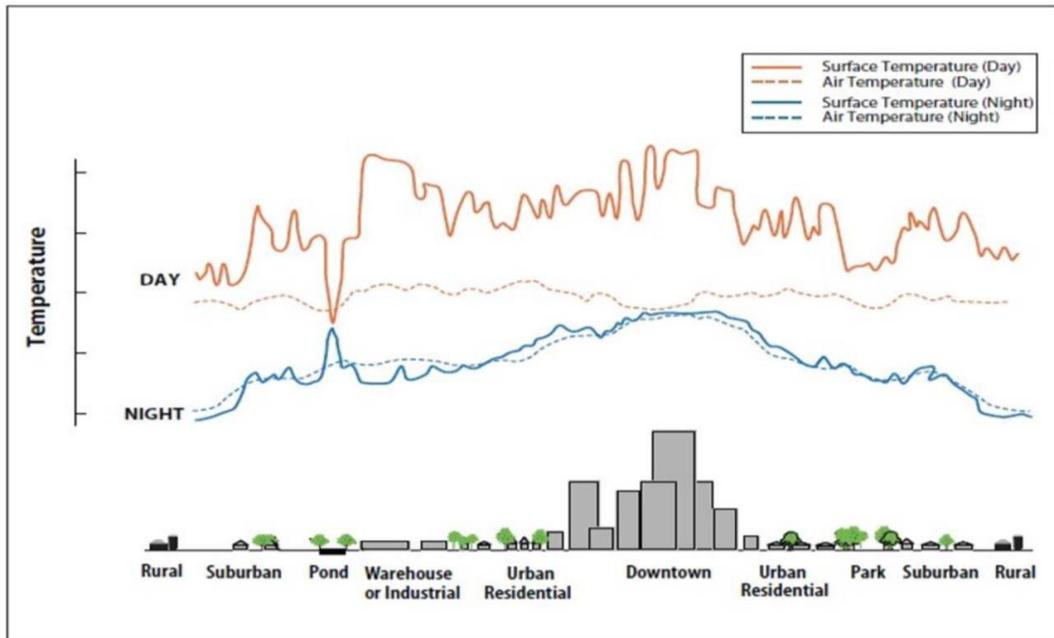
En el futuro se puede esperar que ante un aumento en las concentraciones de CO₂ y al ritmo al que se han venido dando, se presente un aumento mayor en la temperatura global. Los modelos indican que la temperatura del aire podría incrementarse de 1.5 a 4°C para el año 2100. El calentamiento variará de una región a otra y estará acompañado de incrementos y disminuciones de precipitación, aumento del nivel del mar y modificaciones en la intensidad y frecuencia de eventos meteorológicos (IPCC, 2014).

En la modificación del clima local interfieren diversos componentes tanto de índole natural como de carácter antrópico, que al converger dan pauta a la presencia de eventos extraordinarios los cuales se manifiestan, por mencionar algunos, en precipitaciones torrenciales, olas de calor, temperaturas mínimas (heladas), entre otros (Mireles et al., 2016).

La figura 1.4 muestra la diferencia de temperatura entre la ciudad y sus alrededores que según Oke (1973) en Fariña (2000) aumenta 1°C cada vez que la población se multiplica por 10. Este aumento es debido principalmente a la alta proporción de energía secundaria, la modificación de las características de absorción de las superficies urbanas, y el menor efecto refrigerador. El grado de humedad en las ciudades es menor por la disminución de la evapotranspiración, al ser menores las superficies de zonas verdes, se ve favorecida la formación de nubes por la condensación provocada por la contaminación atmosférica.

Las condiciones del régimen general de vientos se ven completamente modificadas por la presencia del tejido urbano, con zonas de densidades variables, posibles canalizaciones de vientos a lo largo de las calles, espacios libres y zonas verdes diseminados y edificaciones en altura que pueden hacer variar tanto la dirección como la velocidad de las corrientes de aire (Guerrero et al., 2016).

Figura 1.4 Variación de la temperatura superficial y atmosférica



Fuente: Wong, (s/f).

De modo particular, la superficie de la ciudad se compone de un mosaico de diferentes materiales cada uno de ellos muestra diferentes comportamientos energéticos en función de sus propiedades térmicas y ópticas, lo que impacta de forma directa en el microclima local. Debido a que los materiales que componen la envolvente urbana son responsables de la interacción entre el edificio y el medio ambiente, afectan tanto el consumo de energía para el acondicionamiento térmico del edificio como para las temperaturas de la ciudad (García, 1989).

La vegetación influye notablemente en la temperatura del suelo por la acción aislante de las plantas que lo cubren. El suelo desnudo, sin protección contra los rayos solares, se calienta mucho durante las horas más cálidas del día. Una buena cubierta vegetal intercepta gran parte de la energía radiante del sol y evita el excesivo calentamiento del suelo en verano (Baver et al., 1980).

Este aumento de temperatura por la intensificación de las actividades domésticas, industriales y algunas fuentes naturales impacta en la vida cotidiana de la población

de las ciudades. Uno de los beneficios más importantes de las áreas verdes urbanas es el de la mejora climática. El impacto directo sobre la comodidad se relaciona con el que la vegetación influya en el grado de radiación solar, el movimiento del viento, la humedad, la temperatura del aire, así como la protección ante las fuertes lluvias que dan como resultado un significativo confort humano (Sorensen, et al.1998).

Las altas temperaturas, resultantes del calor reflejado por el cemento en las “islas de calor” urbanas son reducidas por la sombra de las copas creando frescura y protegiendo de la insolación excesiva³. Además el efecto “isla de calor” se reduce, debido a una cobertura vegetal extensa, los residentes utilizan menos combustibles fósiles para enfriar sus edificios⁴ con lo que se reduce otro factor altamente contaminante (García, 1989).

1.1.10 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La contaminación acústica ha ido cobrando mayor importancia en nuestra sociedad, en paralelo al incremento de la mecanización (mayor número de fuentes de ruido), y a la mejora en la calidad de vida. El incremento del volumen del tráfico y transporte asociado al crecimiento de la industria y las ciudades ha provocado que el ruido sea un elemento más del paisaje urbano. El transporte de personas y mercancías causa alrededor de un 80% del total de la contaminación acústica a que está sometida la población en general, pero existen otras fuentes como son las actividades industriales, sistemas publicitarios, locales musicales y de ocio, personas, etc. (Agenda 21 de Almansa, 2004).

Las causas que motivan el ruido pueden ser múltiples y se puede señalar como las más significativas la falta de planeamiento urbanístico adecuado, planeamiento

³ El efecto neto refrescante de un árbol joven y saludable es equivalente a diez acondicionadores de aire medianos que trabajan 20 horas al día (Wolf, 1998).

⁴ El establecimiento de 100 millones de árboles maduros alrededor de las residencias en EE.UU. produjo un ahorro de unos 2000 millones de USD al año en gastos de energía (Akbari et al., 1988; Donovan y Butry, 2009).

inadecuado en el trazado de las vías, falta de aislamiento acústico en los elementos de un edificio, aislamiento acústico inadecuado en locales generadores de ruido, resultando en la transmisión de niveles excesivos al exterior, la falta de normalización de los niveles máximos de emisión sonora en las distintas zonas y la proximidad de los aeropuertos a las zonas o núcleos urbanos (Romo y Gómez, s/f).

Por lo que hace a las fuentes, cabe distinguir entre las que producen altos niveles capaces de dañar el órgano auditivo y aquellas que con niveles más bajos pueden molestarle y afectar a la salud psicosomática del individuo. Entre las primeras se encuentran las originadas por la industria y el transporte, mientras que entre las segundas están el tráfico urbano y las propias de aglomeraciones humanas (Romo y Gómez, s/f). Los valores límite que recomienda la Organización Mundial de la Salud [OMS] de exposición al ruido, son los siguientes:

Cuadro 1.5 Valores límites recomendados para exposición a ruido

Ambiente	Efectos en la salud	Decibeles
Exterior habitable	Molestias graves	55
Zonas industriales, comerciales y de tráfico	Daños al oído	70
Ceremonias. Festivales y actividades recreativas	Daños al oído	100
Altavoces, interior y exterior	Daño al oído	85

Fuente: Organización Mundial de la Salud, 1999.

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), ha informado que trece millones de habitantes de sus países miembros, entre ellos México, se encuentran expuestos a un nivel sonoro superior a 65 decibeles. En México la NOM-081-SEMARNAT-1994 establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición (Documento Oficial de la Federación [DOF], 1994) Véase cuadro 1.6.

Cuadro 1.6 Límites máximos permisibles NOM-081-SEMARNAT

Zona	Horario	Límite máximo permisible dB
Residencial 1 (exteriores) Entendida por vivienda habitacional unifamiliar y plurifamiliar; vivienda habitacional con comercio en planta baja; vivienda habitacional mixta; vivienda habitacional con oficinas; centros de barrio y zonas de servicios educativos.	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industriales y comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65

Fuente: DOF, 1994

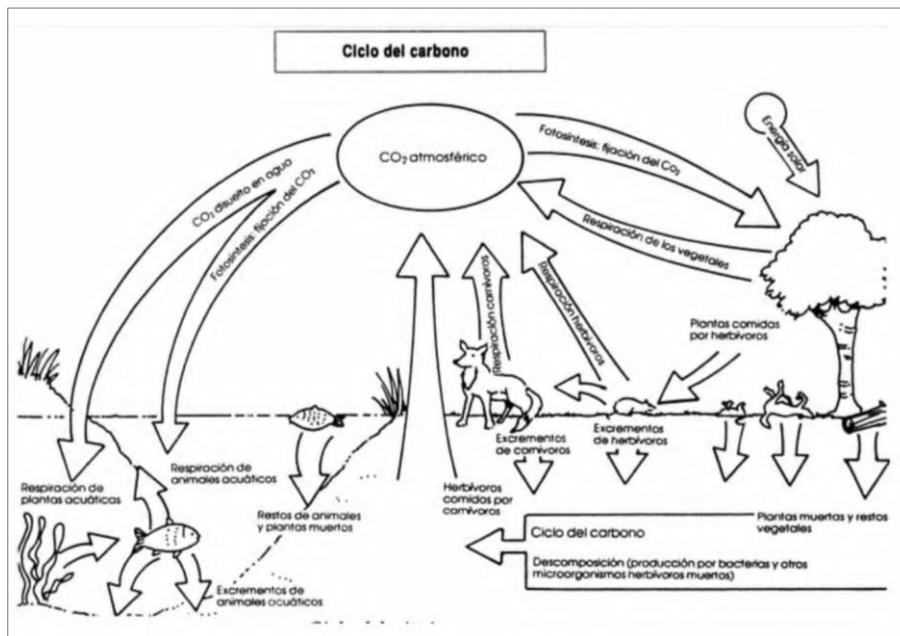
Una manera de aislar el ruido generado en las ciudades es mediante el aumento de parques y arbolado urbano, que permiten entre otras cosas la absorción del ruido. Según Velasco (1971) el papel de los árboles o de las pantallas vegetales como amortiguadores de ruido, es importante y puede suponer una disminución del orden de 8 a 10 decibelios por metro de espesor. Los árboles ayudan a reducir la contaminación del ruido a través de su absorción (el sonido se transfiere a otro objeto), su desviación (la dirección del sonido se altera), su reflexión (el sonido rebota a su fuente de origen), su refracción (las olas de sonido se doblan alrededor de un objeto), así como su reemplazo por otro sonido más placentero (García, 1989).

De esa manera, las hojas, ramas, pastos y otras plantas herbáceas absorberán el ruido, las barreras de plantas o arboles desviarán el ruido, la vegetación puede también disimular el ruido, en la medida que uno escucha selectivamente los sonidos de la naturaleza sobre los sonidos de la ciudad (Sorensen et al., 1998).

1.1.11 EL CICLO DEL CARBONO Y CAPTURA DEL CARBONO

El carbono es el cuarto elemento químico de mayor abundancia en el universo (Harrison, 2003). El carbono posee la característica de presentar formas distintas gracias al acomodo de sus átomos (Martínez, 2006). Una de las formas en las que se puede encontrar el carbono es como CO_2 , el cual puede estar en estado gaseoso o disuelto en el agua. La regulación de las concentraciones de este gas están dadas gracias al ciclo del carbono, convirtiéndolo en uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes de la actualidad (Brown, 2010).

Figura 1.5 Ciclo del carbono



Fuente: Gutiérrez et al., 1998.

El concepto de ciclo lleva aparejada la idea de flujo, de tasa de renovación (*turnover*) y expresa una producción. La intervención de los seres vivos lleva a determinarlos ciclos biogeoquímicos (Porta et al., 2003:203). El ciclo del carbono depende de varias fuentes y sumideros de almacenamiento de carbono y los procesos naturales y antrópicos por los cuales intercambian carbono (Ordóñez, 1999 e IPCC, 2005 en Ordóñez, 2008).

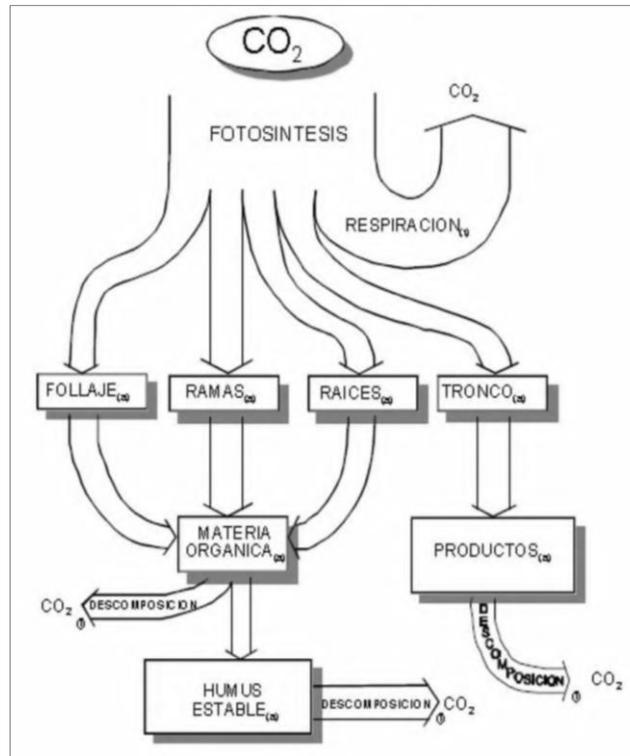
El ciclo del carbono se da a partir de dos procesos: el biológico en donde este elemento circula entre la materia orgánica mediante la fotosíntesis y la respiración; y el geoquímico en donde circula entre la hidrósfera, atmósfera y litósfera (Jaramillo, 2004). En la atmósfera, el carbono se encuentra asociado con el oxígeno (O_2) formando el bióxido de carbono (CO_2), durante la fotosíntesis el CO_2 atmosférico es transportado al interior de las plantas a través de las estomas de las hojas.

En las plantas ocurren dos reacciones; las reacciones tilacoidales, en donde la energía solar es usada para formar ATP^2 y $NADPH^3$ y las reacciones de fijación de carbono en donde se tiene como producto final la fijación y reducción química del CO_2 , así como la síntesis de carbohidratos (Raven et al., 2005). Una parte de estos carbohidratos se incorpora a los tejidos vegetales, generando un crecimiento en el follaje ramas, tronco y raíces, otra fracción constituye la energía del organismo (Smith et al., 1993). La fracción que no es incorporada regresa a la atmósfera en forma de CO_2 al igual que el O_2 producido (Jaramillo, 2004).

En el ciclo biológico del carbono la vía más importante del flujo de carbono atmosférico a la vegetación es por medio de la fotosíntesis y la descomposición (Ordoñez Díaz, 2008:9). La fase del ciclo biológico del carbono se caracteriza por ser de corta duración, lo que hace más dinámica la tasa de intercambio y renovación del carbono atmosférico (Smith et al., 1993, Harrison, 2003 en Palacios, 2008:6).

Los ecosistemas proporcionan un abanico de servicios de regulación y culturales, que no tienen un precio establecido, al incorporarlos en un ejercicio de valoración es posible evaluar su importancia relativa. Uno de los servicios más importantes es el de captura y almacén de carbono por los bosques o áreas arboladas. El CO_2 se almacena en la biomasa vegetal, por consiguiente la vegetación actúa como sumidero de carbono y juega un papel importante en la regulación de este elemento, contribuyendo a reducir las concentraciones de CO_2 atmosférico (Brown, 2010; Pardos, 2010).

Figura 1.6 Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal



Fuente: Ordoñez y Masera, 2001.

Es decir, la vegetación a través del proceso de fotosíntesis reduce la concentración del CO_2 en la atmosfera, contribuyendo a mitigar el efecto invernadero y el cambio climático⁵. Se considera que los bosques capturan más carbono que otros ecosistemas terrestres al participar en el 90% del flujo anual de este elemento entre la atmósfera y superficie de la tierra (Montoya et al., 1995).

La vegetación urbana puede reducir el dióxido de carbono de dos maneras. En primer lugar a través de la fotosíntesis de las plantas absorben directamente dióxido de carbono en la biomasa y a cambio descargan oxígeno. En segundo lugar, cuando la vegetación o áreas verdes reducen el calor sofocante en un área urbana, los residentes utilizaran menos combustibles fósiles para enfriar sus edificios, reduciendo así las emisiones de dióxido de carbono (Sorensen et al., 1998).

⁵ Los árboles urbanos localizados dentro de EE.UU. fijaron 770 millones de toneladas de carbono, valorados en 14,300 millones de USD (Nowak y Crane, 2002).

1.2 CASOS DE ESTUDIO

Este marco referencial se construyó con la revisión de diversos trabajos realizados en los parques urbanos de México y relacionados con los servicios ambientales en ambientes urbanos bajo distintas metodologías y estrategias. Uno de ellos es el trabajo de Cram et al. (2007), el cual se desarrolló en el Distrito Federal, sin embargo aunque no se haya desarrollado en un parque, se relaciona con este estudio, ya que la investigación toma en cuenta de manera importante a los suelos y a los servicios ambientales que provee.

La problemática principal es planteada como el crecimiento y expansión de las ciudades, que ha ocasionado un fuerte deterioro de la salud e integridad de los ecosistemas in situ disminuyendo su posibilidad de ofrecer servicios ambientales. El suelo constituye uno de los primeros componentes alterados que dejan de proporcionar numerosos beneficios necesarios para el mantenimiento de la calidad de vida de la población urbana.

Se llevó a cabo una primera evaluación de la situación actual de los suelos en el Distrito Federal y sus servicios ambientales potenciales. Para ello, se utilizaron mapas e imágenes de satélite recientes para la construcción de un mapa morfoedafológico. Con base en esta información se detectaron como prioridades: a) el cuidado y atención de suelos sobre pendientes $> 10^\circ$ indicando las delegaciones implicadas; b) el incremento y/o mejora en la atención de los espacios no sellados que aún se mantienen en cada delegación; c) la necesidad de elaborar políticas y propuestas de manejo que consideren las unidades morfoedafológicas.

Concluyen que el crecimiento acelerado y poco planeado del Distrito Federal ha propiciado la urbanización y sellamiento de sus suelos. Por otro lado, la planeación urbana no ha considerado el mantenimiento de las áreas verdes como fuente de servicios ambientales que permitirían mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Por otra parte, Basilio y Jiménez (2011) realizaron un diagnóstico ambiental para conocer el estado actual del bosque de Chapultepec, de esta forma saber la

problemática que impacta negativamente al sitio y así proponer medidas de mitigación. Se realizaron capas de información mediante el muestreo y la investigación del área de estudio, con el fin de representar gráficamente las zonas que requieren atención prioritaria por su naturaleza edafológica, su distribución de flora y fauna silvestre y por los puntos de contaminación más importantes.

En este trabajo se utilizaron índices de calidad ambiental y todos ellos mostraron índices de calidad bajos pero con la posibilidad de mitigar los impactos ambientales causales, entre ellos la erosión hídrica laminar la cual tiene valores elevados asociados a las actividades negativas. Los indicadores de calidad ambiental que fueron utilizados en este trabajo fueron, pérdida de suelo, cubierta vegetal, valor de paisaje, fauna, por medio de calidad y abundancia y los valores culturales.

Tras la realización del diagnóstico ambiental tomaron en cuenta el grado de aceptación por los diferentes factores que generan presión ambiental y el manejo inadecuado de la zona para proponer una zonificación que lleve un manejo en función de la clasificación otorgada, la zonificación busca asegurar la continuidad de la zona como un área verde de valor ambiental por ello consideran de suma importancia el mantener, mejorar, controlar, disminuir la generación de residuos sólidos, aguas residuales, abandono de fauna y los asentamientos irregulares.

Por otra parte Mijangos (2015), elaboró un trabajo en el que el objetivo fue estimar el contenido de carbono en la biomasa aérea arbórea del Bosque de San Juan de Aragón (BSJA) en el Distrito Federal, para ello se usó el inventario del arbolado realizado por el instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en 2010. La biomasa se determinó mediante ecuaciones alométricas específicas.

Determinó la cantidad de carbono y encontró que la superficie del BSJA con una superficie de 114.96 ha. almacena 5,197 MgC durante el 2010, mientras que para el 2012 se almacenaron 6,063 MgC; por lo que la captura de carbono bianual fue de 867 MgC. Este trabajo permite revalorar las especies arbóreas de las zonas urbanas más allá de su contribución recreativa y social. Trabajos como este pueden

replicarse en los bosques urbanos para complementar los criterios y fundamentos de programas de manejo, conservación y adaptación por parte de los tomadores de decisiones e incrementar los servicios ambientales que proveen.

Un trabajo más que sirve como referencia es el de Rivas (2006) en él se evaluaron las diferentes condiciones de los prados del Parque “México” como son el número de árboles, la presencia de setos y cubrepisos, tocones, raíces superficiales, compactación, basura e infraestructura así como cada uno de los 2,344 árboles establecidos en su superficie.

En total se registraron 54 especies siendo 7 las especies dominantes. El 98% del arbolado presentó al menos un tipo de interferencia y les correspondió a las interferencias severas la mayor frecuencia. Con respecto a la talla de los individuos, el diámetro y la altura más reportadas fueron los troncos delgados (0 a 19 cm) y una altura mayor de 12 m. El 64.4% del arbolado presentó algún problema con su estado de salud, por otra parte se registraron en promedio 4.8 heridas por árbol, es decir más heridas que árboles, siendo las heridas severas tanto en troncos como en ramas las más registradas. Cada uno de los parámetros evaluados reflejó la mala selección de especies, la sobrepoblación y el mantenimiento inadecuado.

El Parque Metropolitano Bicentenario, ha sido objeto de estudio de hasta ahora dos investigaciones, que se describen brevemente a continuación:

Mercell (2015), realizó un trabajo en el que se analizaron los sucesos y condiciones importantes para la construcción del parque, así como la constitución del parque en la ciudad y sobre todo, el objetivo principal fue determinar si con la creación de este parque la ciudad de Toluca cumplía con el estándar de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre las áreas verdes para los habitantes, que establecen entre 10 y 15 m² por habitante de área verde.

Como resultado obtuvo que el municipio de Toluca tiene un déficit de áreas verdes de 53.6 %, de acuerdo al documento los habitantes del municipio les corresponden solo 4.64 m². Mientras que para Toluca de Lerdo se mantiene el déficit de 22.2% lo

que representa 7.78 m² por habitante. Demostrando que la cobertura de áreas verdes en el municipio es insuficiente para la población y aunque el PMB ayudo a aumentar la superficie de área verde, el déficit continúa.

Por último, un trabajo en donde el área de estudio fue el Parque Metropolitano Bicentenario, fue el de Velázquez (2016), quien tuvo como objetivo el diseño de una propuesta de senderos interpretativos ambientales, donde se difunda información verídica y actual sobre distintas temáticas para que los visitantes visualicen y aprendan características representativas sobre recursos naturales, ecosistemas, riesgos y aptitudes del Estado de México.

Las problemáticas generadas en las áreas verdes urbanas han sido objeto de estudio sobre todo en su estrecha relación con la ciudad y sus elementos, además de la población, por eso es que cada vez es más frecuente que sean analizadas como entes de sustentabilidad en las ciudades y como factores clave para el desarrollo de las ciudades, así como ser una estrategia de valor ambiental.

Sin embargo, las áreas verdes urbanas deberán jugar en un futuro inmediato, un papel importante en el rápido crecimiento de las ciudades por su positiva contribución que brindan al medio ambiente. Beneficios tanto materiales, como ambientales y sociales (Rente et al., 1998).

Es necesario concebir una nueva alianza entre la cultura y la naturaleza de manera que en nuestras ciudades ya sea en los grandes paisajes urbanos o en el sencillo jardín familiar, sea posible armonizar la belleza y la dignidad humanas. Indudablemente la función ambiental que los árboles prodigan a las metrópolis deberá ser más valorada cada día, por la sencilla razón de que le ahorran energía, más allá de su ineludible belleza (Benassi, 2003).

Parafraseando a Rente et al., (1998) las áreas verdes urbanas deben ser una parte indispensable de cualquier estrategia ambiental del desarrollo sostenible de las ciudades para mejorar la calidad de vida de los habitantes y del ambiente en general.

1.3 ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se muestran los enfoques de investigación bajo los que se comprende y se apoya este trabajo. Los enfoques de investigación son dos, el de las ciencias ambientales y el del desarrollo urbano sustentable.

1.3.1 ENFOQUE DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES

La ciencia ambiental es aquella disciplina que tiene como objeto de estudio los procesos relacionados con la interacción sociedad humana-medioambiente, en especial aquellos que impliquen un compromiso actual o futuro de la calidad de vida de las personas, o que pongan en riesgo la sustentabilidad ambiental del desarrollo de la sociedad (Henríquez, 2005).

La ciencia ambiental, de este modo contribuye al desarrollo social y económico, basado en la sustentabilidad ambiental. Para realizar tal contribución, la ciencia ambiental busca ampliar el conocimiento existente sobre el medio ambiente, desde una perspectiva o enfoque multidisciplinario. Debe contribuir con la recuperación de las funciones y servicios ecosistémicos en un nuevo ámbito (Henríquez, 2005).

Es por ello que trabajar bajo un enfoque de ciencias ambientales, en este trabajo deja en claro que los objetos de estudio e intervención, son de naturaleza compleja, puesto que abarcan interrelaciones dinámicas y variadas entre estructuras, procesos y funciones del ecosistema y la sociedad.

Pero la comprensión de esta complejidad y la posibilidad de intervenir eficazmente sobre los procesos que enfrenta la ciudad de Toluca en relación con los servicios ambientales y el acelerado proceso de urbanización, puede servir para el correcto análisis de la situación y entendimiento de estos procesos, abarcando la posibilidad de entender y actuar frente a estos fenómenos.

1.3.2 ENFOQUE DEL DESARROLLO URBANO SUSTENTABLE

El concepto de desarrollo sustentable ha sido integrado a diversas esferas tanto en lo económico como en lo social y ambiental. En este sentido se hace presente el término de sustentabilidad del desarrollo urbano.

Camagni (2005) en Escobar y Jiménez (2009) señala que una de las razones por la cual se debe analizar y enfrentar la problemática de la sustentabilidad del desarrollo de las ciudades, es el aspecto en donde la ciudad tiene un impacto relevante de la sustentabilidad global (por ejemplo, a través del efecto de las emisiones de CO, CO₂ y NO_x por parte del tráfico vehicular sobre el llamado efecto invernadero) pero las mismas causas que ponen en peligro la sustentabilidad global impactan la sustentabilidad local. Lo cual sugiere que es más eficiente enfrentarse a un mismo problema desde lo local que impacta a nivel global y no viceversa.

La ciudad debe ser entendida desde el punto de vista como sede de la interacción social, de la creatividad y del bienestar colectivo. Sin embargo los procesos que dan origen al crecimiento desordenado e ilimitado que sufre la ciudad en periodos de despegue económico y de rápida industrialización; los procesos de urbanización difusa, los procesos de urbanización ciudad-campo; y la problemática de movilidad y de consumo energético, hacen que hoy día la ciudad sea insostenible (Escobar y Jiménez, 2009).

La eficiencia de la sustentabilidad del desarrollo urbano de ciudades, según Camagni (2004) en Escobar y Jiménez (2009) alude a la sustentabilidad local en el sentido de ser valorada por sus efectos sobre las colectividades locales, respetando una restricción de no generación de contaminación insustentable sobre regiones cercanas y sabiendo que una ciudad encaminada en una dirección “localmente” sustentable es una ciudad que participa activamente en la reducción de los efectos globales negativos.

Camagni (2005) menciona que se debe incluir la equidad ambiental, tanto en el sentido inter como intrageneracional. Más no se trata tanto, o no sólo, de disponer de valores ambientales, sino de garantizar su acceso y disfrute a todos los ciudadanos, presentes y futuros, tal como lo promueve el desarrollo sustentable.

Con lo que se busca, dentro de este contexto, un desarrollo urbano sustentable local que garantice un nivel no decreciente de bienestar a la población local a largo plazo, sin comprometer las posibilidades de desarrollo de las áreas vecinas y contribuyendo a la reducción de los efectos nocivos del desarrollo sobre el medio ambiente (Camagni, 2005).

En este sentido, el enfoque del desarrollo urbano sustentable, sirve como uno de los enfoques principales para el desarrollo de este trabajo, ya que sirve como elemento o punto de análisis en donde la variable principal es el bienestar de la población local a largo plazo, vinculada a la prosperidad de la misma ciudad, que está directamente relacionado con los servicios ambientales que ofrecen las áreas verdes para la ciudad.

1.4 DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación busca mediante métodos analíticos obtener un diagnóstico integrado sobre la situación del parque y de la ciudad de Toluca. En este apartado se muestra el procedimiento metodológico para obtener los datos requeridos.

1.4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Toluca de Lerdo es la ciudad más importante de la quinta zona metropolitana del país, registra 489,333 habitantes en el año 2010 (INEGI, 2010) esto aunado al acelerado proceso de urbanización y a las formas de uso de los recursos, conllevan problemas medioambientales diversos, sobresale la contaminación del aire, que se agudiza por incremento del parque vehicular, intensificación de las actividades

industrial, agrícola y extractiva. En febrero del año 2013, el índice metropolitano de calidad del aire (IMECA), pasó de 100 a 144 puntos (Contreras, 2013). La elevada concentración de contaminantes y la cubierta de asfalto, aumenta la temperatura local y ondas de calor, las lluvias extraordinarias e inundaciones inciden en el bienestar de la población.

En un contexto de vulnerabilidad y riesgo urbano, las áreas verdes se consideran una medida de adaptación y mitigación, que en corto y mediano plazo pueden amortiguar los efectos de la urbanización y del cambio climático en la ciudad. Dentro de las funciones ambientales de los parques, se encuentran el secuestro de carbono, formación de oxígeno, aislamiento del ruido, regulan la temperatura por medio de la sombra y la humedad, actúan como cortinas rompe viento, mejoran la calidad del aire y en consideración a que la superficie de las ciudades está sellada por asfalto los parques actúan como controlador de inundaciones, así mismo, favorecen la recarga de mantos acuíferos.

Es por ello que este trabajo versa en analizar los servicios ambientales del parque Metropolitano Bicentenario, y a su vez analizar si estos servicios ambientales tienen un impacto significativo para el ambiente y para la población, sobre todo para la mitigación de algunos efectos del cambio climático y la urbanización, como las olas de calor, las inundaciones, la alta concentración de contaminantes en el aire, etc.

1.4.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La pregunta de investigación principal de este trabajo es

¿El Parque Metropolitano Bicentenario cumple con las funciones medio ambientales, que ayuden a mitigar o aminorar algunos efectos de la urbanización y del cambio climático a nivel local?

Así mismo se elaboraron preguntas de investigación específicas por recurso o indicador, las cuáles son:

1. ¿El suelo del parque puede infiltrar una cantidad considerable de ml. de agua de lluvia para disminuir los efectos de una inundación?
2. ¿El arbolado permite regular la temperatura del área?
3. ¿El parque mediante el suelo y el arbolado permiten el aislamiento del ruido generado en el exterior?
4. ¿Cuántos Mg de CO₂ almacena la vegetación arbórea?

1.4.3 JUSTIFICACIÓN

Las características de la ciudad de Toluca, tanto socioeconómicas como biofísicas hacen de éste un territorio vulnerable a los efectos del cambio climático, mismos que pueden intentar mitigarse desde distintos enfoques y perspectivas, lo que es cierto es que las acciones de mitigación deben de establecerse y enfocarse en un corto plazo, pues la población ya comienza a resentir estos efectos.

La adaptación al cambio climático se configura como un nuevo problema de planificación urbana, dada la necesidad de considerar la diversidad de sinergias, conflictos y equilibrios entre estrategias de mitigación y de adaptación, así como entre las estrategias de adaptación y las cuestiones de planificación local y desarrollo urbano más generales (Biesbroek et al., 2009).

Los retos de la adaptación son comunes, desde las estrategias más sencillas, como incrementar el número de tejados blancos en una población, aumentar las áreas verdes hasta estrategias más complejas que impliquen cambios en el diseño o en las infraestructuras de las ciudades, todas conlleva ciertos retos (Biesbroek et al., 2009).

La importancia de analizar los servicios ambientales que ofrece el Parque Metropolitano Bicentenario radica en que representa a nivel local un sistema que juega un papel ambiental importante en la zona urbana; es considerado un Área Natural Protegida en categoría de parque urbano, además es el segundo parque con mayor superficie en la ciudad, registra un número considerable de visitantes

anualmente y al ser un espacio público ofrece la oportunidad de fomentar, informar y concientizar a la población en materia ecológico-ambiental y sobre las problemáticas ambientales de la ciudad como el acelerado crecimiento poblacional, el nivel de industrialización, el parque vehicular y los niveles de consumo energético. El rol ambiental que representa al encontrarse inmerso en la ciudad es de suma importancia por lo que es necesario analizar los servicios ambientales que éste provee para beneficio de los visitantes y a la mejora climática del área.

1.4.4 OBJETIVOS

General

Analizar las funciones y servicios ambientales que provee el Parque Metropolitano Bicentenario en la ciudad de Toluca.

Específicos

- I. Comprender los fundamentos y conceptos de los servicios ambientales y parques urbanos, por medio de la construcción de un marco conceptual y de referencia.
- II. Caracterizar el parque Metropolitano Bicentenario, a través de la identificación de sus atributos biofísicos y mediante técnicas de muestreo de suelo, vegetación y ruido.
- III. Analizar la funcionalidad ambiental del parque Metropolitano Bicentenario, de acuerdo a los datos obtenidos.
- IV. Realizar las conclusiones pertinentes.

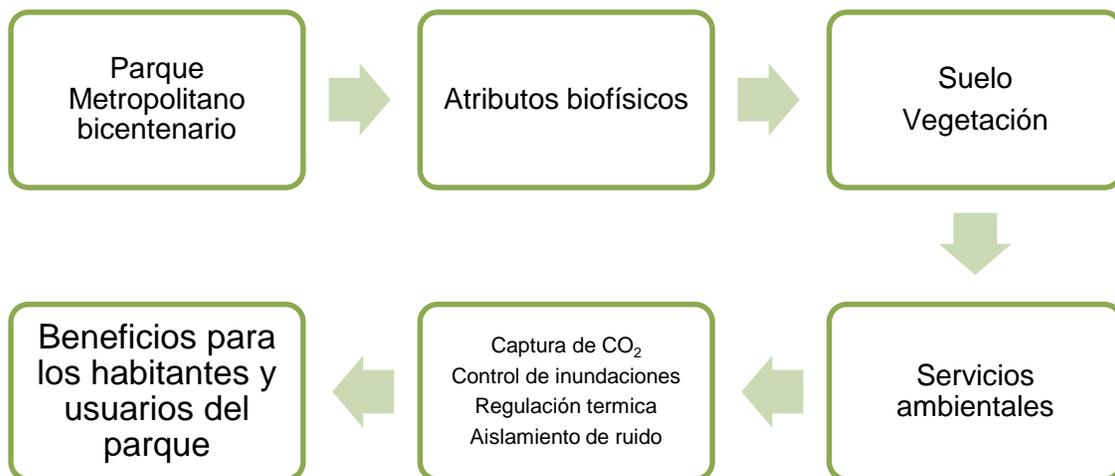
1.4.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES E INDICADORES

El alcance de la investigación está definido por los objetivos y la definición de las variables e indicadores, cuya identificación se obtuvo del planteamiento del problema y la pregunta de investigación. La variable dependiente (VD), es analizar

los servicios ambientales que ofrece el Parque Metropolitano Bicentenario, las variables independientes (VI) o causas, están definidas por las cualidades del suelo y la vegetación, para proveer los servicios ambientales. Véase figura 1.7.

Destaca como universo o contexto de estudio la ciudad de Toluca, mientras que la unidad de análisis es el parque Metropolitano Bicentenario, siendo el objetivo principal la identificación y análisis de cuatro servicios ambientales que provee el PMB que son la captura de carbono, regulación de la temperatura, el control de inundaciones y el aislamiento de ruido a través del análisis de los recursos como suelo y vegetación que se traducen en beneficios para los habitantes.

Figura 1.7 Variables e indicadores



Fuente: Elaboración propia.

1.4.6 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el análisis de los servicios ambientales fue necesario identificar y recopilar información de indicadores y parámetros de los recursos suelo, vegetación así como el ruido, para así poder interpretar la información y analizar los servicios ambientales. Para este fin, se realizaron mediciones con metodología específica de distintos parámetros en el suelo y vegetación. El cuadro 1.7 identifica los servicios ambientales que se analizaron, parámetro y la metodología utilizada.

Cuadro 1.7 Análisis de servicios ambientales

Servicio ambiental	Parámetro	Metodología	Unidad de medida
Control de inundaciones	Velocidad de infiltración en el suelo	Medición de velocidad de infiltración en suelo según USDA, 1999	Minutos/500 mL
Regulación de temperatura	Temperatura ambiente	Temperatura, humedad medida con DATA LOGGERS	Grados centígrados (°C) y porcentaje de humedad (%)
Amortiguación de ruido	Niveles de ruido	Sonómetro	Decibeles (dB)
Almacén de carbono	Carbono almacenado en la vegetación arbórea	Ecuaciones alométricas	Megagramos de carbono (MgC)

Fuente: Elaboración propia.

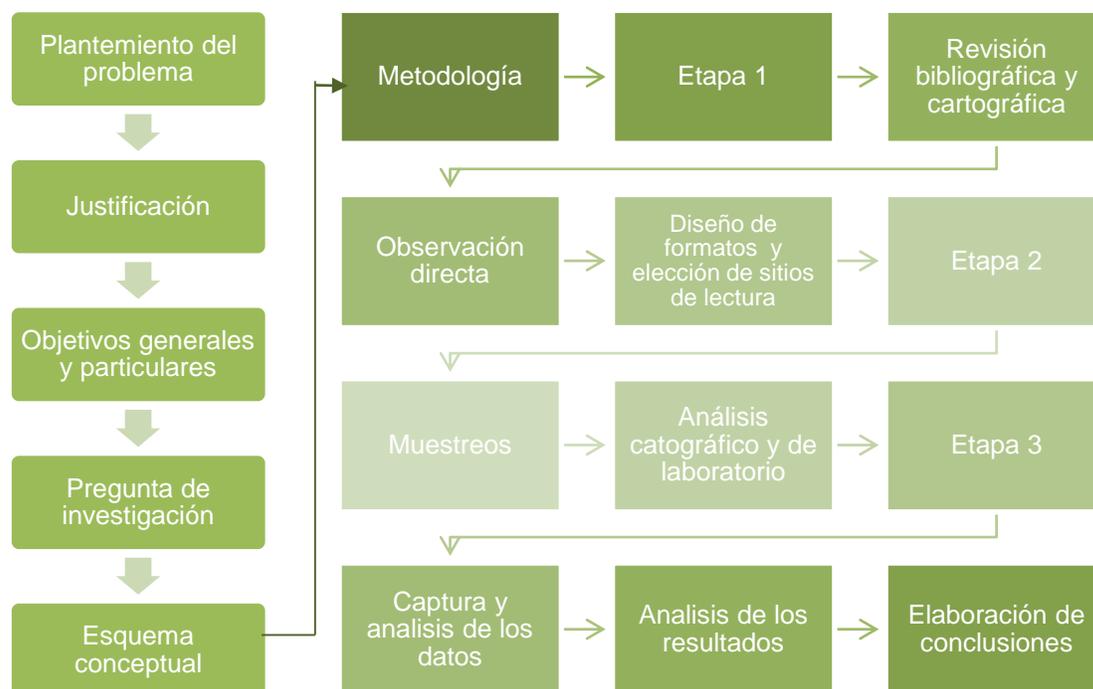
El desarrollo de este trabajo comprende tres etapas. La figura 1.8 muestra el proceso metodológico para cubrir los objetivos propuestos.

La fase uno consistió en el trabajo de gabinete, que se realizó a través de la consulta bibliográfica que permitiera identificar la importancia de los servicios ambientales en un ambiente urbano, la funcionalidad de los parques como brindadores de servicios y algunos conceptos relacionados con la semántica de los servicios ambientales y la construcción del marco teórico-metodológico para así poder determinar los servicios ambientales específicos a analizar en el PMB.

Acto seguido, mediante trabajo de observación exploratoria en el área de estudio se determinaron los servicios ambientales y las herramientas para el análisis, así como el estudio de la unidad de análisis para la selección de los sitios de muestreo mediante el uso de imágenes satelitales Google Earth 2016 y también mediante

observación directa de los atributos biofísicos del PMB. El resultado de esta etapa fue la figura 1.9, en donde se muestran los puntos de lectura por indicador que se adaptan a los objetivos del estudio, así como la determinación del número de lecturas y el diseño de los formatos de trabajo de campo.

Figura 1.8 Procedimiento metodológico



Fuente: Elaboración propia.

La etapa dos consistió en el trabajo de campo en el PMB el día 6, 13 y 20 de Mayo del año 2016, toma de datos del recurso suelo y vegetación y parámetros como el ruido y temperatura, así como el análisis, tratamiento de imágenes satelitales y construcción de mapas, mismas que permitieron llegar a la etapa tres. En la última etapa se realizaron los cálculos pertinentes con cada uno de los datos obtenidos producto del trabajo de campo de la segunda fase, la metodología de cada uno de los datos se encuentra en el apartado 1.5 de forma específica. Al someter los datos al tratamiento estadístico y cartográfico permitieron obtener los resultados mismos que posibilitaron la elaboración de las conclusiones y las recomendaciones

encaminadas hacia el manejo del PMB dirigidas a los tomadores de decisiones de dicho parque.

1.4.7 SELECCIÓN DE SITIOS DE LECTURA

A través del trabajo de observación exploratoria en el PMB como unidad de análisis, se seleccionaron los sitios de muestreo mediante el uso de imágenes satelitales Google Earth 2016 a través de ello se logró identificar las áreas con cobertura vegetal densa, escasa o nula y también mediante observación directa de los atributos biofísicos del PMB, el resultado puede apreciarse en la figura 1.9

Los símbolos en color azul representan los tres sitios de muestreo de suelo analizados, siendo los que mostraron mejores aptitudes para el cumplimiento de los objetivos. Los tres sitios de muestreo difieren en cuanto a cobertura vegetal herbácea (pasto), estratos vegetativos y a la compactación que presentaban, ya que el sitio número 1 pertenece a una cobertura vegetal densa, mientras que el sitio 2 corresponde a una cobertura vegetal escasa y el sitio 3 nula, con tres sitios de muestreo heterogéneos se trató de abarcar las condiciones posibles de suelo.

En cuanto a la temperatura, los sitios representados en color anaranjado fueron seleccionados con base en los materiales y colores de construcción para determinar el comportamiento de cada uno de estos. Eligiendo por material bajo arbolado y sin arbolado para determinar si los árboles tenían un efecto significativo sobre la temperatura a pesar de ser la misma superficie. Los símbolos en color morado representan los sitios de lectura de ruido dispersos fuera y dentro del parque para obtener mejores resultados y para analizar el comportamiento del sonido en esta distribución espacial. Para el caso de la vegetación bajo los criterios de análisis, fue necesaria la medición directa de cada uno de los individuos arbóreos dentro del parque, es decir por el conteo de árboles y por la descripción de algunas características fenológicas de los mismos.

Los formatos de lectura se elaboraron con base a los criterios establecidos y parámetros necesarios para el cumplimiento de los objetivos. Se realizó un formato

específico para los datos requeridos de la vegetación arbórea, para la lectura de infiltración se consideraron el tiempo de infiltración, humedad y pH. Mientras que para la temperatura se consideró además de ésta la humedad y para ruido, la hora y los decibeles registrados. Véase anexos.

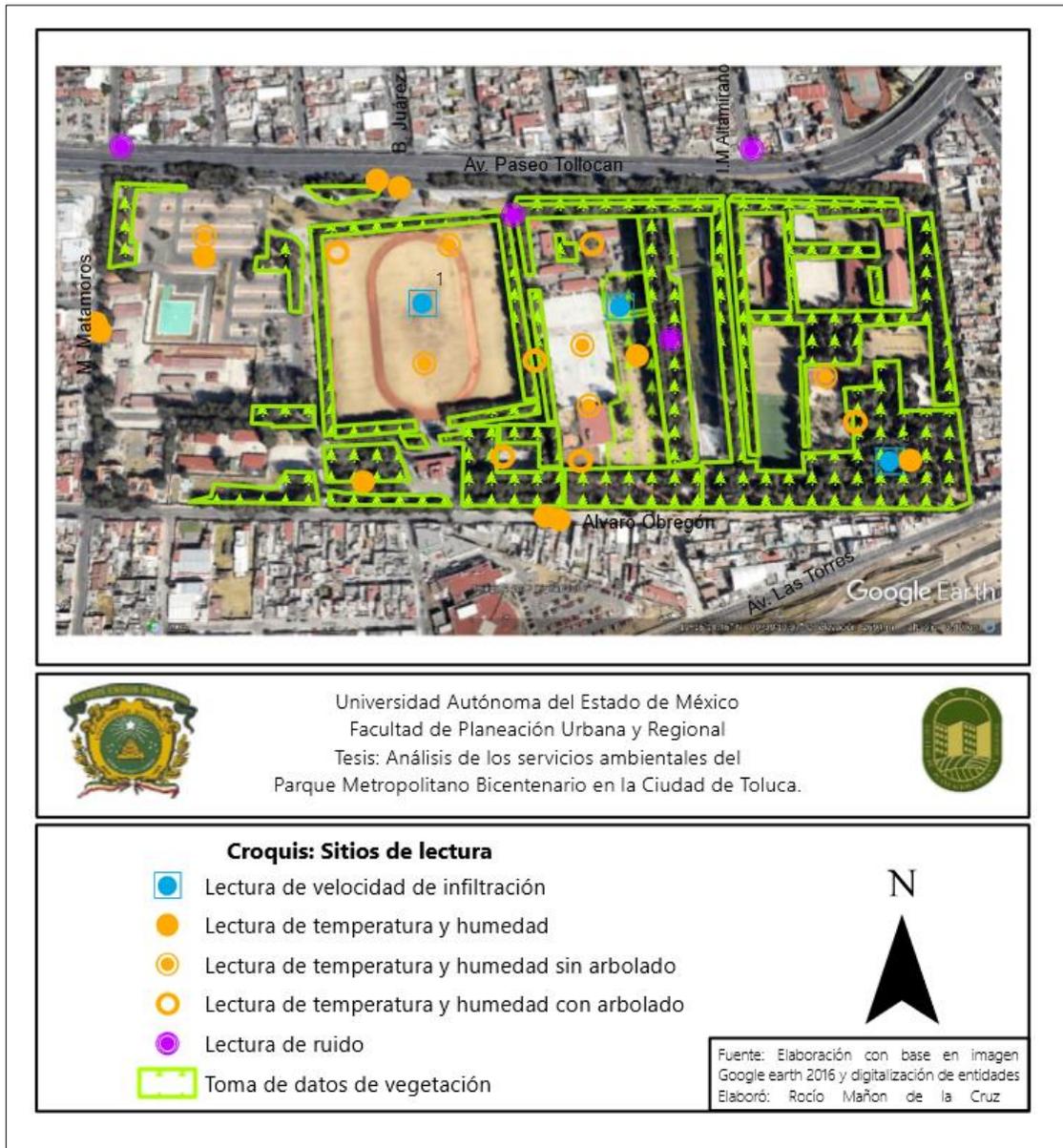


Figura 1.9. Croquis: Sitios de lectura. **Fuente:** Elaboración propia con base en imagen Google Earth, 2016.

1.5 METODOLOGÍA POR SERVICIO AMBIENTAL

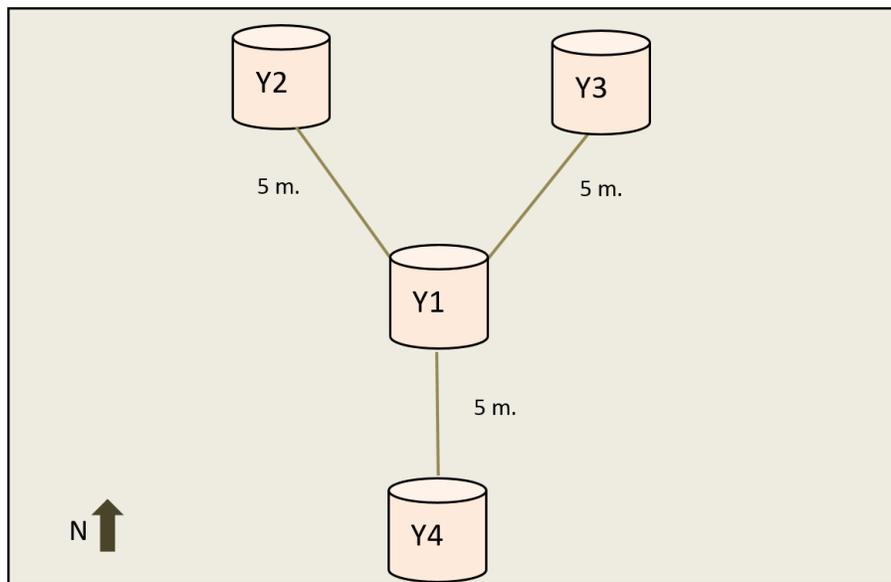
1.5.1 INFILTRACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES

Basado en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo de la USDA [United States Department of Agriculture], (1999). El formato de muestreo para infiltración puede verse en el apartado de Anexo 1.

Materiales: 4 cilindros de PVC de 6 pulgadas de diámetro x 15 de altura, 4 envolturas plásticas, 4 botellas de plástico previamente graduadas de 500 mL, cronómetro.

Una vez elegidos los 3 sitios de muestreo, en cada uno de ellos se determinó el centro de cada punto (Y1) a partir de este se formó una “Y” en dirección Norte con el resto de los cilindros, para que en total fueran 4 cilindros por punto de muestreo, separados a una distancia de 5 metros del punto central. Cada uno de los cilindros fue afirmado al suelo 2 cm. para evitar filtraciones adicionales. La forma de los cilindros para los 3 sitios de lectura fue de la siguiente manera:

Figura 1.10 Esquema de muestreo



Fuente: Elaboración propia con base en USDA, 1999.

Una vez ordenados los cilindros de esta forma, fueron cubiertos con una lámina de plástico, prestando atención a que éste plástico cubriera toda la superficie del cilindro, como se muestra en la Fotografía 1.1. Con la botella de 500 mL de agua en mano se agregó agua sobre la bolsa de plástico cuidando que no hubiera fugas antes de contar el tiempo.

Fotografía 1.1 Cubierta plástica sobre el cilindro

Fotografía 1.2 500 ml de agua sobre la cubierta plástica



Fuente: Trabajo de campo.

Fotografía 1.3 Conteo de tiempo de infiltración

Fotografía 1.4 Ejercicio de infiltración



Fuente: Trabajo de campo.

Se retiró la bolsa de plástico y con ayuda de un cronómetro se contó el tiempo que tardó en infiltrarse 500 mL de agua. El conteo del tiempo se detuvo hasta que la película de agua infiltró y sólo pudo verse la parte húmeda del suelo y se registró el tiempo en minutos. Una vez finalizado el primer ensayo se procedió a repetirlo 2 veces para que en total fueran 3 ensayos, con un total de 1500 mL de agua.

Al finalizar el ejercicio de infiltración, se procedió a tomar algunos parámetros del suelo como la temperatura, el pH con el potenciómetro, humedad con tensiómetro y la profundidad de raíces de pasto en los puntos en donde se realizaron las lecturas, para poder relacionar los datos cuantitativos y poder generar así información que complemente los datos obtenidos con las características de cada uno de los sitios muestreados.

El contenido inicial de agua en el suelo, al momento de la medición, afecta la capacidad del suelo de absorber agua adicional. Por esto la velocidad de infiltración es mayor cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Los suelos deberían tener un contenido de humedad similar cuando se realizan las mediciones (USDA, 1999) por ello se realizaron 3 mediciones por cada "Y", para igualar el porcentaje de humedad así los datos de la segunda y tercera medición fueran datos más certeros.

Fotografía 1.5 Lectura de pH in situ

Fotografía 1.6 Lectura de humedad y temperatura



Fuente: Trabajo de campo.

Para el tratamiento de los datos, en una tabla de Excel se capturaron y sintetizaron los datos, promediando el tiempo que tardó en infiltrarse por unidad. Con ello se construyó un mapa en Arc Gis 10.4, que mostrará la extrapolación realizada, para visualizar la velocidad de infiltración por sitio clasificándola según la USDA (1999).

1.5.2 REGULACIÓN DE TEMPERATURA

Materiales: Mapa del área de estudio previamente sectorizado y Data Logger. Véase formato en Anexo 2.

Lo primero que se hizo fue sectorizar el parque de acuerdo a los distintos materiales y colores de construcción, incluyendo el arbolado, esto debido a que cada uno de los materiales tiene una capacidad distinta de reflejar y absorber la luz solar, lo que se traduce en un comportamiento de temperatura distinto de acuerdo al material.

Se realizaron mediciones de temperatura y humedad en superficies arboladas del PMB, como se puede apreciar en la figura 1.9, los sitios de lectura con un símbolo circular simple en color anaranjado, situados en la zona arbolada, zona reforestada, zona arbolada densa y una zona de asfalto dentro del parque que corresponde al estacionamiento, a su vez se hicieron mediciones en áreas exteriores al parque, la superficie cementada, específicamente en las banquetas de Av. Paseo Tollocan, Álvaro Obregón y Mariano Matamoros, y las calles asfaltadas de las calles mencionadas para definir la diferencia de temperatura entre las áreas exteriores y las del interior del PMB.

Se realizó otra lectura en donde la condición fue hacer dos mediciones de temperatura y humedad de las superficies, una bajo arbolado y sin arbolado para determinar la influencia de los árboles sobre la temperatura de la superficie. Las superficies fueron: caminos (asfalto), canchas (cemento), jardines (pasto), estacionamientos (color negro), construcción (edificios), área infantil bajo áreas arboladas y sin ellas.

Fotografía 1.7 Lectura de humedad y temperatura en asfalto con arbolado

Fotografía 1.8 Lectura de humedad y temperatura en superficie cementada sin arbolado

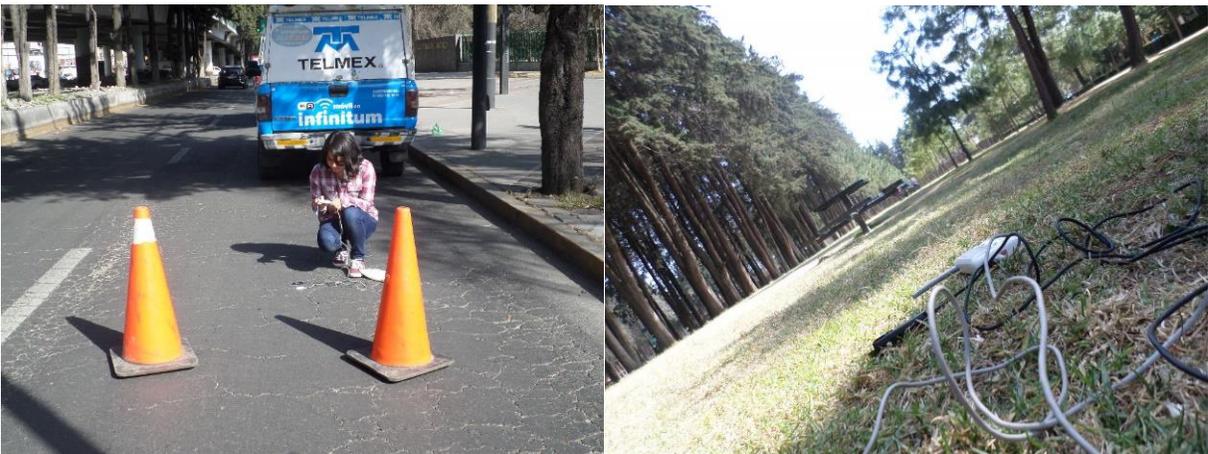


Fuente: Trabajo de campo.

En cada una de estas áreas se midió con un Data Logger (Modelo RTR-574), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), humedad (%). El Data Logger fue colocado encima de la superficie por dos minutos y después se registró la lectura promedio tomada en ese lapso de tiempo.

Fotografía 1.9 Lectura de humedad y temperatura en superficie asfáltica (Tollocan)

Fotografía 1.10. Lectura de humedad y temperatura en arbolado (zona reforestada)



Fuente: Trabajo de campo.

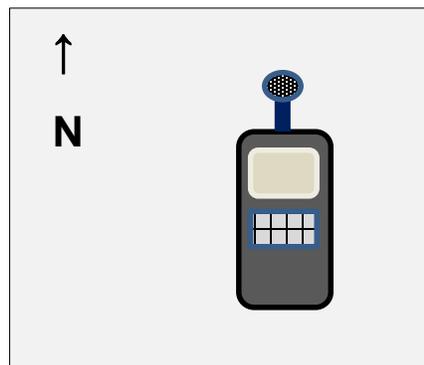
Las lecturas se realizaron en un horario de 2:00 a 4:00 pm ya que en este horario se registran las temperaturas más altas a lo largo del día. Al contar con los datos, estos fueron expresados en gráficas permitiera visualizar el comportamiento de la humedad y de la temperatura en los distintos materiales y colores y mostrar si existe una incidencia significativa de la presencia arbórea sobre el comportamiento de temperatura en los distintos materiales.

1.5.3 AISLAMIENTO DE RUIDO

Materiales: Sonómetro calibrado, formatos, mapa de los sitios de lectura y cronómetro. Véase formato en anexo 3.

Una vez establecidos los puntos de lectura, mismos que en el mapa están representados en un símbolo circular color morado, también fueron establecidos tres horarios en los cuales se realizaron las lecturas en cada uno de los puntos, es decir por cada punto de lectura se realizaron 3 mediciones una a las 8:30 am, 11:30 am y 14:30. Esto con el fin de tener dos puntos críticos de niveles de ruido por las diversas actividades que se llevan a cabo 8:30 y 2:30 y un horario en donde se reflejara el nivel de ruido en un estado con niveles de ruido menores y que permitiera contrastar los niveles de ruido obtenidos. En el punto de lectura, con el sonómetro calibrado y el micrófono en dirección norte, como se muestra en la figura 1.11 a la altura del pecho, se hizo una lectura de 5 minutos por cada punto para después registrar el promedio de los decibeles registrados en ese lapso de tiempo.

Figura 1.11 Posición del sonómetro



Fuente: Elaboración propia.

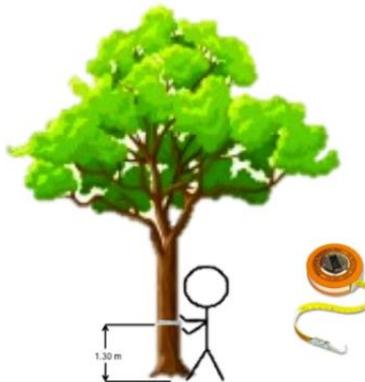
Con los datos obtenidos se realizó una base de datos en la que se compararon los distintos resultados obtenidos, mismos que después fueron comparados con la NOM-081-SEMARNAT para determinar si los resultados estaban dentro de los límites máximos de dicha norma.

1.5.4 ALMACÉN DE CARBONO

Materiales: cinta métrica, gis, formatos, tablas. El formato de lectura puede encontrarse en el apartado de Anexo 4.

El objetivo del conteo y descripción de características fenológicas de la vegetación arbórea fue para obtener el carbono almacenado por los árboles. Para obtener resultados más certeros, se contabilizaron y registraron todos los árboles del parque con circunferencia >15 cm. Lo primero que se hizo fue identificar la especie o género del árbol, con ayuda de la Guía de campo de árboles de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] (2012), después con una cinta métrica se obtuvo la circunferencia del tronco a una altura de 1.30 m. (DAP), como se muestra en la figura 1.12, registrándose en los formatos e indicando con una marca de gis en el tronco que ése árbol ya había sido tomado en cuenta, para evitar ser considerado de nuevo.

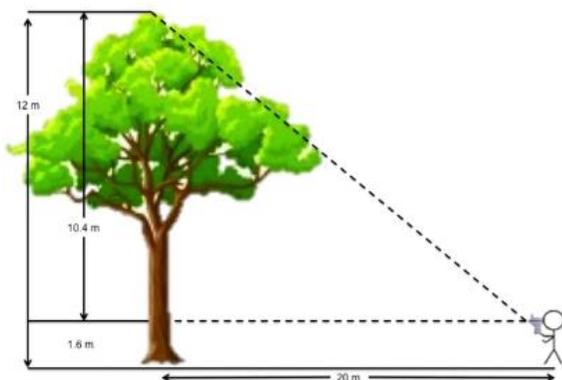
Figura 1.12 Medición de circunferencia a los 1.30 m.



Fuente: Mijangos, 2015.

En caso de que fuera un árbol muerto se midió la circunferencia y se calculó la altura del mismo, tal es el mismo caso de los tocones.

Figura 1.13 Estimación de la altura del arbolado



Fuente: Mijangos, 2015.

Una vez obtenidos los datos de circunferencia, especie o género y altura, los datos fueron capturados en Excel y mediante una base de datos elaborada por Álvarez (2013) fueron tratados los datos. A partir del tratamiento de los datos se estimó el área basal, la densidad de individuos arbóreos por hectárea así como la estimación de biomasa arbórea que multiplicado por el factor de conversión correspondiente daba como resultado el carbono almacenado. Esto, mediante ecuaciones alométricas específicas para cada especie o género. Cuando una especie no contaba con una ecuación alométrica específica, se optó por agruparlas por género. Las ecuaciones alométricas utilizadas se muestran en el cuadro 1.8.

Cuadro 1.8 Ecuaciones alométricas

Género	Especie	Ecuación alométrica	Factor de conversión	Autor
<i>Crupessus</i>	<i>Crupessus lusitánica</i>	$[0.5266]^*[\text{DBH}^{1.7712}]$	.49	Vigil, 2010

	<i>Cupressus sempervirens</i>			
Pinus	<i>Pinus cembroides</i>	$[0.084]^*[\text{DBH}^{2.475}]$	.5	Ayala <i>et al.</i> , 2001
Eucaliptus	<i>Eucalyptus camalaldulensis</i> <i>eucalyptus Globulus</i>	$[0.1186]^*[\text{DBH}^{2.497}]$	.5	Toribio, 2006
Quercus	<i>Quercus rugosa</i>	$[0.0345]^*[\text{DBH}^{2.9334}]$	.49	Gómez Díaz, 2011
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	$[0.027059]^*[\text{DBH}^{2.86357}]$	.5	Rodríguez <i>et al.</i> , 2006
Abies	<i>Abies religiosa</i>	$[0.035]^*[\text{DBH}^{2.513}]$	.465	Avendaño <i>et al.</i> , 2009

Fuente: Elaborado con base en Rojas-García et. al., 2015

Para el caso de los árboles muertos y tocones que contaban con los datos de altura y circunferencia, mediante una base de datos se les determinó el área basal y el volumen, una vez obtenido éste en cm^3 fue multiplicado por .45 para obtener biomasa, producto que fue multiplicado por .49 para estimar el carbono almacenado en necromasa (Álvarez, 2013).

Es preciso mencionar que las especies que no correspondían a alguno de los géneros mencionados y que no se encontró alguna ecuación alométrica lineal 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.

EPÍLOGO

Se abordaron aspectos teóricos importantes para el desarrollo del trabajo, además se encuentran algunos casos de estudio dirigidos a dar a conocer la importancia de los parques y en general de las áreas verdes en las ciudades considerando las ventajas y los retos de éstas. También se aportan elementos importantes tanto teóricos como metodológicos de esta investigación.

De acuerdo a los enfoques de las ciencias ambientales y del desarrollo urbano sustentable fue necesario abordar los servicios ambientales desde un enfoque urbano, considerando la dinámica de la ciudad en su repercusión al entorno natural, así como los efectos de la urbanización y el cambio climático y sus efectos en la población citadina y que se involucran en la sustentabilidad ambiental urbana y en el desarrollo social.

Por ello, el objetivo principal del trabajo es recabar información acerca de las variables independientes, que son los recursos con los que el parque cuenta, como la vegetación y suelo, mismos que le permiten al parque generar una gama de servicios ambientales. La contribución de este trabajo versa en dar a conocer más allá de los valores significativos de ocio y recreación que el parque otorga y demostrar cuantitativamente los beneficios de este parque y los servicios ambientales en los que se traducen esta serie de características.

Los materiales y métodos que fueron utilizados dependen del recurso o indicador a analizar, en el caso del almacén de carbono se obtuvieron los datos a través del muestreo de la vegetación arbórea, apoyados de ecuaciones alométricas, para el caso de la infiltración, se realizó a través de la estimación de la velocidad de infiltración in situ, además de analizar parámetros como pH, humedad y profundidad de raíces, para el caso del ruido se realizó únicamente con un sonómetro, mientras que la temperatura y humedad se obtuvieron con un Data Logger.

CAPÍTULO II

CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE

METROPOLITANO BICENTENARIO

2.1 TOLUCA DE LERDO

Para realizar la caracterización es preciso mencionar que a pesar de que la unidad de análisis es el Parque Metropolitano Bicentenario, es necesario contextualizar al parque dentro del sistema de la ciudad de Toluca, debido a que las características de la ciudad definen la importancia del parque y de los servicios ambientales que ofrece.

El municipio de Toluca se localiza en la porción centro-poniente del Estado de México. La Ciudad de Toluca de Lerdo es la cabecera municipal y capital del Estado. La altura promedio es de 2,660 metros sobre el nivel del mar, lo que la clasifica entre las ciudades más altas del continente americano. El municipio de Toluca cuenta con una superficie de 42,952.14 hectáreas (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013), de las cuales Toluca de Lerdo ocupa 9,010 hectáreas, representando el 20.97% del territorio municipal (INEGI, 2012).

Colinda al norte con las localidades de San Marcos, San Andrés y San Pablo, al este con San Pedro y los municipios de Lerma y San Mateo, al sureste con Metepec, al sur con San Felipe y Santiago Tlacotepec y al oeste con el municipio de Zinacantepec.

Debido a la importancia industrial y a la cercanía con la capital del país es que se encuentran diversas vías de comunicación que la conectan a otros municipios y estados; la carretera federal y autopista número 15 que conecta a Toluca con la Ciudad de México y con los municipios de Lerma y Ocoyoacac al oriente y al occidente con Morelia, la carretera federal 55 con dirección a Querétaro y los municipios de Atlacomulco e Ixtlahuaca. Las principales vías de comunicación dentro de la Ciudad son av. Paseo Tollocan, av. Las Torres, Paseo Matlatzincas y av. Pino Suarez. En el centro de la ciudad las principales son S. Lerdo de Tejada, Benito Juárez y José María Morelos. Véase Figura 2.1.

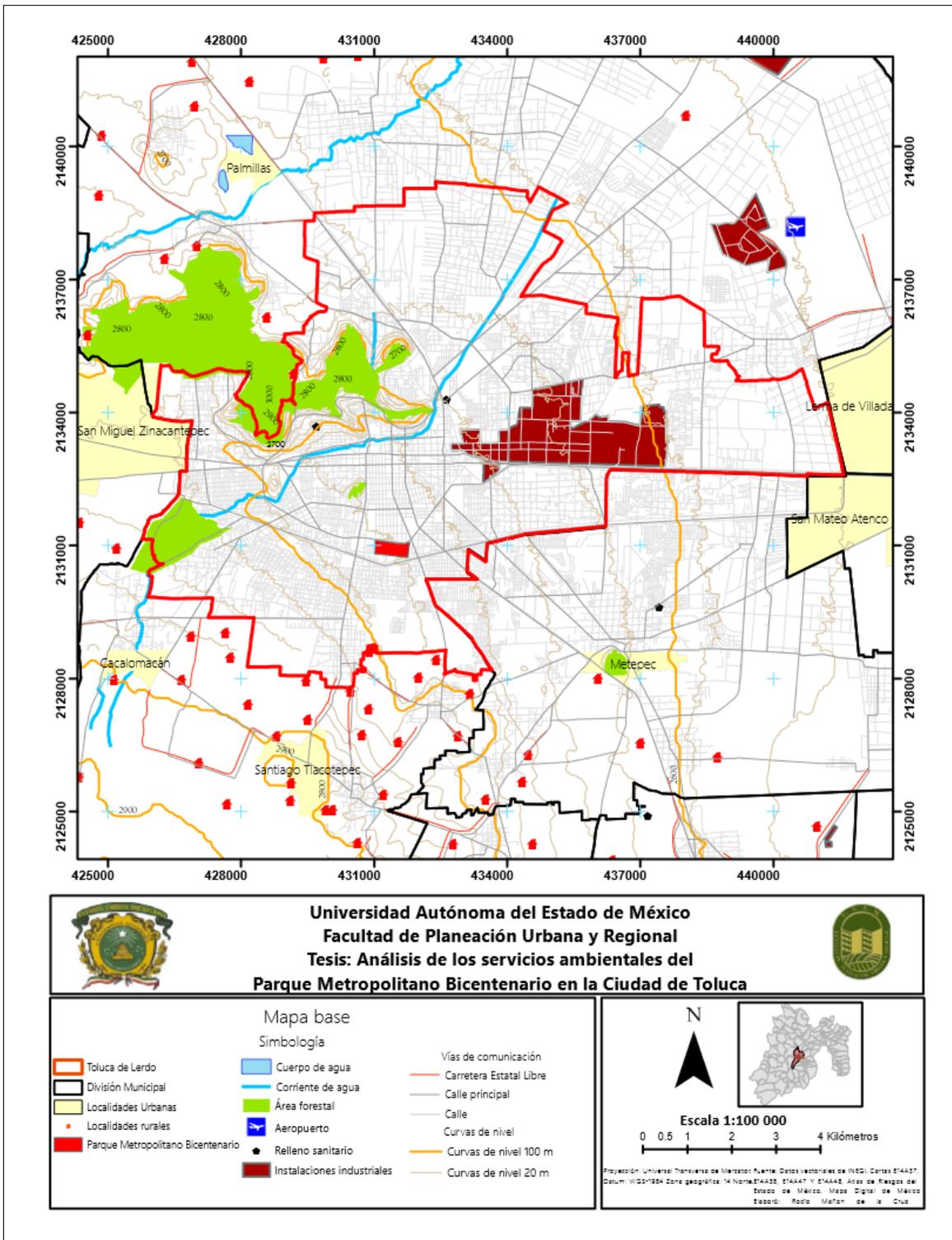


Figura 2.1. Mapa Base. **Fuente:** Elaboración propia con base en Datos vectoriales INEGI, Cartas E14A37, E14A38, E14A47 Y E14A48, Marco Geoestadístico Nacional.

2.1.1 CONDICIONES BIOFÍSICAS

2.1.1.1 CLIMA Y PRECIPITACIÓN

La ciudad se halla en una región donde convergen fenómenos atmosféricos provenientes de las zonas frías, templadas y tropicales, por lo que su atmósfera es muy dinámica a lo largo del año.

Según García (1987) en Guerrero et al. (2016) Toluca presenta un tipo de clima Cb (w2) (w) (i1) g, clima templado con verano fresco largo, dos estaciones lluviosas separadas por una temporada seca corta en el verano y una larga en la mitad fría del año, clima con invierno seco, oscilaciones mayores comprendidas entre 5° y 7°, mes más caliente antes del solsticio de verano. La temperatura media del mes más frío es inferior a 18°C pero superior a -3°C. La temperatura media del mes más caliente es menor de 22°C y superior de 6.5°C, con verano fresco largo. En cuanto a la precipitación total anual es de 791.6 mm, que sigue un régimen de lluvias de verano (por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco).

Mientras que Morales et al. (2007), mencionan que la elevada altitud define un clima templado, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación en invierno, inferior al 10%, la oscilación térmica anual es inferior a 5°C y la temperatura más elevada ocurre antes del solsticio de verano; de esta manera, según la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García, la simbología climática es: C(w1)(w)big.

Las temperaturas más bajas se registran en los meses de diciembre, enero y febrero, con valores que oscilan entre -2.0 y 8.0° C. Las bajas temperaturas están asociadas con la fuerte irradiación nocturna, con la irrupción de vientos polares y masas de aire frío, lo que en muchas ocasiones origina inversiones térmicas, es decir, estratos atmosféricos cercanos a la superficie del valle de Toluca con temperaturas más bajas en relación con las capas de aire que se encuentran más

arriba. Cuando a las inversiones térmicas se les adhieren gases y partículas contaminantes suelen ser muy peligrosas para los seres vivos. Las temperaturas más elevadas se presentan entre abril y mayo con valores que fluctúan entre 26.0 y 28°C.

Se presentan además ondas de calor que duran entre uno y tres días en promedio, aunque en algunos años, éstas suelen tener mayor número de días sobre todo en el periodo de la sequía intraestival (disminución de las lluvias durante el verano). Las elevadas temperaturas generalmente son interrumpidas por los vientos de la tarde y la persistente trayectoria de los vientos dominantes.

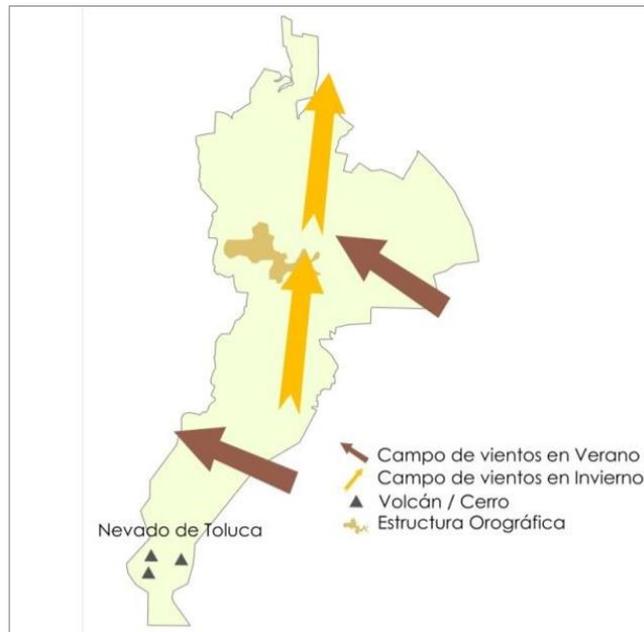
Las altas temperaturas de la primavera y el verano crean campos de baja presión atmosférica que atraen vientos locales, regionales y planetarios que llegan con velocidades de 1.0 a 4.0 metros por segundo. Las brisas de montaña suavizan las temperaturas y transportan partículas a la ciudad, creando un domo de polvo, típico del invierno y primavera, pero cuando los vientos alisios soplan con mayor intensidad, transportan los contaminantes a regiones lejanas de la ciudad. La ciudad de Toluca tiene una temperatura media anual de 12.9° C, pero en invierno suele bajar hasta los -2.0° C y en verano asciende a 28.0° C, por lo que la amplitud térmica es de 30.0° C, situación que puede incrementarse como consecuencia del cambio de uso del suelo (Hernández et al., 2005).

Por otro lado, los vientos alisios, los huracanes, los frentes y el efecto monzónico, son los sistemas meteorológicos que producen las lluvias en la región. Considerando las últimas cinco décadas la precipitación media anual en la ciudad es de 760 mm, abarcando el periodo de lluvias de mayo a octubre. El mes más lluvioso es julio y el de menor precipitación es febrero, presentándose ocasionalmente una sequía intraestival que dura entre una y dos semanas (Morales et al., 2007).

2.1.1.2 VIENTOS

Los vientos dominantes son los provenientes del sureste y del este, lo que indica que se trata de los alisios. Son vientos que soplan la mayor parte del año, aunque los vientos del noroeste también son importantes sobre todo en otoño e invierno (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013).

Figura 2.2 Vientos dominantes en el municipio de Toluca



Fuente: SEMARNAT: PROAIRE, 2007 en H. Ayuntamiento de Toluca, 2013

El municipio forma parte del valle de Toluca, que se encuentra rodeado por elevaciones montañosas, entre ellas el Nevado de Toluca al suroeste, la Sierra de las Cruces y la Sierra de Ocoyotepec al este, Monte Alto al noreste. Las elevaciones determinan fuertemente la dirección de los vientos, el Nevado de Toluca influye en el viento proveniente del sur, mientras que Monte Alto obstruye los vientos alisios que llegan al valle (ProAire, 2012: 25).

Si la dirección del sureste es la más constante durante el año, los flujos al encontrarse con elementos atmosféricos contaminantes los traslada hacia el norte

y noroeste; situación que hay que tomar en cuenta para la instalación de centros industriales y evitar mayor contaminación (Morales et al., 2007). No solo en el aspecto industrial influyen, por ejemplo, la dispersión de los contaminantes producto de la combustión de los automóviles y otras actividades domésticas dependen de la dinámica de los vientos sin embargo considerando que existen edificios en el centro de la ciudad, estos dificultan el transporte de los contaminantes, provocando una concentración mayor en la zona centro, con respecto a los alrededores.

2.1.1.3 SUELOS

El suelo es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. En cuanto componente fundamental de los recursos de tierras, del desarrollo agrícola y la sostenibilidad ecológica, es la base para la producción de alimentos, combustibles y fibras y para muchos servicios ambientales esenciales.

La superficie natural de suelos productivos es limitada y se encuentra sometida a una creciente presión debido a la intensificación y el uso competitivo que caracteriza el aprovechamiento de los suelos con fines agrícolas, forestales, pastorales y de urbanización y para satisfacer la demanda de producción de alimentos, energía y extracción de materias primas de la creciente población (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015).

En la figura 2.3, se puede observar que la totalidad de la ciudad de Toluca pertenece a suelos sellados, también llamados tecnosoles. Al norte del municipio en las localidades de San Andrés Cuexcontitlán, San Cruz y San Mateo Oztzacatipan también pertenecen a suelos sellados, mismo comportamiento sucede al este y sureste de la Ciudad colindando con Lerma y Metepec, esto es debido al importante grado de urbanización del municipio de Toluca y los municipios colindantes que conforman una de las zonas metropolitanas más importantes del país.

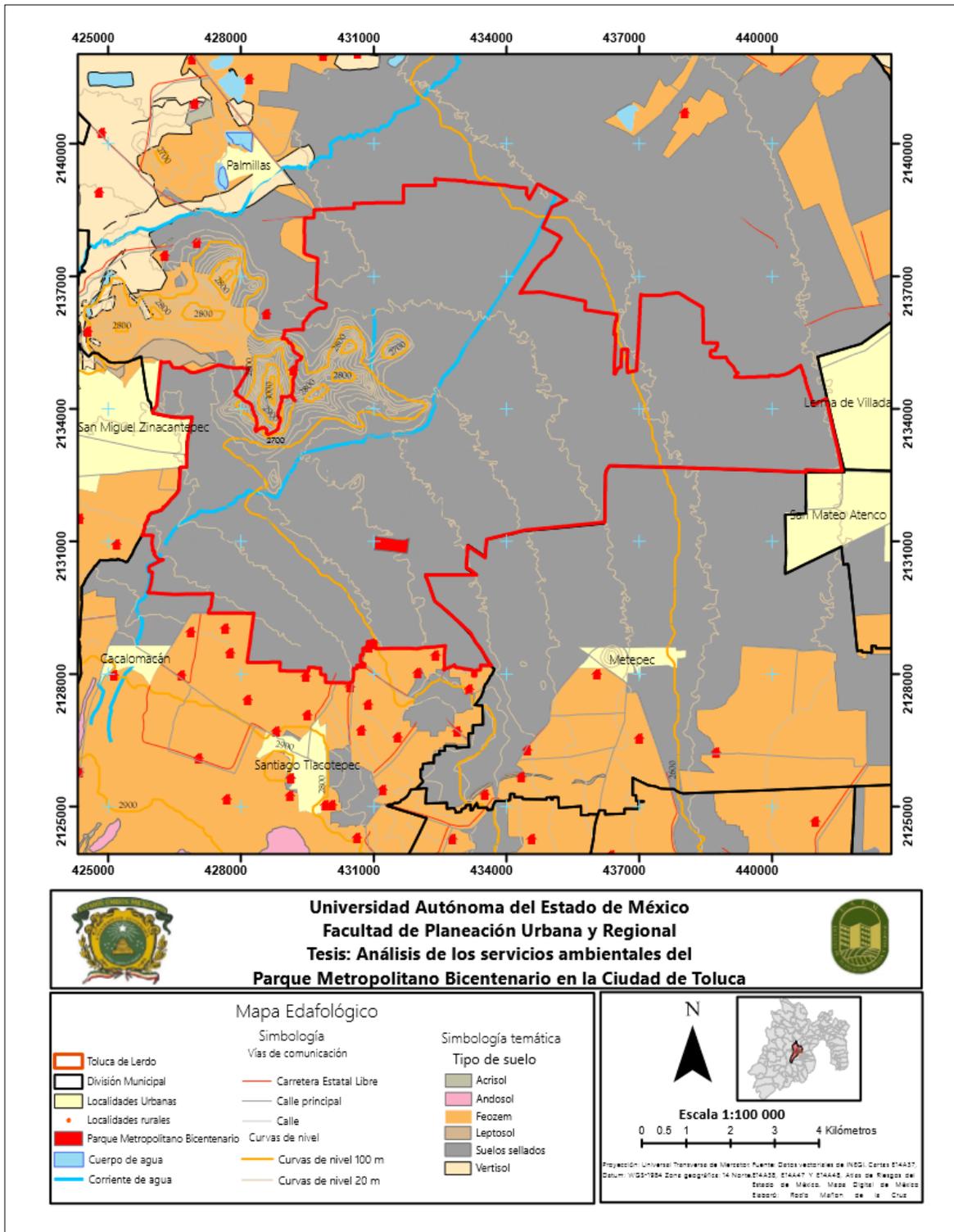


Figura 2.3. Mapa edafológico. **Fuente:** Elaboración propia con base en Datos vectoriales INEGI, Cartas E14A37, E14A38, E14A47 Y E14A48, Atlas de Riesgos del Estado de México.

Los cambios paulatinos o abruptos de la extensión de los tecnosoles y el establecimiento de las ciudades comienzan con la remoción y adaptación del paisaje a las necesidades de los pobladores, se originan por la demanda de suelo (espacio) para la construcción de nuevos asentamientos humanos, o para ampliar los existentes, lo cual da lugar al crecimiento de la mancha urbana y la creación de nueva infraestructura para la satisfacción de las necesidades de la población, como las vías de comunicación, redes eléctricas y de abastecimiento de agua, parques, terminales de autotransporte y otros elementos que forman parte de los asentamientos humanos, situación que ocasiona la modificación de las características actuales del suelo, cuando estos son revestidos con algún material diferente al de su composición natural (Mireles et al., 2016).

2.1.1.4 HIDROLOGÍA

El creciente aumento poblacional y por consiguiente el alta demanda de recursos entre ellos el agua, hace de la conservación de este recurso un factor importante en cualquier ámbito de planeación y conservación ambiental. Se han desarrollado trabajos que divulgan el estado crítico del recurso hídrico debido a la contaminación de los cauces y la sobreexplotación de los mantos acuíferos.

Por el territorio municipal cruzan las corrientes que descienden desde el Nevado de Toluca hacia el valle, siendo el principal y más importante el Río Verdiguél que atraviesa la ciudad de Toluca de Lerdo y desemboca en el Río Lerma, es importante mencionar que una gran extensión de este río está embovedada. Existen además varias corrientes menores, como el río Tecaxic, que se alimenta de algunos arroyos como el de San Marcos y otros temporales (INEGI, 2012; H. Ayuntamiento de Toluca, 2013). En la ciudad se encuentran diversos pozos de agua que se distribuyen sobre todo al norte de la ciudad. Los cuerpos de agua que se encuentran en la ciudad son bordos de uso agrícola y ganadero, en el resto del territorio municipal se pueden encontrar varios bordos más. Véase Figura 2.4.

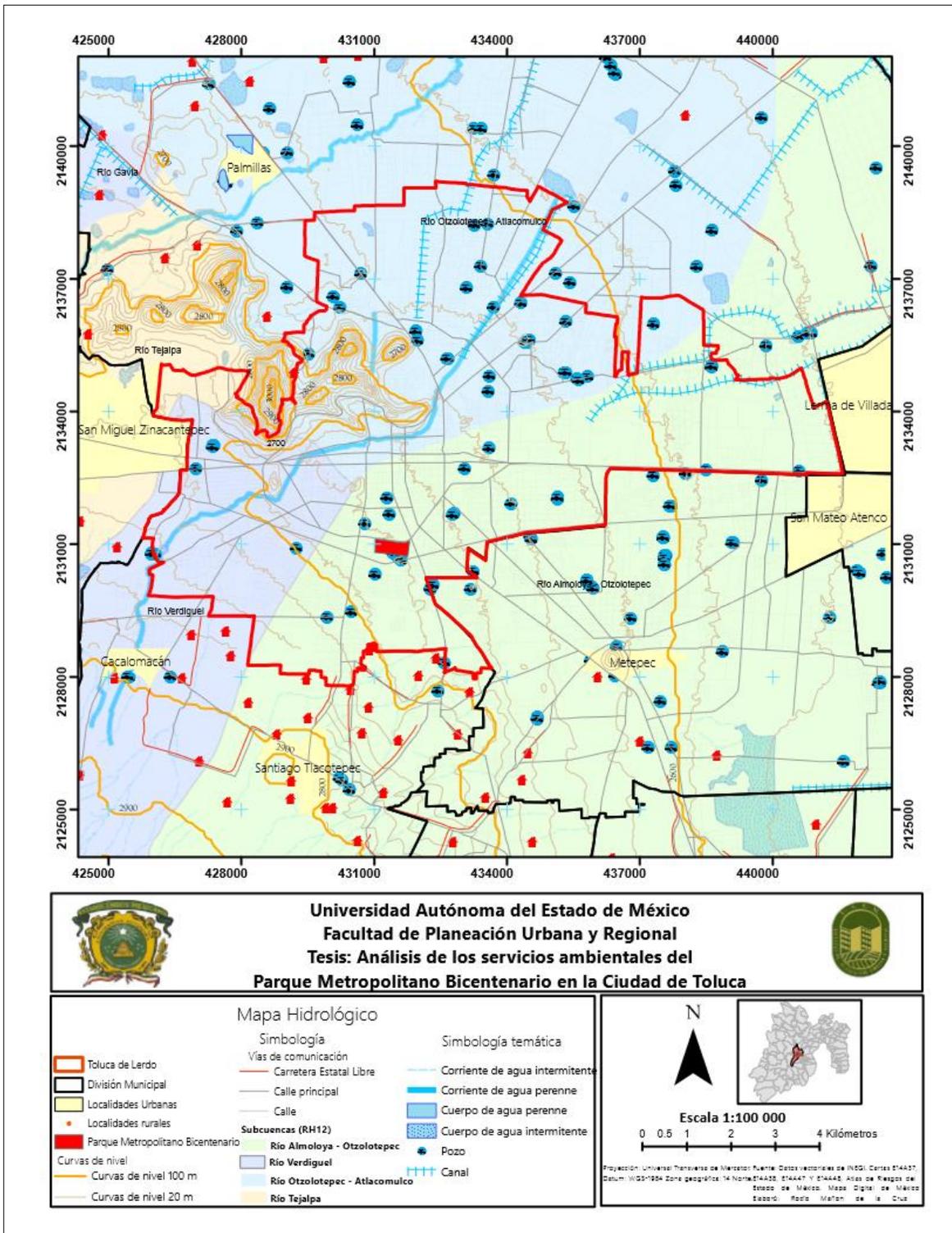


Figura 2.4. Mapa hidrológico. **Fuente:** Elaboración propia con base en Datos vectoriales INEGI, Cartas E14A37, E14A38, E14A47 Y E14A48, Atlas de Riesgos del Estado de México.

La ciudad de Toluca pertenece a la Región Hidrológica 12 Lerma Santiago, misma que en la ciudad está conformada por cuatro subcuencas; Río Otzolotepec-Atlacomulco al norte de la ciudad, al este y sureste de la ciudad se encuentra la subcuenca Río Almoloya-Otzolotepec, conformada también por parte de los municipios de Metepec y Lerma, al suroeste se encuentra la subcuenca Río Verdiguél, con uno de los ríos más importantes en la ciudad que lleva el mismo nombre, con una menor proporción al oeste se encuentra la subcuenca Río Tejalpa, que también es conformada por Almoloya de Juárez y Zinacantepec (INEGI, 2016).

Cabe mencionar que el Valle de Toluca no solo estuvo cubierto de bosque, sino además se encontraba ocupado por lagunas someras, donde todavía existe agua, en algunas de ellas, como las de Almoloya del Río, San Mateo Atenco y Lerma, estos cuerpos de agua se han ido secando paulatinamente debido a que son sometidos a procesos de extracción de agua que se distribuye a los valles de México y Toluca y así satisfacer la demanda de este vital recurso.

En 1987 la compañía Lesser y Asociados hicieron un trabajo con el propósito de medir los niveles estáticos en los pozos piloto del valle de Toluca en el cual se reportan datos relacionados con el abatimiento de los mantos acuíferos. El estudio manifiesta abatimientos de 70 m en la zona industrial aledaña a la ciudad de Toluca, que disminuyen radialmente hasta 10 y 20 m en el resto del valle; en la región sur los mayores abatimientos son de 30 m, hacia el oriente disminuye a 40 m y hacia el poniente 20 m, mientras al norte el abatimiento es de 10 m (Colín y Nuncio, 2006).

2.1.1.5 GEOMORFOLOGÍA

La capacidad de un sistema geomorfológico puede expresarse de dos formas: primera por la velocidad de evacuación del sedimento y segunda por la energía consumida en mantenerlo o transformarlo (Gutiérrez, 2008:11). Con ello puede determinarse la intensidad y frecuencia del impacto que tienen algunos agentes como el viento, agua y el ser humano sobre los materiales o recursos que se encuentran determinados por el relieve.

En la ciudad las geoformas que se identifican con una mayor superficie son planicie aluvial, una planicie es una porción de la superficie terrestre, equivalente a un plano horizontal o de poca inclinación, se define como una superficie amplia a manera de terraza acumulativa fluvial, o conjunto de terrazas o llanuras de inundación (Lugo, 1989).

Mientras que una pequeña proporción corresponde a piedemonte y lomeríos que pertenece a la zona del Parque Estatal Sierra Morelos. El piedemonte es una superficie marginal a las montañas, de las que se distingue por una pendiente y alturas considerablemente menores (Lugo, 1989).

2.1.1.6 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

El uso de suelo es una de las manifestaciones del impacto generado por parte del ser humano hacia el medio físico y que constituyen el uso asignado por el hombre. El aprovechamiento del suelo conlleva una serie de impactos ambientales, por ejemplo la agricultura trae consigo la tala de bosques para conseguir suelos aptos para cultivar, canalizar ríos, la salinización del suelo y contaminación por plaguicidas y fertilizantes. Al igual que el uso urbano que conlleva el cambio de suelo de forestal o agrícola para convertirse en asentamientos humanos, ocasionando la pérdida de biodiversidad genética, entre otros impactos.

La vegetación original que todavía existe en las montañas cercanas a la ciudad consiste en bosques de pinos, oyameles y encinos. Son comunidades que se encuentran en la Sierra de las Cruces, la Sierra de Tenango y el Volcán Nevado de Toluca, cuyas altitudes van de los 2,500 a los 4,650 msnm. Existen además comunidades de arbustos pastos, hierbas y líquenes que completan los diversos estratos florísticos (Morales, et al., 2007).

Cabe mencionar, que las porciones forestales que aún quedan en la ciudad de Toluca no tienen un fin productivo, no se aprovechan los recursos maderables y no maderables pues pertenecen a áreas naturales protegidas estatales.

A nivel municipal la ocupación urbana es de 42.4% destinado para uso habitacional, equipamientos e industria, en el segundo caso 57.6% del suelo está bajo uso agropecuario, forestal y otros. En el siguiente cuadro se despliega la información detallada (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013b).

Cuadro 2.1 Uso de suelo en el municipio de Toluca

Uso	Km²	%	Uso	Km²	%
Habitacional de alta densidad	49.57	27.8	Agrícola	150.74	62.3
Habitacional de media densidad	54.64	30.7	Forestal	78.98	32.6
Habitacional de baja densidad	35.49	19.9	Cuerpos de agua	5.81	2.4
Conjuntos habitacionales	7.69	4.3	Zona federal	4.59	1.9
Equipamiento	12.96	7.3	Zona arqueológica	1.19	.5
Industria	17.8	10	Banco de Materiales	.68	.3
Subtotal urbano	178.15	42.4	Subtotal no urbano	241.99	57.6

Fuente: H. Ayuntamiento de Toluca, 2013b.

En la figura 2.5 se puede observar que casi la totalidad de la ciudad de Toluca es de uso urbano, albergando las principales zonas habitacionales y comerciales, además una proporción importante es dedicada al uso industrial, como se ha mencionado Toluca cuenta con importantes parques industriales. La proporción de uso forestal pertenece a la Sierra Norte de Toluca; es decir “el Cerro de la Teresona” y el Parque Estatal Sierra Morelos que corresponden a bosques de pino, además del parque Estatal Alameda Poniente “San José La Pila” y menor superficie el área verde “El Calvario” que se encuentra en el centro de la ciudad.

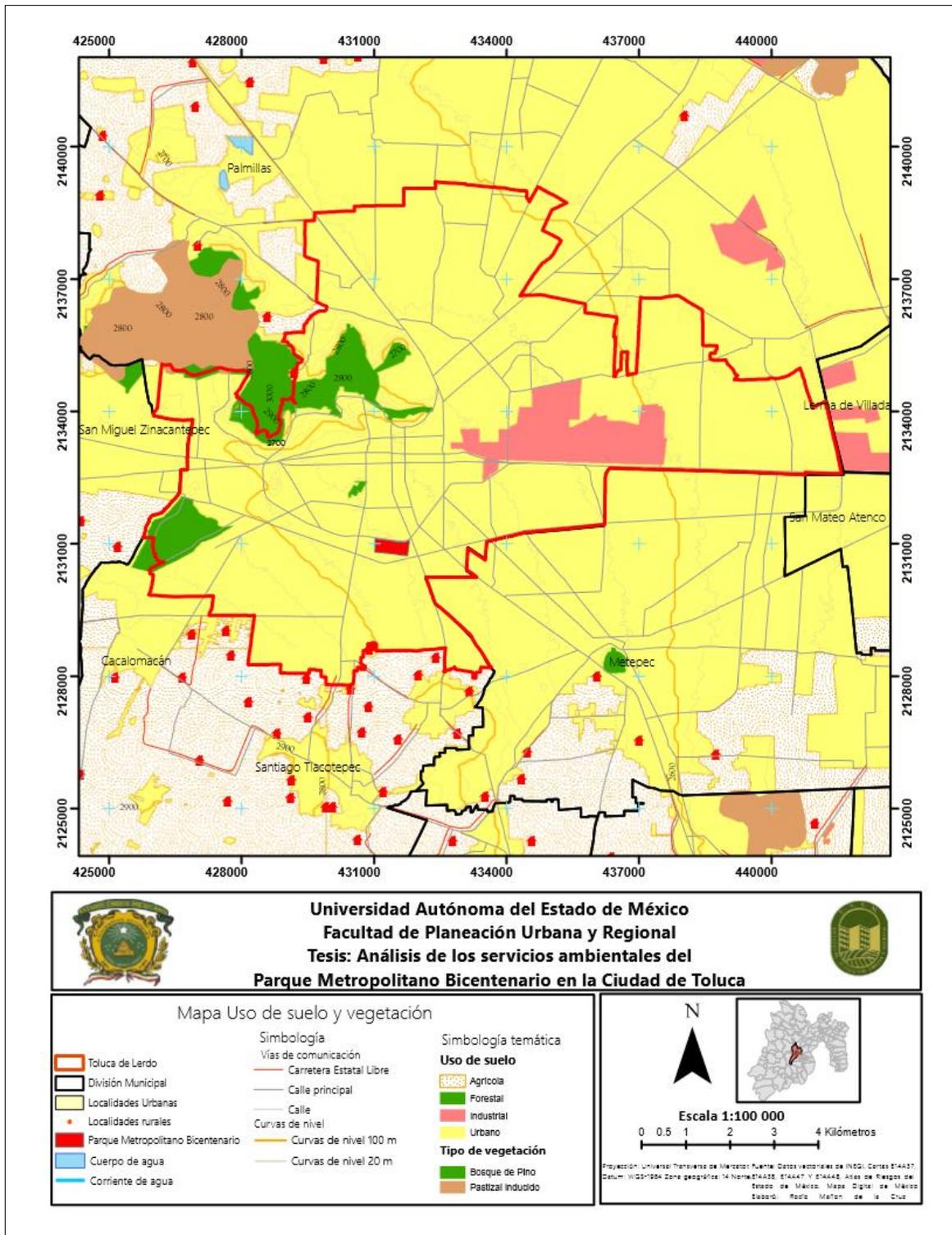


Figura 2.5. Mapa de uso de suelo y vegetación. **Fuente:** Elaboración propia con base en Datos vectoriales INEGI, Cartas E14A37, E14A38, E14A47 Y E14A48, Atlas de Riesgos del Estado de México.

2.1.2 CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS

2.1.2.1 POBLACIÓN

Más de la mitad de la población mundial vive en ciudades, las zonas urbanas consumen la mayor parte de la energía mundial y generan el grueso de los desechos, incluidas las emisiones de GEI. Los impactos del aumento demográfico no solo son sobre los recursos naturales sino también a la salud y a la calidad de vida con impactos socioeconómicos (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, s/f).

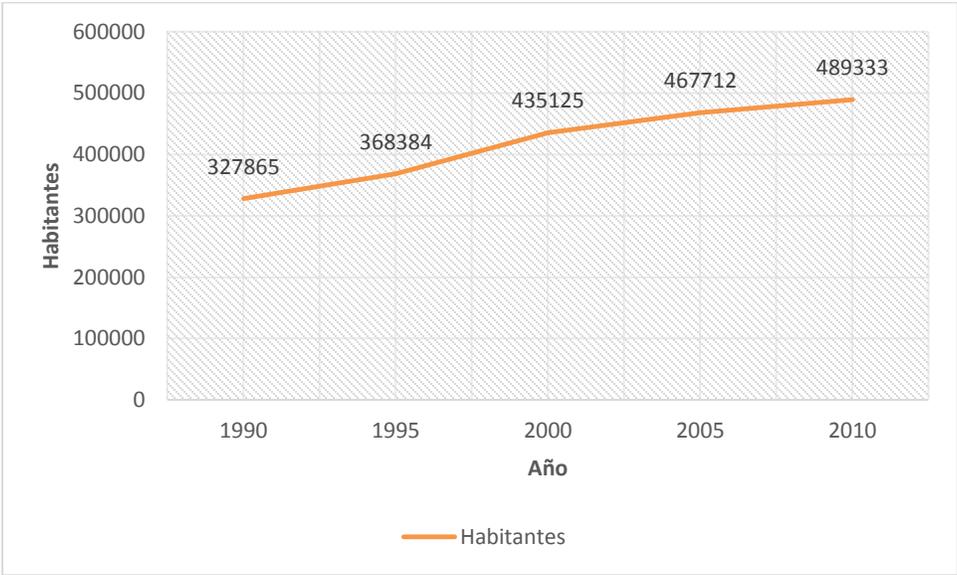
La sociedad, representa en el ambiente natural la principal causa de las alteraciones y modificaciones a la naturaleza y mientras ésta incrementa, aumenta la presión sobre los recursos naturales y aumenta la producción de desechos y de contaminantes. Por ello es de suma importancia el estudio de la sociedad en su relación con el medio ambiente. Los problemas ambientales que se relacionan con el aumento de la población son la disminución de la cubierta vegetal originado por la demanda de espacio para vivir, el abatimiento de los mantos freáticos por la consecuente extracción y explotación del recurso agua para satisfacer la demanda de los habitantes, la expansión de la mancha urbana que aumenta los GEI, la contaminación atmosférica y el aumento de la temperatura.

La ciudad de Toluca ha experimentado un crecimiento vertiginoso en su población, sobre todo después de la década de los sesenta, cuando el país entró en un desarrollo económico importante con la participación de fuerte inversión en el sector industrial. De esta manera se establecieron corredores industriales en las áreas circunvecinas, destacando la zona de Toluca-Lerma y Toluca-Atlacomulco, con grandes flujos de emigración provenientes de los estados y municipios de algunas partes del país (González y Morales, s/f).

El número de habitantes del municipio de Toluca para el año 2010 es de 819,561 habitantes, de los cuales 489,333 habitan en la capital Toluca de Lerdo, es decir el

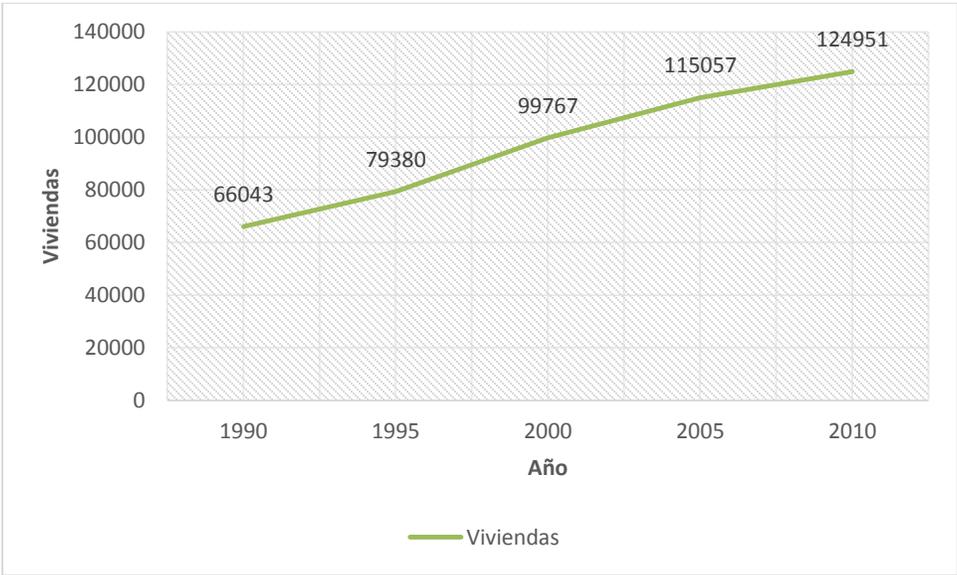
59.7% de la población del municipio. De 1990 al 2010 la población ha aumentado 161,468 habitantes, con una tasa de crecimiento promedio anual de 1.18 del periodo 1990 al 2010. IGCEM en H. Ayuntamiento de Toluca (2016), estima que en el año 2015 la población habría alcanzado los 521,554 habitantes.

Gráfica 2.1 Habitantes en la Ciudad de Toluca



Fuente: INEGI, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010.

Gráfica 2.2 Viviendas habitadas en la Ciudad de Toluca



Fuente: INEGI, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010.

En el mismo año se contabilizaron un total de 124,951 viviendas, es decir el 62.5% del total municipal. En 20 años, el número de viviendas se ha casi duplicado, aumentando 58,908 viviendas para el año 2010, lo que indica que para el año 2010 el promedio de habitantes por vivienda fue de 3.9, mostrando una disminución al transcurrir de los años, para el año 2000 fue de 4.3 habitantes por vivienda, mientras que en el año 1990 el promedio de habitantes fue de 4.9.

La cobertura de servicios de dichas viviendas es de 99.1% de energía eléctrica, 88.7% de agua potable y 95.9% de drenaje (INEGI, 2010). La dotación de agua potable se realiza a través de 1,200 km en las redes de distribución, suministrando 1,779.4 l/s. (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013). La población económicamente activa de Toluca de Lerdo es de 210, 975 habitantes, mientras que la población ocupada corresponde al 41.1% del total de la población, es decir 201,166 habitantes (INEGI, 2010).

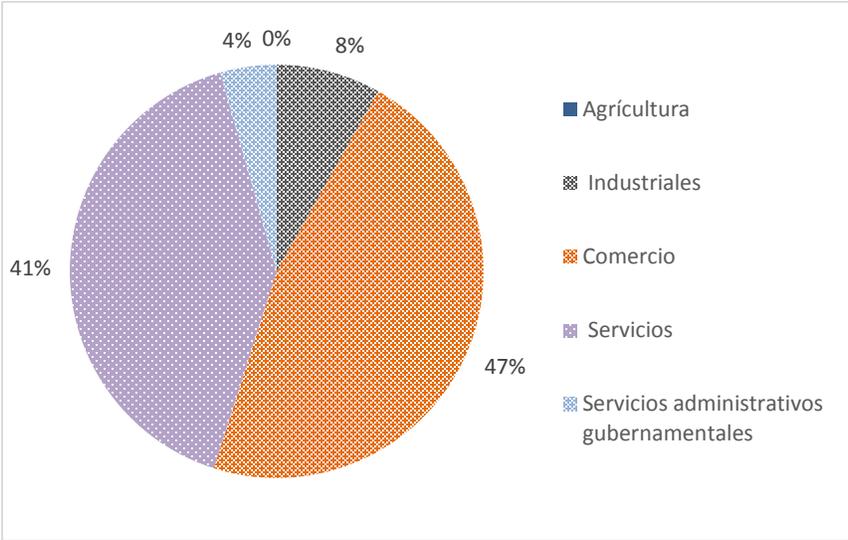
2.1.2.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

A nivel municipal las actividades relacionadas con el sector primario han venido a la baja, o bien permanecen prácticamente estables de la cual el 79% es de temporal, el maíz sigue siendo el principal cultivo en el municipio, mismo que se sigue realizando de la manera tradicional; le sigue en importancia la producción de haba, chícharo, papa y cultivo de praderas, algunas de estos realizados con sistemas de riego. Un hecho que se debe resaltar es que a pesar de la gran superficie destinada al cultivo del maíz, se trata de una actividad agrícola de forma extensiva con poco rendimiento y casi de autoconsumo (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013).

Inmersa en el proceso de urbanización e industrialización la ciudad de Toluca se ha constituido como centro industrial, comercial y de servicios más importantes del Valle, cuenta con 9 parques industriales y una zona industrial desarrollada por FIDEPAR, las cuales albergan 292 industrias (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013).

Para el sector terciario actualmente el Municipio de Toluca, junto con el de Metepec, concentra la actividad comercial de la región y Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Según el INEGI (2014) el total de unidades económicas en la ciudad fue de 33,786 en las que sobresale el sector comercio y servicios, contrario del sector primario que tuvo una participación nula.

Gráfica 2.3 Unidades económicas de Toluca de Lerdo



Fuente: INEGI, 2014.

2.1.2.3 PARQUE VEHICULAR

Sin duda, el acelerado crecimiento, aunado a la mejora de las condiciones económicas en las familias de la ciudad, y las actividades secundarias y terciarias representan una demanda alta de transporte de personas para desplazarse de los hogares a los centros de trabajo y escolares y también para el transporte de mercancía, ocasionando que la flota vehicular aumente, junto con ello aumentan los contaminantes derivados de la combustión de los motores, además de que los niveles de exposición a ruido aumentan.

Los vehículos automotores particulares y el transporte público circulan en las principales avenidas del centro de la ciudad, mientras que los vehículos

relacionados con industria y de carga circulan por los circuitos periféricos al centro de la ciudad. Según la Dirección de vialidad y transporte en H. Ayuntamiento de Toluca (2013), el parque vehicular municipal es de 360,000 vehículos, de los cuales 4,000 son autobuses.

Debido a la gran flota vehicular con la que se cuenta, la capacidad de la red vial, los problemas en la semaforización y tomando en cuenta que la mayoría de los servicios escolares, de trabajo, administrativos y de servicios se encuentran en el centro de la ciudad, provocan afectaciones importantes al flujo vehicular, mismas que se identifican por horas de tránsito pesadas y conflictivas.

La comisaria de Seguridad Vial en el año 2012 en H. Ayuntamiento de Toluca (2013) identificó el aforo vehicular diario de las principales vialidades, por ejemplo en la av. José María Morelos transitan 6,478 vehículos por día en tan solo dos horas. Por la av. Benito Juárez 1,994 vehículos, mientras que en la av. Valentín Gómez Farías circulan 4,038 vehículos en dos horas, solo considerando un tramo corto de estas avenidas principales en la ciudad.

2.1.3 ÁREAS VERDES

Aproximadamente 23% de la superficie municipal está constituida por áreas verdes, estos espacios son elementos indispensables en toda una red de interacciones entre la ciudad y el medio natural, aportando servicios ambientales de gran valor, para la calidad de vida de la población (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013b).

El H. Ayuntamiento de Toluca clasifica los espacios verdes de acuerdo a sus dimensiones, equipamiento y usos que la sociedad les otorga, de esta forma, considera a los parques como aquellos que son de grandes dimensiones, perfectamente delimitados y que cuentan con mobiliario y servicios, los jardines los define como de menor superficie y cuentan con bancas y juegos infantiles y las áreas verdes que se entiende como extensiones de vegetación carente de mobiliario (Merzell, 2015).

Cuadro 2.2 Áreas verdes municipales

Área	Tipo	Hectáreas
Área Verde Urbana	Paseos	7.18
	Vialidades	233.17
	Camellones	9.80
	Plazas	2.54
	Glorietas	.53
	Áreas verdes de nueva municipalización	16.09
	Áreas verdes	6.03
	Jardines	12.64
	Parques	160.44
Áreas Naturales Protegidas	Parque Matlazincas	7.97
	Parque Alameda Poniente	176.32
	Parque Estatal Sierra Morelos (Sección Toluca)	1,204.80
	PFF Nevado de Toluca (Sección Toluca)	8,046
	TOTAL	9,883.54

Fuente: H. Ayuntamiento de Toluca, 2013b.

De acuerdo a Merzell (2015), en Toluca cada habitante cuenta con 7.78 m² de área verde, lo que muestra un déficit del 22.2%, cabe mencionar que esta estimación no tomo en cuenta el total de áreas verdes que el H. Ayuntamiento de Toluca registra, ya que no considera a las vialidades, camellones, entre otras como áreas adecuadas en donde puedan llevarse a cabo actividades recreativas.

Como se observa en la figura 2.6, la ciudad cuenta dentro de su equipamiento urbano con áreas verdes, las cuales están compuestas por plantaciones y conservaciones forestales. Una de las principales áreas verdes por superficie es el Parque Estatal Sierra Morelos, un área natural protegida localizada en San Mateo Oxtotitlán, a 4 km al noroeste de Toluca, con una superficie de 1,204 ha de las

cuales 302 ha se encuentran dentro de la Ciudad, en las faldas del cerro de la Teresona. Alberga una importante población de bosques de pino, eucalipto y en menor proporción de encinos. Es la principal zona de reforestación de la Ciudad.

El Parque Estatal Alameda Poniente (Alameda 2000) está situado junto al Centro Cultural Mexiquense, es una de las áreas naturales más cercanas a la ciudad, cuenta con 176.32 ha y un bordo que funge como lago artificial, hábitat de distintas aves (patos) y anfibios, rodeado de sauces. La vegetación predominante son pinos, cedros y algunas zonas con eucaliptos. Por otra parte la importancia del Parque Metropolitano Bicentenario va en aumento por ubicarse en la zona urbana y por su superficie, cuenta también como en los casos anteriores, con un lago artificial.

Muy cerca del centro de la Ciudad se encuentra el Parque Matlatzincas, mejor conocido como “El Calvario”, dentro de este parque se ubica el Museo de Ciencias Naturales. Con una menor superficie se encuentran el Parque Cuauhtémoc o “Alameda Central”, el Jardín Zaragoza, el Jardín Simón Bolívar, que se encuentran en el corazón de la ciudad. Además de otros parques importantes como es el caso del Parque Vicente Guerrero, el Parque Urawa y el Parque 18 de marzo (H. Ayuntamiento de Toluca, 2016).

Al analizar la figura 2.6, se puede observar que las áreas verdes están básicamente en el centro de la ciudad, lo que puede obedecer a la concentración de la población en esta zona, sin embargo la zona norte y este carecen de áreas verdes. En el caso de la zona norte la necesidad de áreas verdes, pudiera verse reducida, ya que esta zona no es altamente poblada y existen áreas rurales, lo que ayuda a disminuir los efectos ambientales adversos de la urbanización, sin embargo, la zona este, colindante con el municipio de Lerma, pertenece a la zona industrial, lo que indica la necesidad de aumentar las áreas verdes en esta zona, ya que por los beneficios que estos otorgan, ayudarían a disminuir los contaminantes atmosféricos, mejorar el paisaje y también fungir como espacio de recreación para las personas que laboran en esta zona industrial.

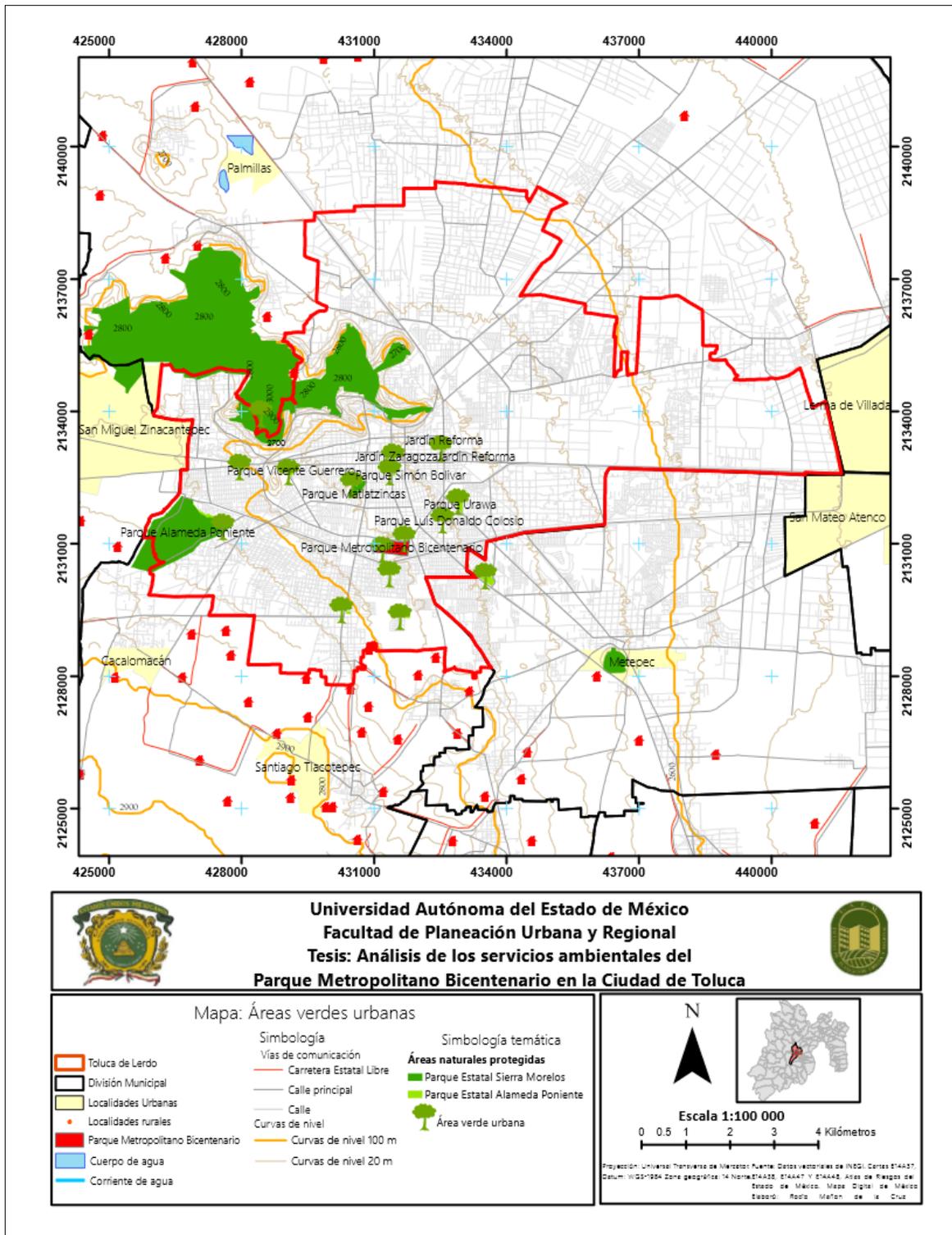


Figura 2.6. Mapa áreas verdes urbanas. **Fuente:** Elaboración propia con base en Datos vectoriales INEGI, Cartas E14A37, E14A38, E14A47 Y E14A48, Marco Geoestadístico Nacional.

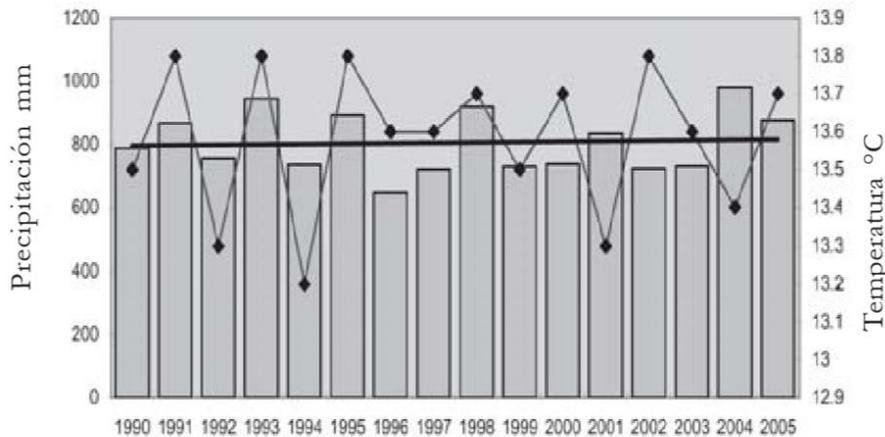
2.1.4 PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.1.4.1 CAMBIO EN EL PATRÓN DE PRECIPITACIÓN

Morales et al. (2007) realizaron un estudio sobre el clima y la precipitación en la Ciudad de Toluca y observaron que a partir de la década de los noventa aumentaron las precipitaciones llegando a 805 mm.

Este incremento puede deberse a la formación de la isla de calor en el área urbana, que a su vez engendra un espacio de humedad concentrado sobre todo durante la época lluviosa. La formación de nubes y neblinas pudieran estar asociadas a las partículas suspendidas en el aire y a los diversos contaminantes.

Figura 2.7 Temperatura y precipitación de 1990-2005 en Toluca



Fuente: Morales et al., 2007 con base en datos Servicio Meteorológico Nacional, 2006.

Las precipitaciones que se concentran en los espacios urbanos están precedidas por la presencia de una zona convectiva que no solamente atrapa calor, sino también crea un campo de baja presión atmosférica y ésta a su vez provoca flujos de la periferia al centro creando en días de primavera y otoño, concentraciones de polvo que cubren a la ciudad.

Los valores de lluvias extremas pueden ocurrir en cualquier mes del año, ya que hasta en invierno y primavera (estaciones donde generalmente llueve poco), los registros son elevados. Las lluvias de invierno y primavera casi siempre están asociadas con la llegada de frentes fríos o masas de aire marítimo tropical, pero la humedad se concentra en lugares contaminados, con lo que pueden dar origen a la formación de nubes cumulonimbos en esa época y al desencadenamiento de fuertes lluvias de poca duración.

Las lluvias máximas en 24 horas son más intensas en los meses de verano, ocurriendo las cantidades más elevadas en junio y agosto, meses en los que los hidrometeoros tropicales son más dinámicos. No obstante, en ocasiones al caer en una ciudad con deficiencias de drenaje y con escasas áreas verdes, como es el caso de la ciudad de Toluca, las lluvias torrenciales provocan inundaciones en algunos sitios.

A nivel local uno de los principales factores del cambio en los patrones de precipitación es la disminución de las áreas boscosas. La vegetación y los humedales se han ido acabando como consecuencia del crecimiento demográfico, ya que la población tuvo un incremento paulatino de 1940 a 1970, pero de los setenta a 2006 el ascenso ha sido considerable. A medida que la población crece, los límites físicos de la ciudad se ensanchan debido a la construcción de casas, edificios y avenidas, entre otros; lo que ha propiciado un cambio del uso de suelo.

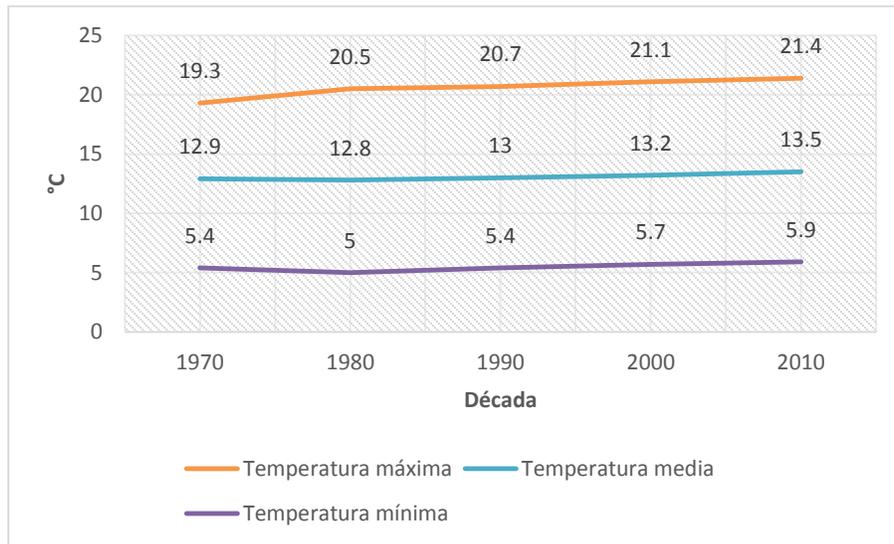
2.1.4.2 AUMENTO DE TEMPERATURA

Guerrero et al. (2016) realizaron un estudio acerca de la variabilidad de la temperatura en la Ciudad de Toluca, en donde determinan que de 1970 al 2013, la temperatura media se estimó en 13.08°C, con una oscilación de ± 0.7 y un incremento promedio entre décadas de 0.15°C.

Respecto a la temperatura máxima promedio anual, el valor medio para el periodo de análisis ascendió a 20.6°C y osciló entre los 19.3 °C (1970) y 21.4°C (2010). Este

parámetro que se calcula en 0.53°C es el que ha presentado mayor variación entre décadas.

Grafica 2.4 Comportamiento de la temperatura por década en la ciudad de Toluca; periodo 1970-2013



Fuente: Guerrero et al. 2016.

Por otra parte, la temperatura mínima promedio anual para los 43 años revisados fue de 5.5°C . Se identificó una oscilación de $\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ y un incremento promedio de 0.13°C cada diez años. Llama la atención que la temperatura mínima promedio, así como sus valores extremos (5 y 5.9°C registrados en 1980 y 2010 respectivamente) están por encima de los rangos establecidos por la CONABIO, que señalan que las temperaturas mínimas para la ciudad de Toluca van de los 0 a los 4°C .

Las tres variantes de temperatura mostraron un incremento a través del tiempo, el aumento promedio por década fue de 0.15 y 0.13°C para la temperatura media y mínima respectivamente, en tanto que la temperatura máxima fue el parámetro en el que se observaron las mayores oscilaciones y variaciones inter década; esta última se estimó en 0.53°C . No se puede perder de vista que el ascenso de temperaturas máximas se ha asociado a la mayor ocurrencia de olas de calor, las

cuales repercuten en la morbilidad y mortalidad de la población, especialmente aquella localizada en zonas urbanas (Guerrero et al., 2016).

Cabe mencionar que Morales et al. (2007) determinaron que la diferencia térmica, durante el día, entre el centro de la ciudad y la periferia es de 3.0°C, mientras durante la noche esa diferencia es de sólo 1.5°C. Las diferencias observadas son escasas porque en áreas urbanas más grandes como es el caso de la ciudad de México, las variaciones entre el centro y las orillas son de hasta 8.0°C.

2.1.4.3 EMISIONES DE GEI

A nivel estatal las emisiones de GEI, fueron de 40,628.43 Gg CO₂ en el 2005 y 46,756.79 Gg de CO₂ eq para el 2010, teniendo un incremento general del 15.08% con respecto al año 2005. En dónde el sector Energía emitió en el año 2010 el 52.84%, mientras que USCUSyS el 6.8% (Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático del Estado de México [PEAACCEM], 2013).

Cuadro 2.3 Total de emisiones en Gg de CO₂ eq para los años 2005 y 2010

Sector o Categoría	2005	2010
Energía	23,946.45	24,706.19
Procesos Industriales	1,266.98	3,237.06
Agricultura	3,368.10	3,388.28
USCUSyS	2,871.23	2,937.72
Desechos	0,175.67	12,487.54
Total (Gg CO₂eq)	40,628.43	46,756.79

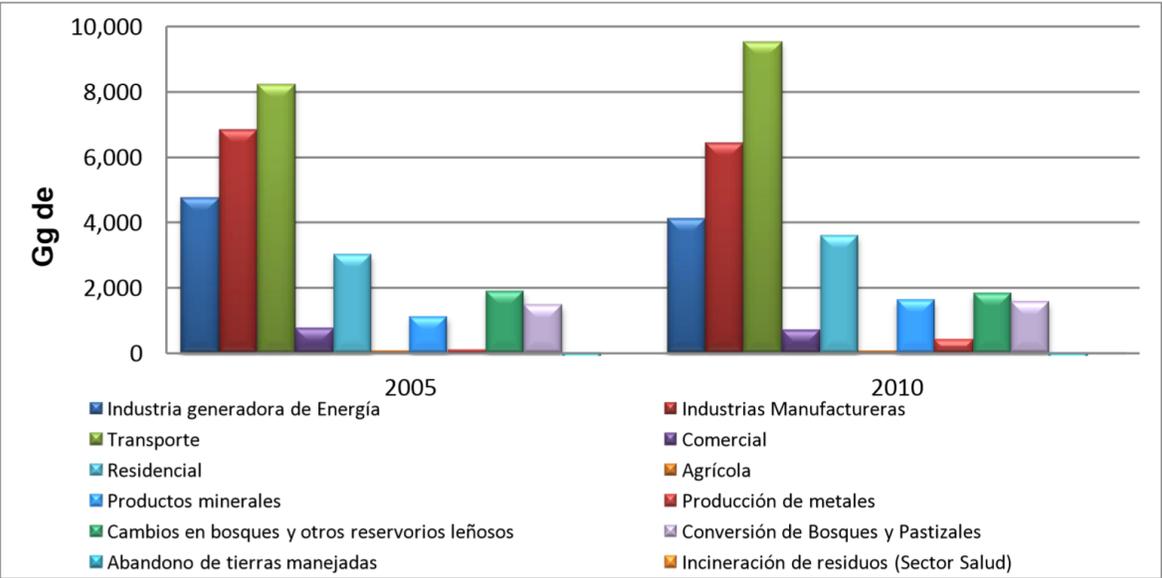
Fuente: PEAACCEM, 2013.

En cuanto al CO₂ aumentó un 6.01%, de 27,771 Gg de CO₂ eq (2005) a 29,439 Gg de CO₂ eq (2010), donde se observa que las principales actividades que contribuyeron fueron: Transporte, 32.40%, Industria Manufacturera, 21.82% e Industrias generadoras de Energía, 13.94% (PEAACCEM, 2013).

Ubicando las emisiones del Estado de México en el contexto nacional, contribuye con un 6.25% Gg de CO₂ eq de emisiones totales, donde el sector desechos aporta un 28.30% lo que representa una cifra que debe ser atendida, ya que los residuos sólidos urbanos para el 2010 se incrementaron en 38%, distribuyéndose en 6,484 y 1,643 mil toneladas para el Estado de México y Ciudad de México respectivamente (INEGI, 2010 en PEAACCEM, 2013).

De acuerdo a las proyecciones la tasa de crecimiento poblacional anual para el Estado de México será de 1.94% (CONAPO, 2010 en PEAACCEM, 2013), lo que significa que para el 2050, habrá 26.4 millones de habitantes y las emisiones tendrán una tasa de crecimiento anual de 2.51%. Por lo que para el 2050, si no hay mitigación de los GEI, habrá emisiones estimadas de 126,232 Gg de CO₂ eq. (PEAACCEM, 2013).

Figura 2.8 Emisiones de dióxido de carbono por actividad en Gg de CO₂ eq, 2005 y 2010



Fuente: PEAACCEM, 2013.

A nivel municipal, para el año 2010 las emisiones de GEI fueron de 4,328.7 Gg CO₂ eq. El sector que mayor contribuye a estas emisiones es Energía con el 97.2% (para el sector Energía corresponden al consumo y quema de combustibles fósiles en la industria, transporte, comercial y residencial), seguido de Desechos con el 2.6%. Es

necesario mencionar que esta estimación realizada por el H. Ayuntamiento de Toluca, sólo toma 3 de los 5 sectores propuestos por el IPCC.

Cuadro 2.4 Emisiones de CO₂ eq. por categoría

Categoría	Gg CO₂ eq
Energía	4,208.6
Procesos Industriales	No calculado
Agricultura	8.28
USCUSyS	No calculado
Desechos	111.8
Total	4,208.6

Fuente: H. Ayuntamiento de Toluca (Plan de acción Climática Municipal), 2013b.

En cuanto a las emisiones de CO₂ fueron de 4, 169,912.49 tCO₂ eq, cabe destacar que esta estimación solo corresponde al sector Energía, siendo la industria manufacturera la principal fuente de emisión.

Cuadro 2.5 Emisiones de CO₂ por categoría en sector energía

Categoría/Subcategoría	CO₂ (TON/AÑO)
Industria Manufactura	2,228,764.73
Transporte	1,516,259.83
Residencial	218,564.46
Comercial y Servicios	206,323.48
Total	4,169,912.49

Fuente: H. Ayuntamiento de Toluca (Plan de acción Climática Municipal), 2013b.

En el cuadro 2.6 se muestra la cantidad de cada GEI estimado, siendo el principal el CO₂, en lo que respecta a éste la industria es la principal fuente debido a las industrias asentadas en el territorio municipal, seguido del sector transporte, esto debido al aumento del parque vehicular.

Cuadro 2.6 Principales fuentes contaminantes GEI en Toluca

Fuente	Gg CO ₂ eq	GEI	Fuente	GG CO ₂ eq	GEI
Manufactura e industria	2,228.765	CO ₂	Suelos agrícolas	1.596	N ₂ O
Transporte	1,516.260	CO ₂	Transporte	1.480	CH ₄
Residencial	218.564	CO ₂	Fermentación entérica	1.466	N ₂ O
Comercial	206.323	CO ₂	Manufactura e industria	1.337	CH ₄
Aguas Residuales municipales	90.460	CH ₄	Residencial	.727	CH ₄
Transporte	30.692	N ₂ O	Residencial	.644	N ₂ O
Excretas humanas	21.311	N ₂ O	Comercial	.348	CH ₄
Fermentación entérica	5.215	CH ₄	Comercial	.110	N ₂ O
Manufactura e industria	3.413	N ₂ O			

Fuente: H. Ayuntamiento de Toluca (Plan de acción Climática Municipal), 2013.

Información acerca de las emisiones de GEI para la Ciudad de Toluca no existe, sin embargo al ser la cabecera municipal y como fuente de actividades, comercio y servicio y al ser la localidad que alberga casi el 60% de la población total del municipio, se puede inferir que la mayoría de los GEI reportados a nivel municipal provienen de la capital, es decir, de Toluca de Lerdo, además de considerar el impacto sobre estas emisiones por el corredor Industrial, el número de vehículos automotores en circulación, las actividades cotidianas de la población que implican el traslado, los desechos, consumo energético y el cambio de uso de suelo por la demanda de espacios para habitar implican una cantidad de emisión importante.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PARQUE METROPOLITANO BICENTENARIO

El Parque Metropolitano Bicentenario se encuentra al sur de la ciudad de Toluca, en la Av. B. Juárez, esquina con P. Tollocan en la Colonia Universidad. El PMB fue inaugurado en el año 2011 y formó parte de las obras conmemorativas del bicentenario de la independencia de México.

La superficie que correspondía a la Zona Militar, era de 22.5 ha, sin embargo sólo 19.69 ha se destinaron para conformar este parque. En Marzo del 2017 se decretó al PMB como un área natural protegida estatal con categoría de parque urbano, reconociéndose su importancia ambiental y su ubicación estratégica como brindador de servicios ambientales a la población de la ciudad (Gaceta del Gobierno del Estado de México, 2017).

El objetivo general del PMB se refiere a incorporar a la zona urbana el predio de la Zona Militar, mejorando con ello las condiciones de habitabilidad en la ciudad, creando un espacio de reserva ambiental. En el año 2014 registró 1 169,160 visitantes (Administración del PMB, 2015 en Velázquez, 2016).

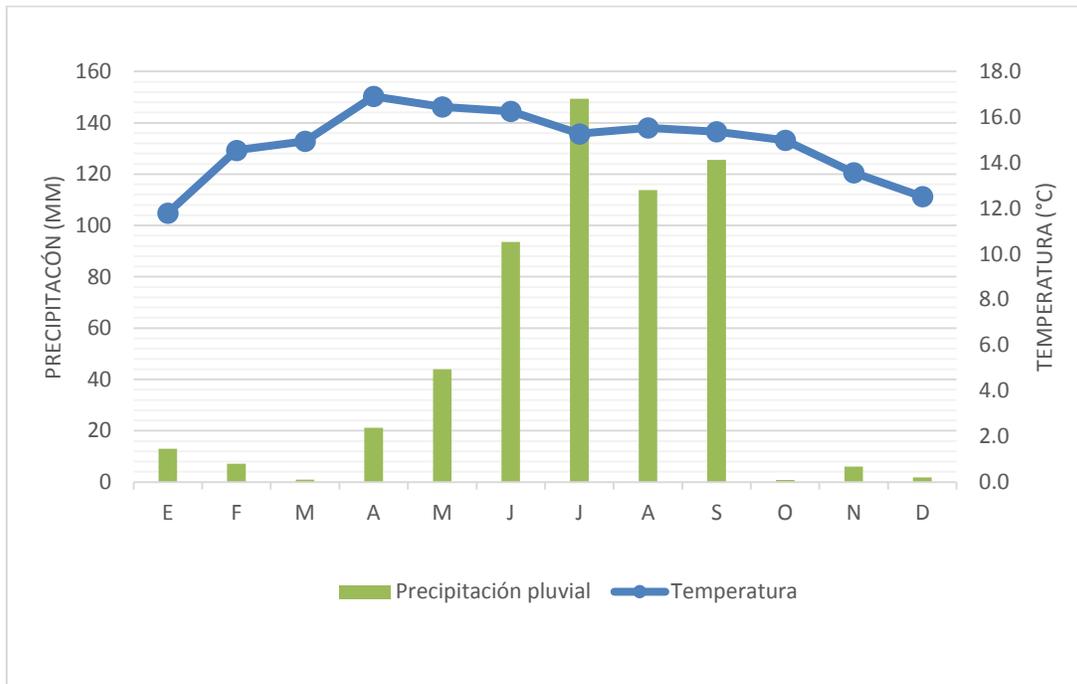
2.2.1 CLIMA Y PRECIPITACIÓN

Para conocer la temperatura y precipitación aproximada en el PMB se tomaron los datos de la estación climática de la Facultad de Planeación Urbana y Regional [FaPUR], por ser la estación más cercana. Se consideraron los datos del año 2013. En este sentido, la temperatura media anual fue de 14.8°C, mientras que la precipitación total anual fue de 577.4 mm.

La temperatura media anual es más elevada comparada con la media anual de la ciudad, que según Morales et al. (2007) es de 12.9°C, esta diferencia puede ser explicada debido a que esta temperatura es producto de los datos que arrojan las distintas estaciones distribuidas en la ciudad, mismas que poseen condiciones

biofísicas y de urbanización distintas, sin embargo, los datos de la estación FaPUR representan únicamente los valores de una zona completamente urbana.

Gráfica 2.5 Climograma del Parque Metropolitano Bicentenario



Fuente: Elaboración propia con base en datos diarios de la estación Meteorológica FaPUR, 2013.

2.2.2 VEGETACIÓN

En cuanto a la vegetación del parque se encuentran diversas especies, sin embargo la especie dominante es cedro blanco (*cupressus lusitánica*), pues ésta ocupa la mayor extensión dentro del área forestal del parque. Estos árboles son de gran tamaño y edad.

Pinnus es el género que conforma la zona reforestada del parque, en su mayoría son árboles que rebasan los 15 cm de diámetro. Algunas especies importantes son los sauces, eucaliptos y los árboles frutales, entre los que destacan pera, durazno y ciruelo.

Figura 2.9 Características del cedro blanco (*cupressus lusitánica*)



Fuente: CONABIO, 2012.

2.2.3 INSTALACIONES

Como se puede observar en la figura 2.10 la mayor parte de las instalaciones de la Zona militar fueron conservadas. La parte forestal que había en la Zona Militar ha sido conservada, lo que puede explicar la edad y el tamaño de la mayoría de los árboles. La superficie actual del lago artificial, era destinada como cancha. Mientras que la zona reforestada estuvo ocupada por construcciones.

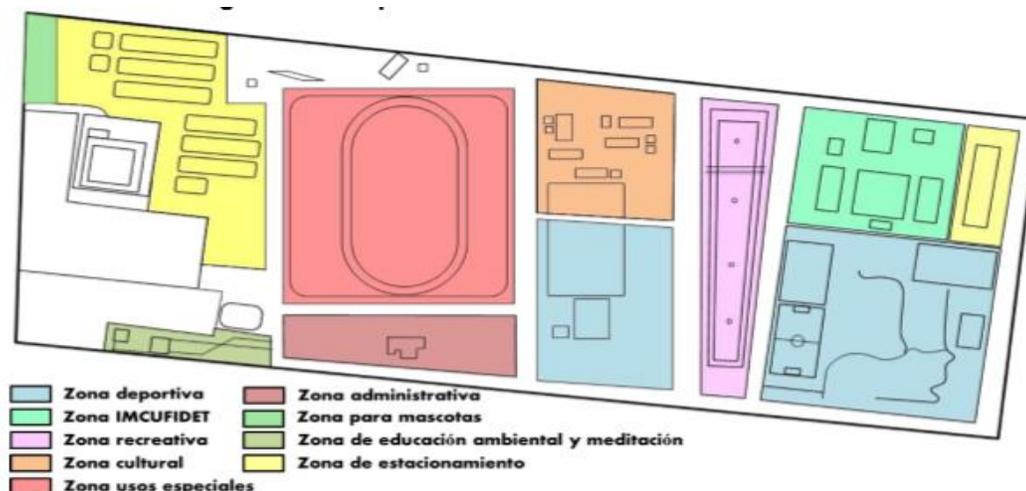
Figura 2.10 Zona Militar Toluca en el año 2003 y Parque Metropolitano Bicentenario 2016 (respectivamente)



Fuente: Google Earth, 2003 y 2016.

El parque cuenta con un amplio mosaico de instalaciones entre las que destacan estacionamiento, canchas de cemento y de pasto, zona de juegos, ciclopista, edificios que funcionan como oficinas y salones en donde se imparten diversos talleres, además cuenta con un lago artificial. En la figura 2.11 se muestran las instalaciones actuales del PMB, de acuerdo a la administración del parque.

Figura 2.11 Croquis de ubicación de las zonas del PMB



Fuente: Administración del PMB, 2014 en Velázquez, 2016.

En cuanto a la superficie de las instalaciones del parque, fueron obtenidas mediante la digitalización de cada entidad en Arc Map 10.4.1 y mediante una imagen de Google Earth 2016. Las instalaciones y su superficie se muestran en el cuadro 2.7, mismos que se pueden apreciar gráficamente en la figura 2.12.

Cuadro 2.7 Superficie de las instalaciones y usos

Uso/Instalación	Superficie (hectáreas)	Uso/Instalación	Superficie (hectáreas)
Andadores y caminos	2.36	Zona con material impermeable (zona de juegos y canchas)	.40
Estacionamiento	1.83	Zona descubierta (jardín)	4.69

Edificios	.61	Zona arbolada	7.32
Lago artificial	.68	Zona arbolada reforestada	0.74
Zona cementada (chanchas)	1.06	Total (hectáreas)	19.69

Fuente: Elaboración propia con base en digitalización.

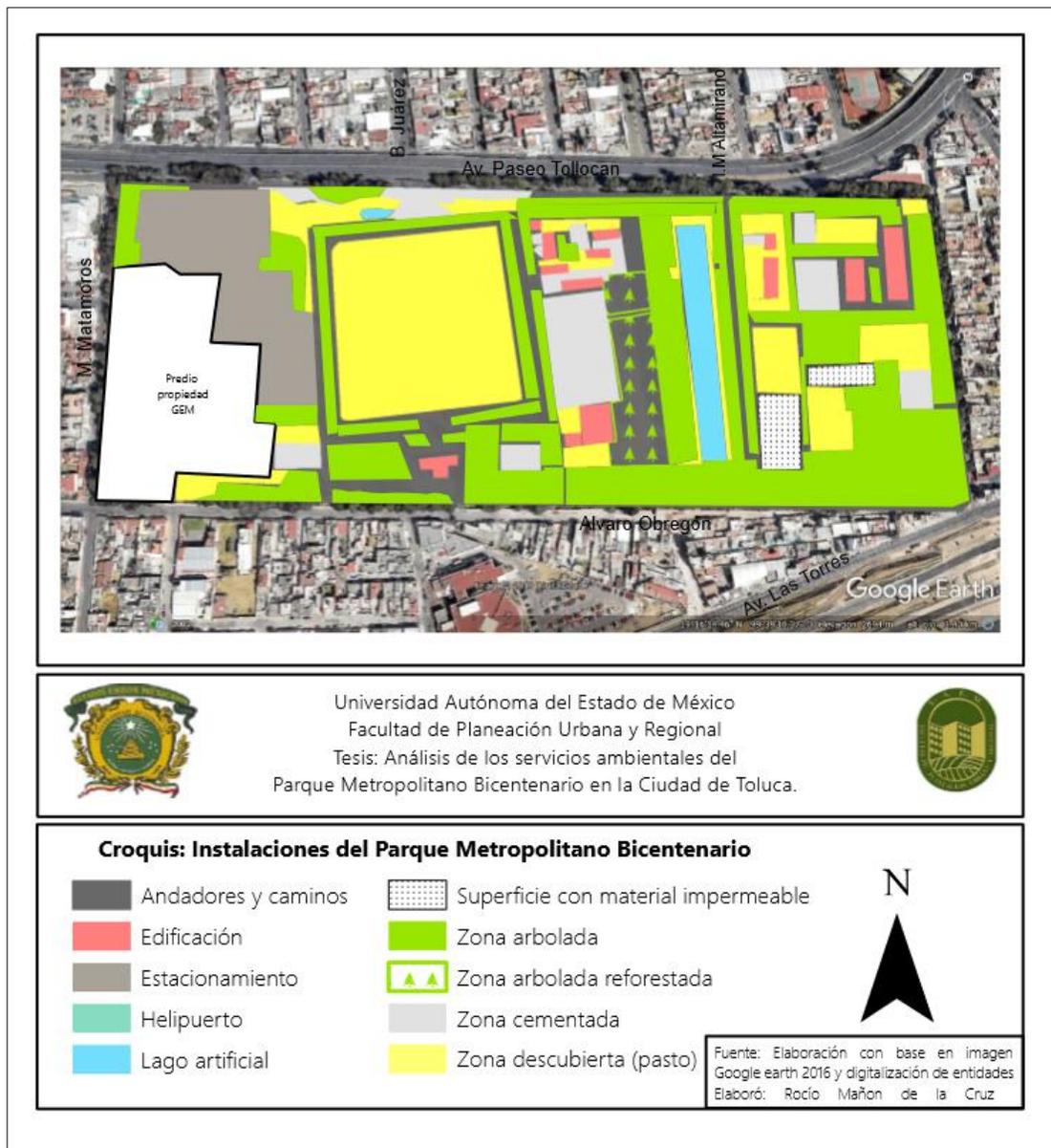


Figura 2.12: Croquis Instalaciones del Parque Metropolitano Bicentenario. Fuente: Elaboración propia con base en imagen Google Earth, 2016.

EPÍLOGO

En este capítulo se presentó la contextualización y caracterización de la Ciudad de Toluca de Lerdo y el Parque Metropolitano Bicentenario, además fueron abordadas algunas problemáticas ambientales importantes en la ciudad.

A través de la caracterización de Toluca de Lerdo se demuestra la importancia de la ciudad, primero por ser la ciudad más importante de la zona metropolitana del Valle de Toluca, segundo, por la importancia en desarrollo industrial que ha ido adquiriendo al contar con diversos parques industriales, centros de comercio y servicios y tercero por la cercanía que tiene con la capital del país, lo que se traduce en un acelerado crecimiento demográfico que impacta directamente en el uso indiscriminado de los recursos suelo y agua, por mencionar algunos.

Las condiciones biofísicas y los ecosistemas que ocuparon gran extensión en la ciudad, se han visto amenazados por el constante crecimiento poblacional e industrial, que han permitido que casi la totalidad de la ciudad haya sellado sus suelos, perdiendo vegetación y fauna lo que trae consigo la disminución de la calidad de los servicios ambientales.

Debido a ello, el PMB en la ciudad se ha convertido en un elemento fundamental no solo en el aspecto de ocio y recreación sino como una estrategia ambiental clave. A pesar de tener pocos años de creación, su importancia se ve reflejada en el número de usuarios por año, que fue de 1, 169,160 visitantes para el año 2014. Las características biofísicas del parque, así como su extensión se convierten en la posibilidad de ofrecer servicios ambientales a la población de la ciudad.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS

RESULTADOS

3.1 RESULTADOS

3.1.1 INFILTRACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES

A través del trabajo de campo se obtuvieron los valores de velocidad de infiltración por cada sitio de lectura, además otros valores que permitieron describir a cada uno de los sitios, algunas características obtenidas fueron las siguientes:

DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LOS SITIOS DE LECTURA

SITIO 1

Las características físicas corresponden a un sitio con cobertura vegetal herbácea (pasto), aparentemente en buenas condiciones, no obstante debido a que pertenece al área de cancha y de eventos especiales no contaba con cobertura arbórea ni arbustiva. La profundidad de las raíces de pasto estuvo en un rango de 1.5 cm a 4.5 cm. La humedad promedio tomada en campo fue de 75%, mientras que el pH in situ resultó entre 6.2 – 7.

Fotografía 3.1 Sitio 1



Fuente: Trabajo de campo.

SITIO 2

El sitio 2 mostró vegetación herbácea (pasto) escasa, el sitio correspondía al área arbolada del parque, con árboles predominantemente del género *Pinnus* y *Cupressus*. La profundidad de raíces de pasto fue de entre 0 – 1.5 cm. El pH se encontró entre los valores de 5.8 – 6.2 y la humedad promedio en campo fue de 70%.

Fotografía 3.2 Medición de profundidad de raíces



Fuente: Trabajo de campo.

SITIO 3

El sitio 3 corresponde a un suelo con ausencia de estrato herbáceo y arbustivo, forma parte de una de las áreas arboladas del parque con predominancia de especie *Cupressus lusitánica*, fue el sitio con mayor tiempo de infiltración. El promedio de humedad fue de 40%, con un pH que fue de 6 a 6.8.

Fotografía 3.3 Sitio 3

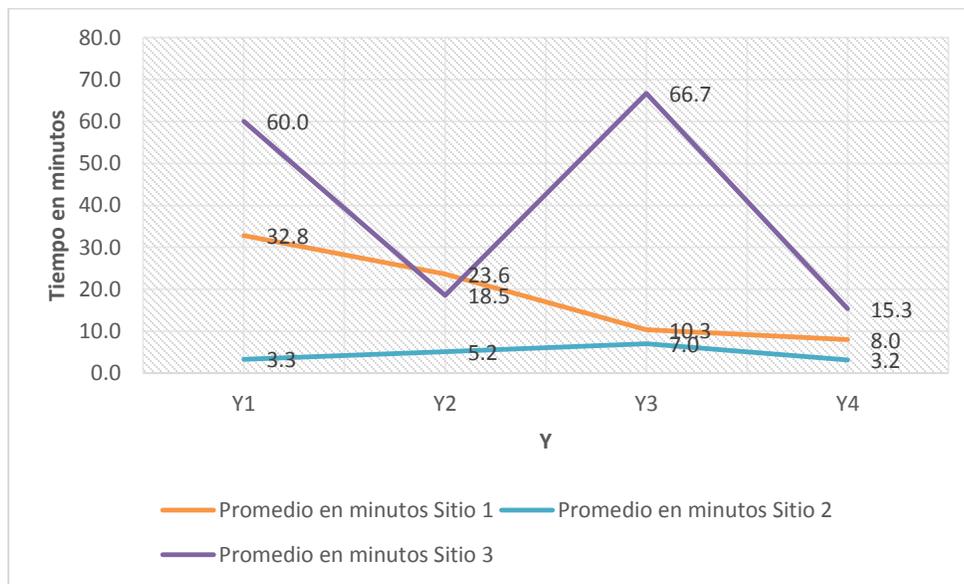
Fotografía 3.4 Infiltración en sitio 3



Fuente: Trabajo de campo.

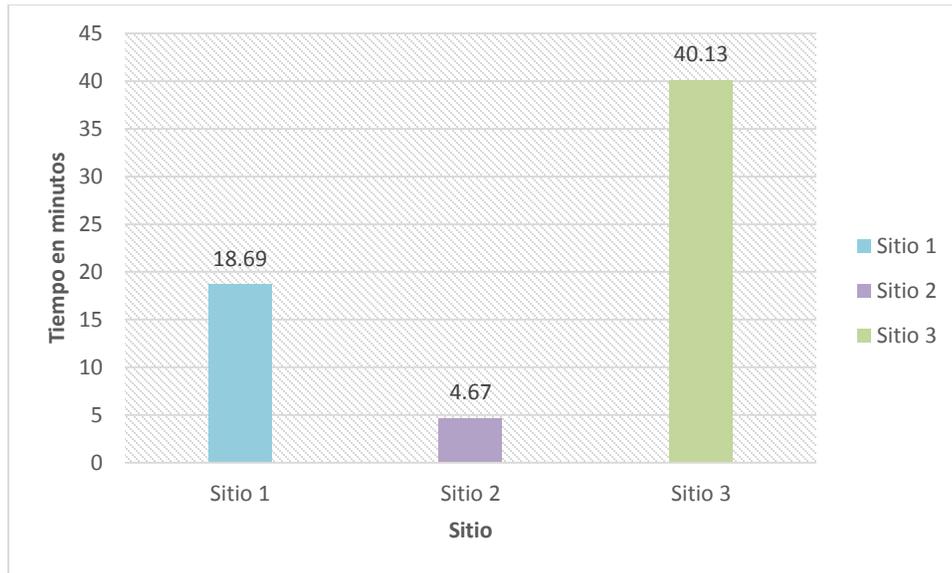
El promedio de velocidad de infiltración para el sitio 1 fue de 18.6 min/500 mL de agua, mientras que para el sitio 2 fue de 4.6 min/ 500 mL de agua, en cuanto al sitio 3, el cual fue el que tardó más en infiltrar y fue de 40.1 min/500 mL de agua, la gráfica 3.1 muestra el comportamiento de cada sitio (Véase Anexo 5: datos por Y).

Gráfica 3.1 Promedio de tiempo en minutos de Y por sitio



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

Gráfica 3.2 Promedio en minutos/500 mL por sitio



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

Figura 3.1 Velocidad de infiltración (minutos) por sitio de lectura

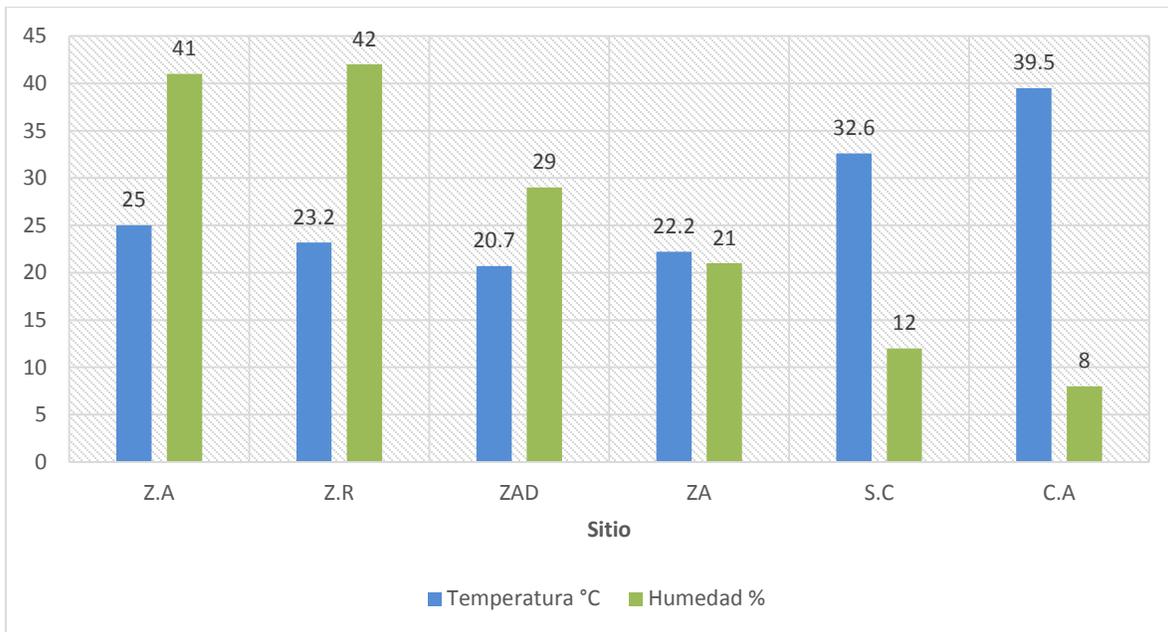


Fuente: Elaboración propia con base Google earth, 2016 y en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

3.1.2 REGULACIÓN DE TEMPERATURA

Se obtuvieron los valores de temperatura y humedad en distintos sitios del parque, como se mostró en la figura 1.9. Los resultados mostraron un comportamiento inverso, a mayor temperatura, menor humedad y viceversa.

Gráfica 3.3 Temperatura y humedad en distintas superficies

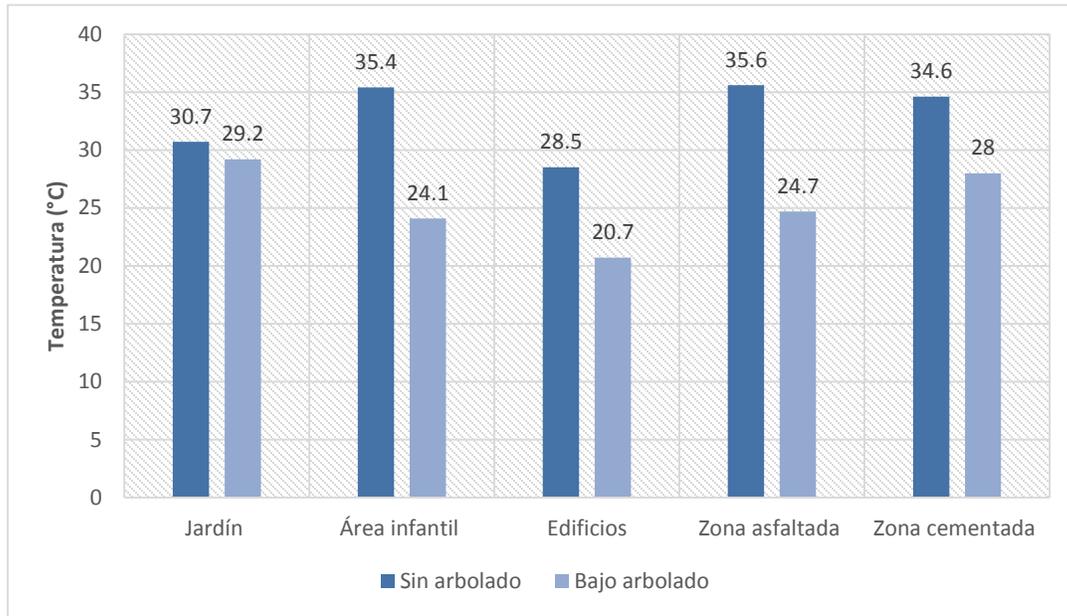


Z.A= Zona arbolada, Z.R= Zona reforestada, Z.A.D = Zona arbolada densa, ZA zona de asfalto dentro del parque, S.C = Superficie cementada (banquetas) (Promedio de datos obtenidos entre Av. Paseo Tollocan, Álvaro Obregón y Mariano Matamoros), C.A= Calles asfaltadas (Promedio de datos obtenidos entre las calles Av. Paseo Tollocan, Álvaro Obregón y Mariano Matamoros).

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

A su vez, se eligieron diversas superficies y materiales dentro del parque, en condición sin arbolado y otro bajo arbolado, que supondría mostrar un cambio en el comportamiento de la temperatura. La temperatura registrada en las distintas superficies bajo las dos condiciones mencionadas se muestran en la gráfica 3.4.

Gráfica 3.4 Temperatura registrada en distintas superficies bajo y sin arbolado



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

En esta gráfica se puede observar que a pesar de naturaleza de la superficie que depende de factores como el material y el color, la presencia del arbolado influye directamente sobre la temperatura registrada, mostrando diferencias que van desde 1.5°C en el caso de la zona de jardín hasta 10.9°C en la zona de asfalto.

También se determinó la humedad de cada uno de los sitios, mostrando el mismo comportamiento que la temperatura, al mostrar en la mayoría de los casos mayor porcentaje de humedad en los sitios con arbolado, desde diferencias de 2 a 9% de humedad. El mayor porcentaje de humedad se registró en los sitios bajo arbolado.

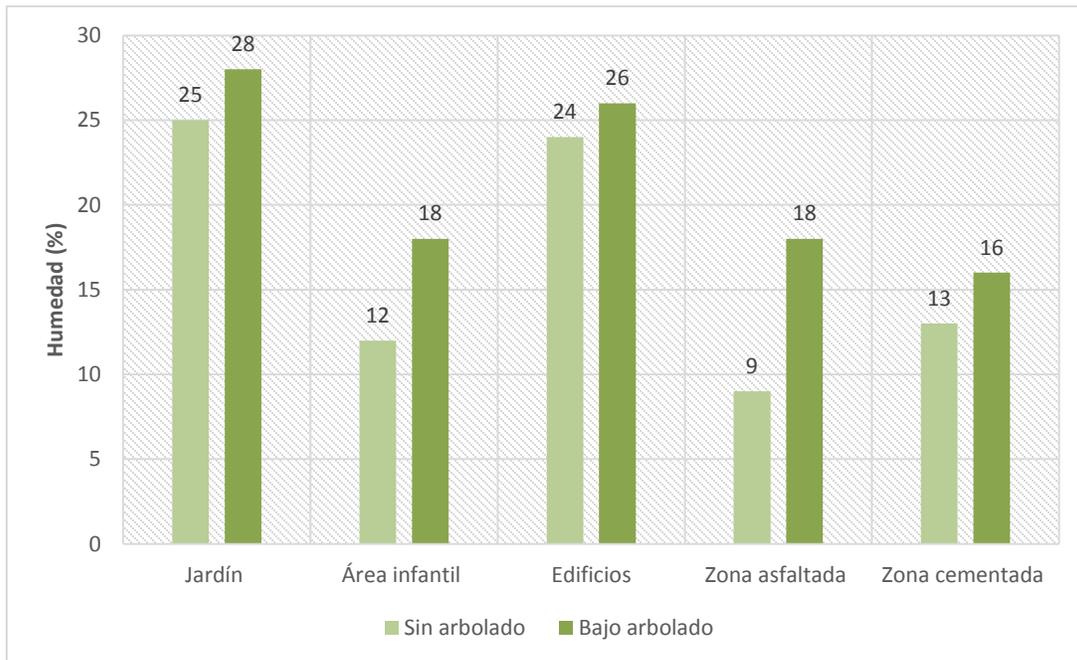
Uno de los casos que guardó mayor diferencia de temperatura y humedad entre ambas condiciones fue en el área infantil, en la fotografía 3.5 se puede observar el material que la constituye, y que representa una diferencia de 11.3°C y una diferencia de humedad de 6%.

Fotografía 3.5 Material del área infantil



Fuente: Trabajo de campo.

Gráfica 3.5 Humedad registrada en distintas superficies bajo y sin arbolado



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

3.1.3 AISLAMIENTO DE RUIDO

En el cuadro 3.1 se muestra la hora, sitio de lectura, y los niveles obtenidos en cada una de ellas, cuya diferencia es de 27.5 dB de las zonas más ruidosas que se originan en la esquina de Av. Paseo Tollocan en comparación con los decibeles obtenidos en el área arbolada del parque.

Cuadro 3.1 Decibeles registrados

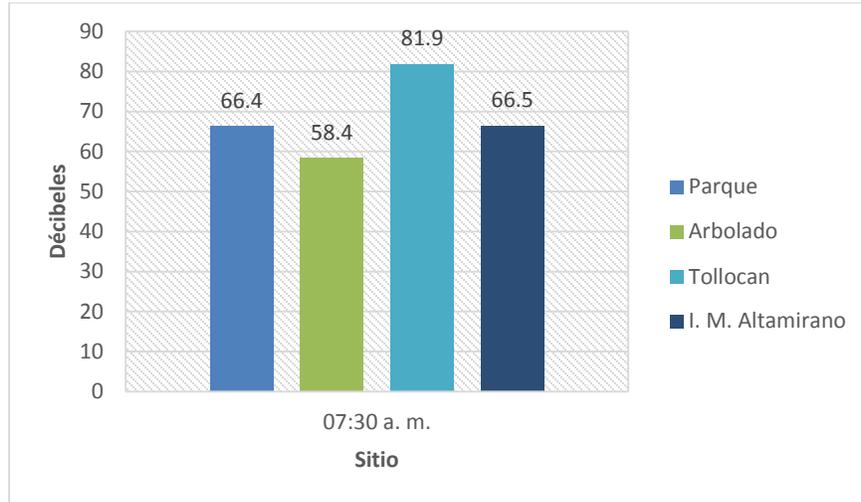
Sitio	Decibeles registrados		
	7:30 a. m.	11:30 a. m.	2:30 p. m.
Parque	66.4	61.7	65.7
Arbolado	58.4	54.4	56.3
P. Tollocan	81.9	70.8	80.2
I.M Altamirano	66.5	66	66.2

Fuente: Elaboración propia con base en datos de trabajo de campo.

En la primera lectura (7:30 am) se puede observar que el sitio de lectura con los niveles más altos se registró en Tollocan, seguido del sitio I.M Altamirano, en los sitios de lectura ubicados dentro del parque los niveles disminuyen, véase gráfica 3.6.

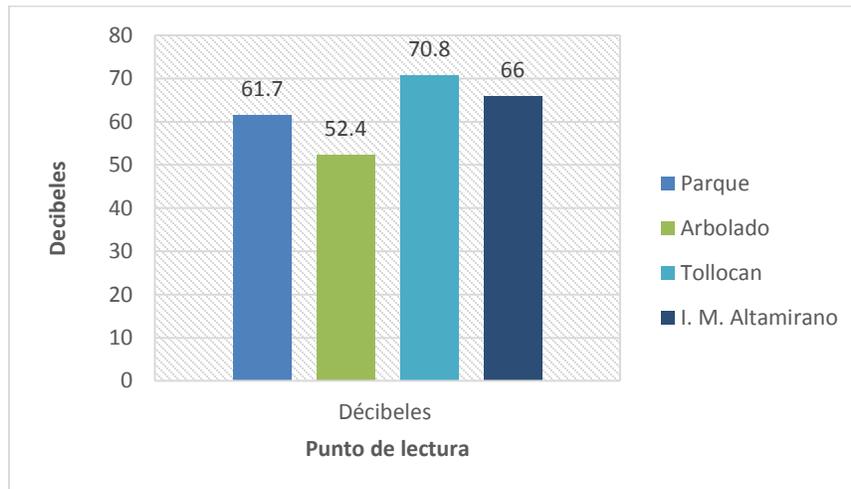
La lectura de las 11:30 am supone una disminución en los niveles de ruido, como lo muestra la gráfica 3.7 los niveles son menores en comparación con los obtenidos en el horario de las 7:30 am. Comparte el comportamiento del primer horario, en la que los valores más altos se encuentran en los puntos Tollocan e I.M Altamirano, en el sitio “Arbolado” registró 54.4 dB, siendo la única medición que se ubica dentro de los límites establecidos por la NOM-081-SEMARNAT.

Gráfica 3.6 Decibeles registrados 7:30 a.m.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de trabajo de campo.

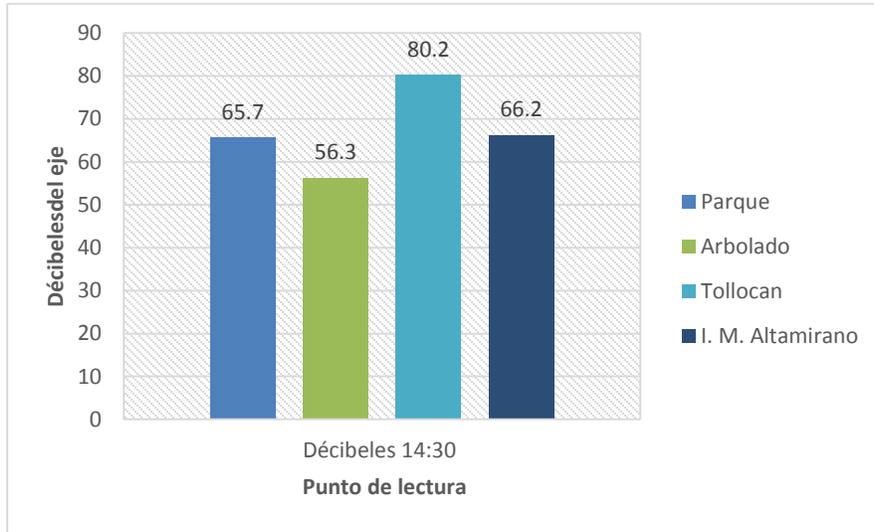
Gráfica 3.7 Decibeles registrados 11:30 a.m.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de trabajo de campo.

El comportamiento de la lectura en el horario de las 2:30 pm, muestra como los niveles vuelven a incrementarse, en donde el sitio Tollocan se establece como el sitio con los mayores niveles de ruido, mientras que el sitio Arbolado se mantiene con menor nivel de ruido.

Gráfica 3.8 Decibeles registrados 2:30 p.m.

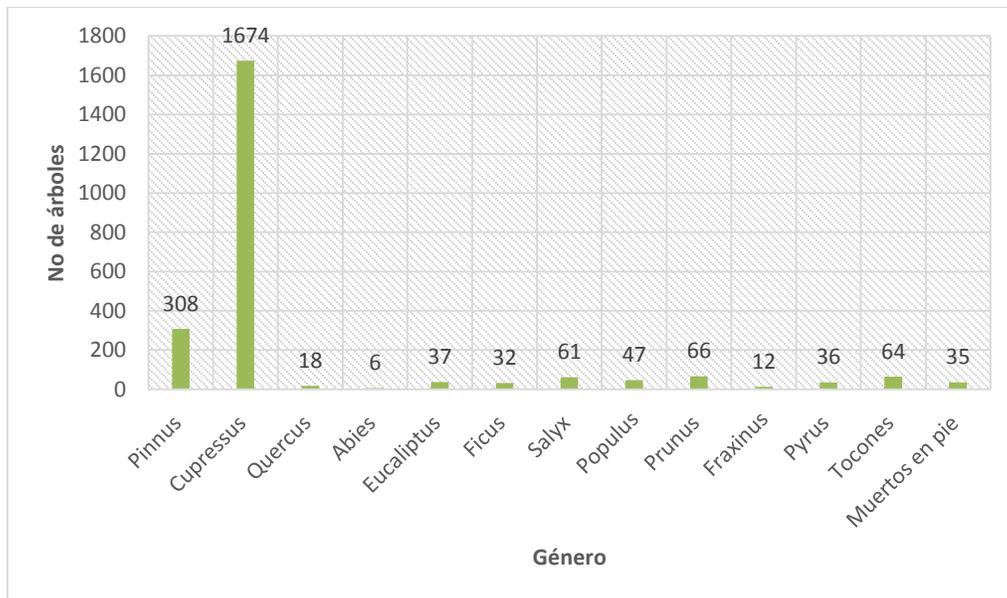


Fuente: Elaboración propia con base en datos de trabajo de campo.

3.1.4 SERVICIO AMBIENTAL: ALMACÉN DE CARBONO

Fueron contabilizados un total de 2,396 árboles de los cuales 2,297 fueron árboles vivos que pertenecen a distintos géneros entre las que destacaron cedros, pinos, eucaliptos y árboles frutales. También fueron considerados los restos maderables, con un total de 64 tocones y 35 árboles muertos en pie. Véase Gráfica 3.9.

Gráfica 3.9 Árboles muestreados

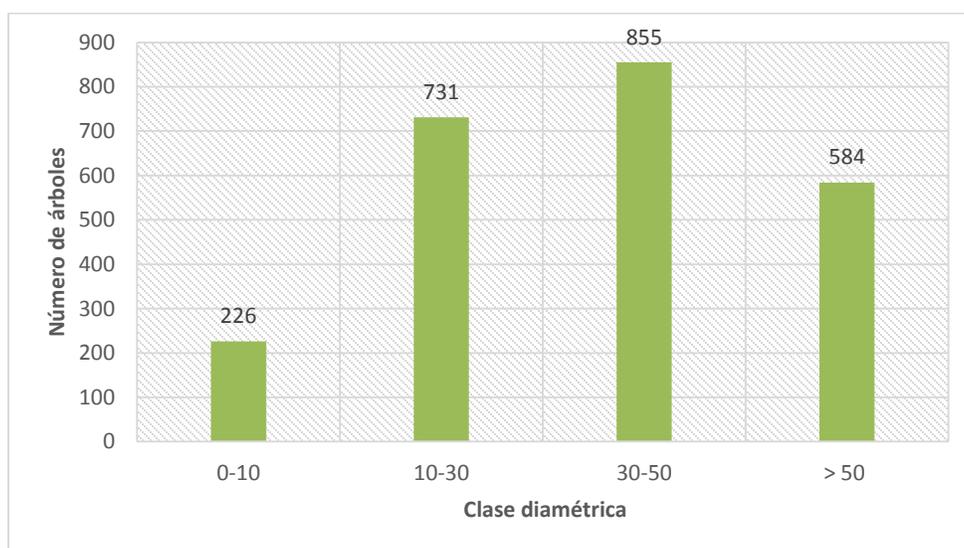


Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

3.1.4.1 DENSIDAD Y ÁREA BASAL

En el gráfica 3.10 se aprecia el Diámetro a la altura del pecho (DAP) del total de individuos muestreados. La categoría de DAP más abundante fue de 30-50, cuya composición versa en árboles del género *Cupressus* cuyos individuos tenían gran altura y circunferencia y que ocuparon un 34.47% de la densidad arbórea total (DAT) y que contribuyeron con el 38.31% del Área Basal Total (ABT). El género *Pinus* muestra una mayor incidencia en la categoría de DAP de 10-30, debido a que estos árboles formaban parte de la zona reforestada, por lo que eran árboles jóvenes en su mayoría. Para datos por género véase Anexo 6.

Gráfica 3.10 Número de árboles y DAP (diámetro a la altura del pecho = 1.30 m)



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

Cuadro 3.2 Densidad de individuos

Árboles vivos	Número de árboles	%	Árboles muertos	Número de árboles	%

0-10	226	9.43	0-10	0	0
10-30	693	28.92	10-30	38	1.59
30-50	826	34.47	30-50	29	1.21
> 50	552	23.04	> 50	32	1.34
Subtotal	2297	95.87	Subtotal	99	4.13
			Total	2396	100

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

En lo que respecta a los intervalos de ABT la categoría de DAP >50 tuvo 584 individuos, que contribuyeron con el 43.34% del ABT del área boscosa del parque. La necromasa tuvo una aportación baja con el 4.8% del ABT y 4.13% de la densidad arbórea total.

Cuadro 3.3 Porcentaje Área basal

DAP (cm)	%
0-10	1.86
10-30	16.49
30-50	38.31
>50	43.34
Total	100

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

3.1.1.2 ALMACÉN DE CARBONO

Del total de árboles contabilizados, se estimó el almacén de carbono para el 90.73% del total de individuos, a través de ecuaciones alométricas adecuadas para cada género. El resto de las especies que corresponden a *Salix babylonica*, *Populus alba*, y los géneros *Fraxinus*, *Pyrus* y *Prunus* no fueron tomados en cuenta para esta estimación debido a que no se contó con una ecuación alométrica adecuada al método utilizado, siendo un total de 222 individuos no tomados en cuenta.

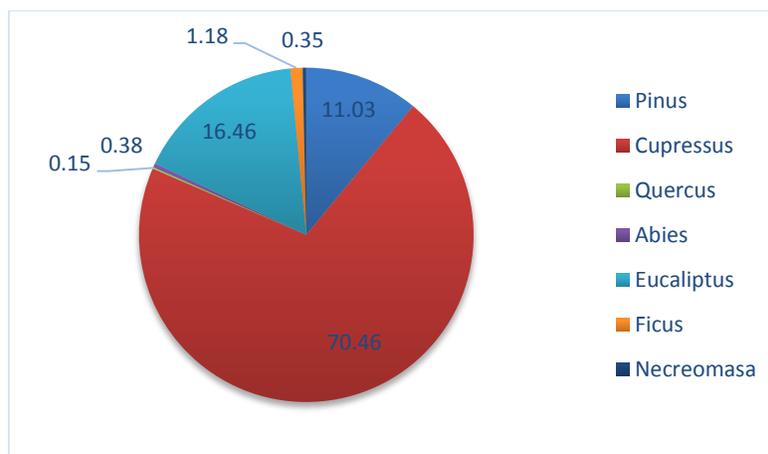
Cuadro 3.4 Carbono almacenado por género arbóreo

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

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

El total de carbono almacenado fue de 517.958 MgC dentro del área arbolada del parque, cuadro 3.4. Del total, los restos maderables aportaron .35% del almacén de carbono. Del porcentaje restante de árboles vivos, *Cupressus* aportó el 70.46% del almacén. Es importante mencionar que *Eucaliptus* tuvo un aporte del 16.46% a pesar de ocupar solamente el 2.43% del ABT (Véase anexo 7).

Gráfica 3.11 Porcentaje de carbono almacenado por genero arbóreo



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1 SERVICIO AMBIENTAL: INFILTRACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES

De acuerdo al cálculo de la superficie de los usos e instalaciones del parque se estimó que el 64.7% corresponde a superficie permeable, es decir, en donde puede haber infiltración, corresponden a la zona forestal y a la zona con estrato herbáceo (jardín), de esta superficie se sectorizó al parque de acuerdo a las características del suelo y a la velocidad estimada de infiltración por sitio que se muestran en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5 Superficie por clase de infiltración

Clases de infiltración (USDA, 1999)	Superficie (ha)	Velocidad de infiltración (min/500ml)
Moderadamente rápido	8.040	4.6
Moderado	4.667	18.6
Moderadamente lento	0.0415	40.1
Total	12.75	-

Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo y cartográfico.

El régimen de infiltración es sensible a condiciones cercanas a la superficie, y está sometida un cambio significativo debido al uso del suelo, el manejo y el tiempo (USDA, 1999).

El sitio con mayor superficie fue el “moderadamente rápido” de acuerdo al manual de la USDA (1999), corresponde a la zona forestal reforestada y a la mayor parte de la zona forestal, la velocidad de infiltración fue de 4.6 min/500 mL de agua, esto puede deberse a que debido al uso forestal que se le otorga a esta superficie se

reduce el uso y algunas prácticas dentro de esta zona que evitan o disminuyen la compactación, sin embargo aunque existía pasto las raíces no eran tan profundas, lo que permitía la infiltración de manera más rápida.

El pH se ubicó en un rango de 5.8 – 6.2 que se puede clasificar como moderadamente ácido, que puede atribuirse a la existencia de materia orgánica, al existir estrato herbáceo y arbóreo provoca la producción de materia orgánica que mejora las condiciones del suelo y posibilita mayor infiltración, además promueve la existencia de fauna edáfica que crea excavaciones o poros por donde el agua infiltra en menor tiempo.

La superficie que correspondió a la clase de infiltración “Moderada” pertenece a las instalaciones o uso de zona descubierta (pasto) o jardín, con una velocidad de infiltración de 18.6 min/500mL y abarca el 36.6% de la superficie permeable. En la velocidad de infiltración interfiere el uso del suelo ya que esta zona es utilizada como campo de entrenamiento para diversos deportes o para los eventos masivos provocando compactación que incide sobre la infiltración. En esta superficie en donde dominaba el pasto con profundidad de raíces de entre 1.5 a 4.5 cm implicó un mayor tiempo de infiltración ya que el amplio sistema radicular del estrato herbáceo abarcaba un área extensa y una profundidad considerable lo que ralentiza la infiltración.

En la superficie “moderadamente lenta” que correspondía a la zona de estrato herbáceo nulo o incipiente y una pequeña parte de la zona forestal con predominancia de la especie *Cupressus lusitánica*, la infiltración fue lenta en comparación con los otros dos sitios, esto puede deberse a que al no existir estrato herbáceo y arbustivo se reduce la posibilidad de que se produzca materia orgánica y fauna edáfica que mejoren la infiltración.

La velocidad de infiltración en este sitio resultó de 40.1 min/500 mL. La infiltración decrece cuando el tamaño o cantidad de espacios poros son aminorados por condiciones tales como destrucción de la estructura, taponamiento de poros por partículas (Donahue et al., 1997). En este sitio se observó un grado de

compactación significativo resultado de cargas aplicadas o presión considerable ya que el suelo carecía de estructura, no existían agregados y puede ser resultado de que esta es una de las zonas más concurridas del parque ya que en ella se encuentran las principales instalaciones deportivas y recreativas.

El resultado de la extrapolación se representa en la figura 3.2.

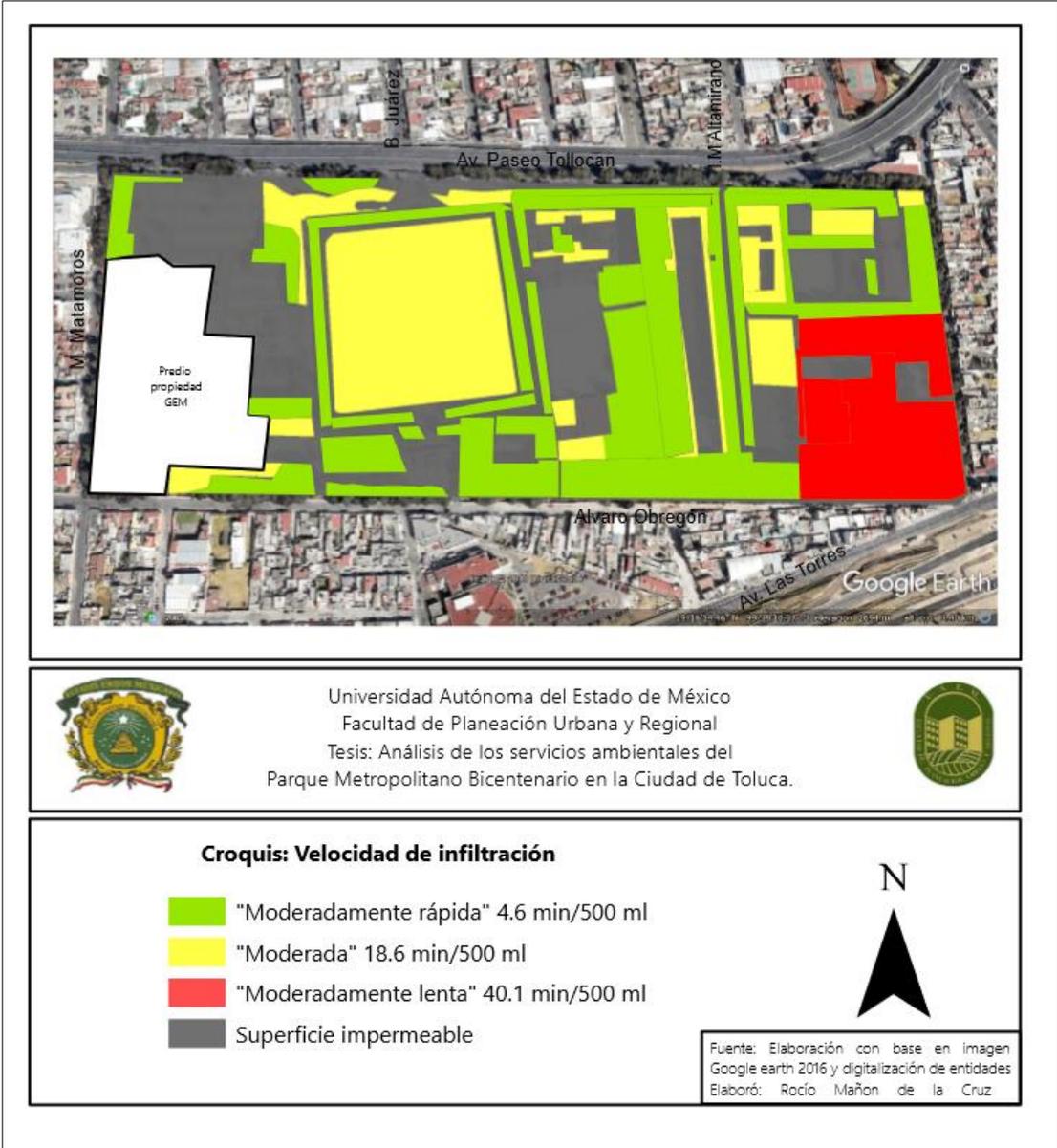


Figura 3.2. Velocidad de infiltración. **Fuente:** Elaboración propia con base en imagen Google Earth 2016 y cálculos derivados del trabajo de campo.

Considerando que la zona en donde se encuentra el PMB está totalmente sellada, el parque aumenta la superficie permeable de la zona, disponible para captación del agua, ayudando a disminuir la escorrentía. De esta forma el parque podría aminorar los efectos de una inundación en las calles inmediatas al parque, sobre todo en el tramo de Paseo Tollocan frente al parque.

Considerando el área permeable del parque, se determina que no puede evitar inundaciones ya que el área es muy pequeña, sin embargo el PMB disminuye la velocidad y el volumen de la escorrentía, disminuyendo encharcamientos y arrastre de basura en las calles aledañas.

Retomando a Hough en Farina (2000) menciona que en las ciudades solo el 32% de la precipitación va a los mantos freáticos, el parque mediante su área permeable posibilita la recarga de mantos acuíferos, en lugar de que esta agua pluvial llegue a la red de drenaje, ya que en las ciudades cerca del 30% del agua precipitada se encauza en los sistemas de drenaje. Además una cantidad considerable de agua de lluvia puede almacenarse también en el lago artificial, mismo que puede ser utilizada para regar la vegetación del parque o para uso en los sanitarios, evitando así el uso de agua potable.

3.2.2 SERVICIO AMBIENTAL: REGULACIÓN DE TEMPERATURA

Las características de la ciudad de Toluca, como el número de habitantes, la superficie que abarcan los techos, los edificios que dificultan el tránsito del viento, aunado a la circulación diaria de miles de autos, ocasionan que la temperatura de la ciudad se eleva. La cobertura vegetal del PMB mostró que a pesar de que cada material y color muestra un comportamiento distinto de temperatura, la presencia de árboles tiene una influencia sobre la temperatura de cada superficie.

Los datos arrojaron que en el interior del parque la temperatura promedio obtenida fue de 22.7°C con humedad promedio del 33%, mientras que en las superficies del exterior del PMB la temperatura promedio fue 13.3°C más alta y la humedad

disminuyó 23% promedio. Lo que refiere a que la vegetación y el suelo amortiguan la temperatura, aumentando la humedad y disminuyendo la sequedad ambiental.

El caso que más guarda diferencia de temperatura y humedad es el del promedio obtenido de las calles con cubierta asfáltica y que mostraron valores de 39.5°C y 8% de humedad, esto debido a que la superficie tiene una alta capacidad de albedo, aunado al calor del escape de los autos (la temperatura del escape oscila entre los 70 y 80° C). Esta energía contribuye a elevar la temperatura ambiente en la ciudad y su periferia, sobre todo cuando existen congestionamientos continuos de automóviles. Sin embargo, en la zona asfaltada dentro del parque la temperatura fue de 35.6°C que puede ser menor debido a que en esta zona no circulan automóviles, la menor temperatura en la superficie asfáltica se registró dentro del parque bajo arbolado, la temperatura fue de 24.7°C, lo que implica 14.8°C menos que en la zona de asfalto del exterior.

Para el caso de la temperatura en los edificios del parque, en un edificio sin arbolado la temperatura fue de 28.5°C, mientras que en los edificios bajo la sombra de los árboles la temperatura fue de 20.7°C, con una diferencia de 7.8°C. De esta situación se suponen dos posibles reacciones, la primera es que en el edificio sin arbolado tenga mayor consumo energético debido al uso de aparatos de aire acondicionado y segundo que supone mayor consumo de bebidas embotelladas generando una mayor cantidad de residuos sólidos, situación distinta a la del edificio bajo arbolado que supone una disminución del consumo energético y menor generación de residuos sólidos como respuesta a una menor temperatura.

En el caso de las superficies cementadas sin arbolado (canchas y banquetas) del parque se registró una temperatura de 34.6°C y 9% de humedad, mientras que en las superficies de cemento bajo arbolado dentro del parque la temperatura resulto de 6.6°C menor y aumento la humedad en un 3%.

Entre la población vulnerable a las altas temperaturas se encuentran los niños, quienes expuestos pueden sufrir malestares o enfermedades como deshidratación, insolación, entre otras. Tomando en cuenta el área recreativa infantil, el nivel de

exposición a las altas temperaturas fue mayor en la zona de juegos sin arbolado que registró una temperatura de 35.2°C y 12% de humedad, indicando una diferencia de 11.3°C y 6% más de humedad entre la zona de juegos bajo arbolado, ante estas diferencias, en este caso, se reduce el riesgo de enfermedades en niños ocasionadas por altas temperaturas en la zona de juegos bajo arbolado.

Los casos anteriores indican que las áreas arboladas son capaces de amortiguar la radiación solar, disminuyendo la temperatura y aumentando la humedad. La temperatura promedio en áreas arboladas resultó de 22.9°C y humedad promedio de 37% mientras que en las superficies asfaltadas y cementadas del exterior registró una temperatura promedio de 36°C y sólo 10% de humedad. Los visitantes del parque se benefician al estar en un ambiente más fresco contribuyendo con el aumento del confort de los visitantes y de manera general contribuye a disminuir la temperatura ambiente del área.

3.2.3 SERVICIO AMBIENTAL: AISLAMIENTO DE RUIDO

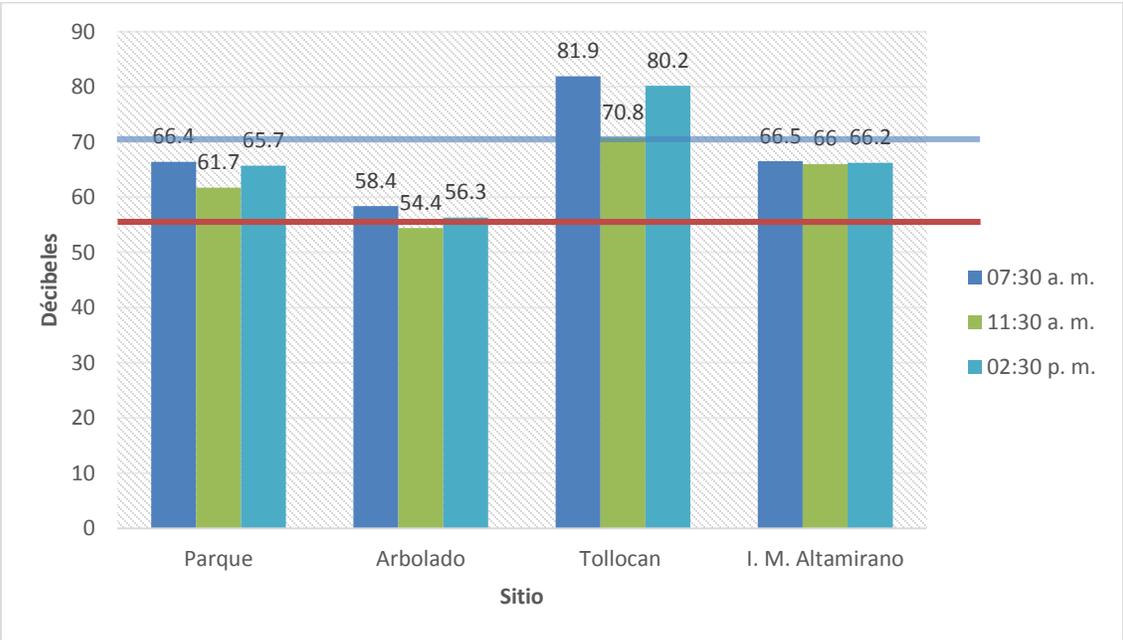
La contaminación acústica es un problema ambiental importante con cada vez mayor presencia en la ciudad de Toluca, debido al desarrollo de actividades industriales, comerciales y de servicios que constituyen fuentes tanto fijas como móviles que generan diferentes tipos de ruido que de acuerdo a su intensidad y frecuencia repercuten no sólo en los seres humanos sino en los seres vivos.

El Parque Metropolitano Bicentenario se encuentra en una zona en donde se desarrollan actividades escolares, comerciales, de servicios y sobre todo vialidades importantes por donde circulan miles de autos cada día. Sin embargo como se ha mencionado la presencia de árboles permite el aislamiento del ruido generado en las principales avenidas como Av. Paseo Tollocan, B. Juárez y Av. Las Torres.

Como se puede observar en la gráfica 3.12, los niveles de ruido son menores en la zona arbolada, en cualquiera de los 3 horarios de lectura, manifestando una diferencia con los niveles más altos de 27.5 dB con respecto a Av. Paseo Tollocan

que registró los valores más altos en cualquiera de los horarios, proveniente principalmente de automóviles, sobrepasando los límites máximos permisibles de la NOM-081-SEMARNAT (cuadro 1.6) considerando la zona “residencial 1” y también los límites recomendados por la OMS de 70 dB para zonas de tráfico (cuadro 1.5).

Gráfica 3.12 Niveles de ruido (dB) registrados



La línea roja representa el límite máximo permisible de 55 dB expuesto en la NOM-081-SEMARNAT. Mientras que la línea azul representa el límite recomendado por la OMS para zonas de tráfico que es de 70 dB.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

El horario de lectura de las 7.30 a.m. fue el que registró niveles más altos de ruido, esto debido a que la mayoría de las actividades en la ciudad comienzan de entre 7 a.m. a 9 a.m. El traslado desde las viviendas a los lugares de trabajo y de escuela implica el uso de automóviles, autobuses, entre otros, lo que genera mayor emisión de ruido. En el punto de Tollocan se registró el valor más alto, puede explicarse debido a que el punto de lectura fue cerca de un semáforo, por lo que el “cuello de botella” incidió en los decibeles registrados, ya que en I.M Altamirano esquina P.

Tollocan los niveles son menores debido a que el flujo de autos en este punto es constante.

En el horario de 11:30 a.m. los niveles descienden, debido a que en este horario no se llevan a cabo actividades que generen niveles altos de ruido, esto permite que en la zona arbolada se registren 54.4 dB posicionándose dentro del límite máximo permisible. A las 2:30 p.m. las actividades de traslado, que incluyen el ir y venir de un lugar a otro, generan conflictos en las avenidas principales, los niveles más altos se registraron en Tollocan, mientras que el más bajo se registra en el arbolado.

Las lecturas de ruido dentro y fuera del PMB caracterizaron al punto P. Tollocan (calle muy transitada) como el que registró mayores niveles, con un promedio de 77.6 dB, el punto I.M. Altamirano (moderadamente transitada) 66.2 dB promedio, por lo que en el interior del parque el aislamiento es de hasta 13 dB, registrando 64.6 dB promedio, no obstante en la zona arbolada se registraron 56.3 dB promedio, lo que indica que la vegetación y el suelo son capaces de aislar entre 13 a 21 dB promedio. En general los niveles de ruido rebasan los límites máximos de la NOM-081 y también los recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Este servicio ambiental beneficia principalmente a los usuarios del parque de dos formas, la primera aislando el ruido generado en el exterior mediante las hojas y ramas que reducen el ruido además del que el suelo absorbe, y la segunda es mediante el cambio de la percepción de los niveles de ruido que realmente los individuos están escuchando, debido al bloqueo visual del origen del ruido.

3.2.4 SERVICIO AMBIENTAL: ALMACÉN DE CARBONO

El área arbolada del Parque Metropolitano Bicentenario está constituida por individuos inducidos que reciben acciones de saneamiento como podas y derribos que pueden intuirse por los tocones encontrados. El género con mayor importancia fue *Cupressus*, individuos que han sido conservados desde que el área del parque perteneció a la Zona Militar de Toluca. La especie *Cupressus lusitánica* (cedro

blanco) presenta un nivel de cobertura alto debido al tamaño; altura y diámetro que presentan con respecto al resto de las especies.

Algunas especies de árboles encontradas son especies exóticas, tal es el caso de *Eucalyptus Camaldulensis* (eucalipto rojo) y *Eucalyptus globulus* (eucalipto azul) y que la gran altura y diámetro de estas especies imposibilitan o dificultan el crecimiento de otras especies, árboles de origen australiano, lo mismo sucede con *Ficus benjamina* (laurel de la India), *Cupressus sempervirens* (ciprés), *Salix babilónica* (sauce llorón), *Populus alba* (álamo blanco) de origen asiático.

Por otra parte se encontró que el 95.87% de los árboles mostraban un buen aspecto físico sin embargo, el 4.13% de los árboles muertos en pie y tocones pertenecían a la especie *Cupressus lusitánica*, en este aspecto se ve la necesidad de derribar los árboles muertos ya que representan riesgo para los visitantes, en caso de fuertes precipitaciones o vientos podrían ocasionar la caída de ramas y troncos.

En cuanto a las categorías de DAP, se utilizaron como indicador de la edad de los árboles, por lo que de manera general se determina que el 9% de los árboles vivos se pueden clasificar como brínzales ya que su diámetro no rebasa los 10 cm de DAP, el 31% se encuentran en una etapa joven, el 36% en una etapa madura y el 24% de los árboles se encuentra en una etapa senil, en el último caso se determina que deben ser renovados, ya que se ven comprometidos los servicios ambientales, pues al envejecer los árboles disminuye la capacidad de absorción y fijación de carbono atmosférico y actúan como fuentes de emisión de carbono.

Dentro de un sistema forestal la densidad arbórea es una característica fundamental que hay que considerar, ya que a partir de esto se identifica el proceso de desarrollo de los árboles. Además, la distribución adecuada de estos individuos les permite tener mayor capacidad para obtener nutrientes, retención de agua y la posibilidad de que los rayos del sol tengan mayor incidencia sobre ellos y que no exista una fuerte competencia para obtener estos recursos (Hernández, 2015).

En cuanto a la densidad arbórea, considerando un total de 2, 396 árboles entre el área total arbolada del parque estimada de 8.04 hectáreas, se puede decir que en 1 hectárea hay 298 árboles, lo que implica que cada árbol tiene 33.6 m² suponiendo que las condiciones del área forestal sean homogéneas. Lo que indica que el área que tiene cada árbol se encuentra dentro del área recomendada por la Norma técnica estatal ambiental NTEA-015-SMA-DS-2012⁶ (2013), que menciona que cada árbol debe tener un área mínima de 4.8 m² para garantizar el desarrollo adecuado. Esta situación conlleva que se pueda garantizar que en el área arbolada del parque puedan desarrollarse otros estratos importantes como el herbáceo y arbustivo o desarrollarse algunos otros árboles de altura menor, para mejorar la calidad ambiental y por ende los servicios ambientales.

Existen diversas características que influyen en la capacidad de almacenamiento de carbono. Al analizar el comportamiento del género *Pinnus*; el carbono almacenado es mayor que la biomasa, siendo el único caso y esto puede explicarse a que los árboles jóvenes del parque de entre 15 y 20 cm de DAP corresponden a este género, no obstante la capacidad de almacenamiento de carbono es la más alta de entre las demás especies, ya que estos desarrollan mayor actividad fotosintética a través de la cual fijan CO₂ atmosférico necesario para su crecimiento y liberan oxígeno, lo que explica que a pesar de ser árboles jóvenes la cantidad de carbono almacenado sea considerable.

El género que más almacenó carbono fue *Cupressus*, que destaca por el número de individuos, teniendo la mayor cantidad de carbono almacenado y biomasa, aunado al número de árboles, se encuentran las características de área basal, ya que debido al gran tamaño de los árboles ocupan un área considerable en la superficie arbolada y por lo tanto la cantidad de carbono almacenado sea mayor.

Acerca del almacén de carbono que fue de 517.958 MgC, entre las hectáreas de área forestal del parque, se determina que el carbono almacenado es de 64.42

⁶ Esta norma 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.

MgCha⁻¹. Este resultado obtenido puede ser comparado con otras investigaciones en bosques urbanos y áreas verdes urbanas para determinar si el carbono almacenado es una cantidad considerable.

Mijangos (2015) realizó una estimación del almacén de carbono en el Bosque San Juan de Aragón en la Ciudad de México, como resultado obtuvo que en las 5.85 ha muestreadas el contenido de carbono fue de 308.54 MgC, mientras que Sánchez (2007) realizó una estimación en el parque Guadiana en Durango, con una superficie de 39.28 ha cuyo almacén de carbono correspondió a 2,338.68 MgC, ambos consideraron solo la vegetación arbórea.

En el cuadro 3.6 se encuentran los resultados de algunos trabajos que estimaron el contenido de carbono en parques y bosques urbanos, cabe descartar que algunos de ellos fueron realizados en espacios ocupados por vialidades y jardines.

Cuadro 3.6 Estimación del contenido de carbono por hectárea en diferentes áreas verdes

Autor	Año	Sitio	País	Contenido de carbono (MgCha-1)
Este estudio	2016	Toluca	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

McPherson	1998	Sacramento	Estados Unidos	31
------------------	------	------------	----------------	----

Fuente: Elaboración con base en Mijangos, 2015

Observando el cuadro anterior con detenimiento, se puede encontrar que la cantidad de carbono almacenado por la vegetación arbórea del PMB es superior al contenido de carbono registrado en los trabajos antes mencionados. Esto puede ser debido a que el 60% de los árboles se encontraron en la clase diamétrica de 30 a 50 y >50 lo que implica mayor biomasa y una cantidad considerable de carbono almacenado.

Considerando que en el cuadro anterior se presenta el carbono almacenado en distintas áreas verdes de diversos países, no se toma en cuenta las discrepancias entre el clima, el tipo de vegetación y la metodología utilizada, por lo que no se podría hacer una comparación certera, debido estas diferencias.

Sin embargo, si se puede realizar una comparación entre el trabajo de Mijangos (2015) con los resultados de este trabajo, ya que la metodología utilizada correspondió a ecuaciones alométricas en ambos trabajos, las condiciones del Bosque San Juan de Aragón en la Ciudad de México, como el clima y precipitación son similares a las del Parque Metropolitano Bicentenario y entre las principales especies consideradas se encuentra *Eucalyptus camaldulensis* y *Cupressus lusitánica*, aunado al estado de los árboles en cuanto a altura, estratos y diámetro se puede determinar que la vegetación arbórea del PMB almacena una mayor y considerable cantidad de carbono.

El dióxido de carbono es el gas más significativo del efecto invernadero y por consiguiente contribuye al cambio climático, por lo que su mitigación es de suma importancia, no sólo a nivel local. Los datos presentados demuestran la importancia de la vegetación del parque, ya que mediante la fotosíntesis capturan este gas. La captura de carbono de la vegetación del parque tiene un impacto que no se puede delimitar en espacio pues contribuye de manera general a la mitigación del CO₂.

EPÍLOGO

Se presentaron los resultados obtenidos y se hizo un análisis específico de los resultados que conllevan a la particularidad de traducir los datos en servicios ambientales. A través de la información interpretada se pudieron construir gráficas y mapas que permitieran representar los datos de manera gráfica.

Junto con ello, se buscó la relación o asociación entre los datos con el estado del área verde y de las características de la ciudad derivadas del capítulo 2, con los resultados obtenidos. El patrón de análisis consistió en el establecimiento de la interrelación entre las actividades y características del parque y su impacto en la calidad de los parámetros que fueron utilizados, para determinar los servicios ambientales y su funcionalidad.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La situación geográfica de la Ciudad de Toluca, situada en un valle, rodeada por cadenas montañosas, exacerba la contaminación atmosférica al verse reducida la dispersión de los contaminantes. Las actividades y procesos industriales, los procesos derivados del cambio de uso de suelo y la urbanización están generando grandes cantidades de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos que generan impactos negativos a los ecosistemas que aún quedan en la ciudad disminuyendo los servicios ambientales para los habitantes.

Las características propias de la ciudad promueven el cambio de uso de uso forestal y/o agrícola al urbano, perdiendo la masa forestal y la vegetación que pudo haber prestado servicios ambientales importantes a la ciudad, en contraparte y como medida las áreas verdes urbanas sustituyen a los bosques, cuyos servicios no tienen el mismo alcance pero si generan servicios ambientales.

El Parque Metropolitano Bicentenario ofrece diversos servicios ambientales dentro del ambiente urbano en el que se encuentra. Considerando la superficie de suelos sellados en la ciudad, el PMB aumenta la superficie permeable en la zona y tiene la capacidad de infiltrar un volumen considerable de agua pluvial, pudiendo aminorar los daños ocasionados por inundaciones en la zona, ya que disminuye la velocidad y el volumen de la escorrentía, al infiltrar el agua pluvial parte de ella es de nuevo devuelta por medio de la evapotranspiración o es filtrada para la recarga de mantos acuíferos. En las calles inmediatas al parque disminuye el escurrimiento y disminuye los efectos de los encharcamientos y arrastre de basura sobre todo en P. Tollocan.

La temperatura es una de las variables más sensibles ante el proceso de urbanización de la ciudad, debido a los materiales que se encuentran en ella y a las edificaciones que hacen que la temperatura se eleve. Uno de los beneficios más importantes de la vegetación es su impacto en el clima, el arbolado y la vegetación permite aminorar las temperaturas cálidas, conservar humedad y disminuir la sensación de calor seco.

En el interior del parque, las instalaciones bajo arbolado registraron como promedio 25.3°C y 21% mientras que en las mismas superficies con ausencia de arbolado la temperatura promedio se elevó a 32.9°C y 16% de humedad. Ante estas cifras se pueden identificar dos implicaciones, la primera, es el efecto directo que tiene sobre el confort humano, ya que la vegetación influye sobre el grado de radiación solar, el movimiento del viento, la humedad, la temperatura del aire que perciben los visitantes del parque y el segundo sobre la energía utilizada en los edificios del parque, ya que supone una disminución del uso de aire acondicionado y la disminución de producción de residuos sólidos.

El aumento del parque vehicular en la ciudad, generan niveles altos de ruido, que pueden ocasionar daños a la salud, sin embargo con este trabajo se pudo notar que el aislamiento de ruido entre las avenidas transitadas y el área arbolada es del orden de 13 a 21 dB promedio, en la mayoría de los casos los niveles registrados rebasan los límites máximos permisibles de la NOM-081 y también los niveles recomendados por la OMS. Los datos indican que la vegetación y el suelo del PMB actúan como barreras aislando o amortiguando el ruido generado en las principales vialidades del exterior, con ello los visitantes del parque son los principales beneficiados, ya que dentro de él, la contaminación acústica es menor y esto tiene una repercusión en el confort del individuo.

Por otra parte, la vegetación del parque tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis, almacenando para el año 2016 un total de 517.958 MgC, lo que se encuentra por encima de las cantidades reportadas por otros trabajos similares en áreas verdes urbanas, con ello se captura uno de los principales GEI generados en la ciudad.

El PMB es un espacio con condiciones favorables para el ofrecimiento de los servicios ambientales en el área urbana en el que se encuentra, permitiendo mediante el arbolado la disminución de la temperatura, la captura de carbono, un aislamiento considerable del ruido además de que aumenta el área disponible para

infiltración de agua pluvial y posibilita la recarga de mantos acuíferos, todos estos servicios benefician el bienestar del visitante y otros de manera general contribuyen a la mejora climática de la zona, además tiene un importante beneficio costo-ambiental ya que reduce el uso de la energía en los edificios del parque. Véase cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Servicios ambientales del PMB

SERVICIOS AMBIENTALES DEL PARQUE METROPOLITANO BICENTENARIO		
<p>Funciona como amortiguador del ruido</p>  <p>Aísla entre 13 a 21 dB promedio del ruido del exterior.</p>	<p>Interviene en el ciclo del agua</p> 	<p>La vegetación libera vapor de agua que refresca el aire y lo humedece. En el interior se conserva entre 12% a 34% más de humedad.</p>
<p>A través de la vegetación fija el CO₂ atmosférico y libera O₂</p> <p>CO₂ → O₂</p> <p>La vegetación arbórea almacenó 64.42 MgCha⁻¹</p>	<p>Crea microclimas, reduciendo la temperatura entre 7.6°C a 18.8°C que aumentan el confort de los visitantes.</p>	<p>Disminuye la velocidad y el volumen de la escorrentía, reduce encharcamientos y arrastre de basura en las calles aledañas.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a través de trabajo de campo.

La ciudad ha afectado fuertemente su entorno natural y la biodiversidad, agotando recursos, materiales y energía, con una mala disposición de los residuos sólidos y vertiendo sus aguas contaminadas en ríos y otras áreas naturales, en numerosos países existen enfoques que intentar revertir, desde la propia ciudad, estos procesos de degradación, considerando a las áreas verdes como espacios de conservación de la biodiversidad.

Considerando que el PMB, decretado como un ANP por su importancia ambiental, se debe promover la mejora de las condiciones del suelo y de la vegetación, características que le permitirían poder establecer un hábitat para distintas especies de animales como aves, reptiles, entre otros y de la vegetación que habita en la ciudad, pudiendo crear un espacio de conservación.

Por otra parte, derivado de la caracterización de las áreas verdes en la ciudad, se establece la necesidad de crear áreas verdes urbanas con una buena distribución, ya que la zona norte y este que pertenece a la zona industrial carece de estas áreas, sobre todo en la zona industrial los beneficios serían muy grandes. En las áreas verdes de la ciudad es necesario realizar una evaluación general del estado y el manejo, para promover el buen funcionamiento ambiental de las áreas, superando el concepto que las estanca solo como elementos estéticos, de ocio, recreación y que adquieran la importancia ambiental que tienen en el ambiente urbano.

La urbanización tiene implicaciones que van más allá de las condiciones demográficas y físicas de la ciudad, también influye sobre los valores socio-culturales, políticos y económicos. Las poblaciones urbanas en su proceso de desarrollo, se desentienden de las problemáticas ambientales y no dimensionan la importancia de los bosques o áreas verdes urbanas para obtener servicios, por lo que hay una clara necesidad de aumentar la sensibilización sobre las funciones y la importancia de estas áreas, por medio de la educación ambiental, además de una sólida integración entre los niveles político, técnico y social.

Finalmente, derivado de este trabajo y sus resultados, se determina que la única solución a los problemas relacionados con las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, las olas de calor, la contaminación acústica, la contaminación atmosférica y otras relacionadas con el deterioro ambiental en la ciudad, deben de tratar de mitigarse desde el origen, sin embargo las áreas verdes pueden ser una estrategia a corto y mediano plazo y también de costo bajo y efectivo y que mediante sus servicios ambientales ofrecen la mejora de la calidad del ambiente en la ciudad, así como del bienestar de la población que la habita.

4.2 RECOMENDACIONES

Dirigidas a los administradores del Parque Metropolitano Bicentenario

1. En cuanto a la vegetación arbórea se determinó de manera general que cerca del 24% eran árboles seniles, por lo que se recomienda la renovación de estos individuos, ya que, se convierten en fuentes emisoras de CO₂, además de que son más propensos a plagas, por lo que sería conveniente renovarlos, por tasas, para no comprometer los servicios ambientales.
2. Fueron encontrados 35 árboles muertos en pie, se recomienda que estos árboles sean removidos, pues representan un riesgo para los visitantes, ya que pueden caerse troncos, ramas o frutos que ocasionen lesiones.
3. Implementar un programa de manejo forestal, que establezca entre otras cosas un calendario para riego, revisión de vegetación arbórea para poda y derribo por edad o plaga, para evitar que otros árboles sean contagiados.
4. Incrementar la masa forestal del parque procurando que se implementen especies arbóreas nativas, con eficiencia para la captura de carbono. Así como sembrar árboles considerando las características de crecimiento por ejemplo, raíces, copa, tipo de follaje y determinar el espacio adecuado en donde debería plantarse. De acuerdo a la NTEA-015-SMA-DS-2012 el espacio vital de un árbol (mínimo) es de cuatro metros de radio alrededor del tronco. Algunas especies recomendadas para la reforestación son:
 - *Cupressus lusitánica* (cedro blanco): Esta especie alcanza los 30 m de altura, su follaje es perennifolio por lo que puede ser utilizada como cinturón o barrera en la periferia del parque, se determina como una estrategia para la captación de partículas suspendidas en el aire como el smog y polvo, al ser un árbol de follaje perennifolio permitiría que el aislamiento del ruido sea constante, ya que las hojas absorben el ruido y los contaminantes por largos periodos de tiempo.

- *Pinus cembroides* (Pino piñonero): Esta especie es nativa, su altura alcanza los 15 m y es un árbol perennifolio, tiene una buena capacidad de captación de carbono, de absorción de ruido y actúa como regulador térmico por lo que se recomienda sea usada en las zonas de uso arbóreo. Considerando que el objetivo de la creación del PMB es fungir como un espacio de reserva ambiental, podría incentivarse la mejora de la calidad de suelo, promoviendo la existencia del estrato herbáceo y arbustivo, e incentivar el desarrollo de un hábitat, que exista variabilidad genética, así como permitir la dispersión y el crecimiento natural de las semillas.
- *Fraxinus uhdei* (Fresno): La característica especial de esta especie es que su follaje es caducifolio por lo que la regulación climática en los edificios sería importante, ya que durante los meses más calurosos mantiene sus hojas impidiendo el paso de la radiación solar a los edificios, reduciendo el uso de aire acondicionado, contrario de las estaciones frías en donde el árbol pierde sus hojas y permite el paso de la luz solar disminuyendo el uso de energía por calefacción.
- *Chirandanthdendron pentadactylon* (Árbol de las manitas): Es un árbol caducifolio de 6 a 10 metros de altura. Esta especie se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT, clasificándola como una especie amenazada, la NTEA-015-SMA-DS-2012 promueve el uso de especies listadas en esta norma, por lo que se recomienda su uso, como en el caso de la anterior, en la periferia de los edificios, para obtener beneficios energéticos.
- *Liquidambar styraciflua* (Liquidámbar): Puede utilizarse en los principales andadores, como elemento ornamental o estético, es una especie con raíz pivotante, por lo que no ocasionaría daños a la infraestructura a nivel del suelo, su follaje es subcaducifolio, se recomienda sea colocada en la zona de juegos que carece de arbolado, con ello se podría minimizar el riesgo de enfermedades ocasionadas por altas temperaturas en niños, ya que se disminuiría su nivel de exposición. Además el polen que

desprende es moderadamente alergénico, reduciendo el riesgo de alergias en niños.

- *Crataegus mexicana* (Tejocote) y *Prunus serótina* (Capulín): Dentro del parque se identificó una zona de árboles frutales, sería recomendable utilizar estas especies ya que son de rápido crecimiento y los frutos son pequeños, por lo que en caso de caída no ocasionarían lesiones graves.
5. Especificar o restringir el acceso en ciertas secciones del parque, mediante una zonificación, por ejemplo, en el área reforestada para promover el buen crecimiento y desarrollo de los individuos y del área.
 6. Utilizar el agua almacenada en el lago artificial para regar y/o usarla en los sanitarios o para acciones de limpieza en general.
 7. Implementar actividades entre la población que incentiven la cultura de ahorro energético, reutilización de materiales, actividades menos contaminantes que disminuyan las emisiones de carbono, informar sobre las problemáticas ambientales de la ciudad, el cuidado de la naturaleza y la buena interacción con ella a través de mamparas informativas. También se recomienda dar a conocer el beneficio ambiental del PMB, por ejemplo cuánto de CO₂ almacena, las especies de fauna que habitan en él, los beneficios térmicos, etc. y de esta manera sensibilizar a la población sobre la importancia ambiental de las áreas verdes.

5. ANEXOS

Anexo 1. Formato de Infiltración

Proyecto: Evaluación de los servicios ambientales en el Parque Metropolitano Bicentenario.

Fecha: _____ Hora: _____

Toma de lectura: _____

Coordinador: _____

Punto de muestreo: _____ Coordenadas _____

No de sitio	INFILTRACIÓN 500 ML				DENSIDAD APARENTE				RESPIRACIÓN (GASES) 30 MIN					
	1a lectura	Humedad (T)	2a lectura	Humedad (T)	3a lectura	Humedad (T)	DA1	DA2	DA3	pH	Inicio	Termino	Tem. suelo °C	Tem aire °C
1														
Y1														
Y2														
Y3														
Y4														

Observaciones o comentarios:

Anexo 2. Formato de control de temperatura

CONTROL DE TEMPERATURA

Proyecto: Evaluación de los servicios ambientales en el Parque Metropolitano Bicentenario.

Fecha:

Hora:

Toma de lectura:

SUPERFICIE	TEMPERATURA	INTENSIDAD DE RAYOS UV	TEMPERATURA	INTENSIDAD DE RAYOS UV
Estacionamiento (verde)				
Superficie sin árboles (pasto)				
Canchas (cemento)				
Arbolado				
Caminos (asfalto)				
Superficie arbustiva				
Paseo <u>Tollocan/ Alvaro Obregón</u>				

Observaciones o Comentarios

Anexo 3. Formato de lectura de ruido

RUIDO

Proyecto: Evaluación de los servicios ambientales en el Parque Metropolitano Bicentenario.

Fecha:

Hora:

Toma de lectura:

Coordinador:|

SITIO DE LECTURA	DECIBELES REGISTRADOS						
8:30 am.							
11:30 am.							
14:30 am.							

Observaciones y comentarios

Anexo 4. Formato de muestreo de vegetación (Almacenes de carbono)

Fecha:

Toma de muestras:

Coordinador:

Temperatura ambiente:

No de árbol	Especie	Altura	Perímetro (cm)	Vivo o muerto
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Anexo 5. Velocidad de infiltración por Y por sitio

No de sitio	Tiempo en minutos		
	1a lectura	2a lectura	3a lectura
Y1	28.34	40	30
Y2	25.4	25.12	20.34

Y3	10.47	10.33	10.13
Y4	9.33	8.17	6.54
No de sitio		Tiempo en minutos	
2	1a lectura	2a lectura	3a lectura
Y1	3.38	3.4	3.2
Y2	5.1	5	5.35
Y3	6.32	7.25	7.5
Y4	3.28	3.15	3.05
No de sitio		Tiempo en minutos	
3	1a lectura	2a lectura	3a lectura
Y1	50	65	65
Y2	13.28	27.35	15
Y3	60.02	63	67
Y4	12	20	23

Anexo 6. Densidad arbórea por género

Género	0-10	oct-30	30-50	> 50
<i>Pinus</i>	126	111	53	18
<i>Cupressus</i>	65	461	666	482
<i>Quercus</i>	8	9	1	0
<i>Abies</i>	0	2	2	2
<i>Eucaliptus</i>	0	5	11	21
<i>Ficus</i>	7	18	6	1
<i>Salyx</i>	11	23	23	4
<i>Populus</i>	4	14	19	10
<i>Fraxinus</i>	0	4	4	4
<i>Prunus</i>	4	36	21	5

<i>Pyrus</i>	1	10	20	5
Tocones	0	21	10	4
Muertos en pie	0	17	19	28
Totales	226	731	855	584
%	9.43	30.51	35.68	24.37

Anexo 7. Área basal por género

Género	0-10	10-30	30-50	> 50	Total por especie	% especie
<i>Pinus</i>	889.04	2002.68	2038.77	1201.46	6131.95	6.82
<i>Cupressus</i>	474.28	9536.98	26607.52	32047.60	68666.38	76.42
<i>Quercus</i>	55.70	148.49	35.01	0.00	239.21	0.27
<i>Abies</i>	0.00	39.79	87.85	139.90	267.54	0.30
<i>Eucaliptus</i>	0.00	121.91	448.18	1621.95	2192.04	2.44
<i>Ficus</i>	45.04	402.34	224.73	55.39	727.50	0.81
<i>Salix</i>	66.85	577.41	860.71	353.80	1858.77	2.07
<i>Populus</i>	26.10	278.20	741.34	815.51	1861.15	2.07
<i>Fraxinus</i>	0.00	80.53	155.97	284.57	521.07	0.58
<i>Prunus</i>	31.83	731.79	844.48	303.99	1912.09	2.13
<i>Pyrus</i>	7.32	198.78	765.06	293.16	1264.32	1.41
Tocones	0.00	434.14	423.03	264.20	1121.37	1.25
Muertos en pie	0.00	349.19	716.04	2020.78	3086.01	3.43
Totales	1596.16	14902.23	33948.70	39402.31	89849.40	100.00
% por clasificación DAP	1.78	16.59	37.78	43.85	100.00	

6. REFERENCIAS

- Agenda 21 de Almansa. (2004). *Contaminación atmosférica y contaminación acústica*. España: Informe de Diagnóstico técnico
- Akbari, H., Huang, J., Martien, P., Rainier, L., Rosenfeld, A. y Taha, H. (1988). *The impact of summer heat islands on cooling energy consumption and global CO2 concentrations*. En Proceedings of ACEEE 1988 summer study in energy efficiency in buildings, Volume 5, pp. 11 – 23. Washington DC, Consejo estadounidense para una economía eficiente en el consumo de energía.
- 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
- Anaya C., M., (2002) *Los parques urbanos y su panorama en la zona metropolitana de Guadalajara*. Revista de vinculación y ciencia de la Universidad de Guadalajara. Universidad de Guadalajara. Núm. 9 año 4.
- Anaya, C. M. (2001). *Las áreas verdes en el contexto urbano. Estudio de caso: ciudad de Guadalajara*. Tesis de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado. México: Instituto Politécnico Nacional.
- 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.
- Bárcena, A. Tiessen, H. (2013). *Prologo en: Respuestas urbanas al cambio climático e América Latina*. Naciones Unidas. CEPAL.
- Basilio, C. y Jiménez, E. (2011). *Diagnóstico ambiental en la tercera sección del bosque urbano Chapultepec, México, Distrito Federal*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma México. México.
- Baver, L., Gardner, W. y Gardner, WR. (1980). *Física de suelos*. México: Unión tipográfica.
- Benassi, A. (2003). *La arborización urbana en Argentina y su proceso histórico*. México: Arborea
- Biesbroek, G., Swart, R. y Van der, W., (2009). *The mitigation- adaptation dichotomy and the role of spatial planning*. Habitat International.

- Boffill, S., Reyes, R., Torres, F., Sánchez, E. (2009). *Desarrollo local sostenible a partir del manejo integrado en el parque nacional caguanes de Yaguajay*. Cuba: Revista desarrollo local sostenible. Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana local global.
- Boyle, C., Gamage, G.B., Burns, B., Fassman-Beck, E., Knight-Lenihan, S., Schwendenmann, L. y Thresher, W. (2014). *Greening cities: a review of green infrastructure*. Auckland, Nueva Zelandia, Transforming Cities: Innovations for Sustainable Futures, University of Auckland.
- Bravo de Guenni, L., M. Cardoso, J. Goldammer, G. Hurtt, J.L. Mata. (2005). *Regulation of natural hazards: Floods and fires, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), Ecosystems and human well-being: Current state and trends, Vol. 1*. Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment., Washington: Island Press.
- Brown, S. (2010). *Bosques y cambio climático y la función de los bosques como sumideros de carbono*. Recuperado en http://www.chacaltaya.edu.bo/index.php?option=com_content&view=article&i.
- Camargo, P. de L., G. (2008). *Estado y perspectivas de los ecosistemas urbanos de Bogotá. Prioridades 2008- 2011*. Colombia: Foro Nacional Ambiental. Documento de políticas públicas. Universidad piloto de Colombia.
- Canosa, E., Sáez Pombo, E., Sanabria Brassart, C., y Zavala Morencos, I. (2003). *Metodología para el estudio de los parques urbanos*. España: La Comunidad de Madrid, GeoFocus.
- Cities Alliance. (2009). *Cambio climático: ¿Cómo influye en su ciudad?* Estados Unidos de América: City Parks Alliance.
- Colín, Salazar y Nucio, Quiroz. (2006). *El abatimiento del manto freático en el municipio de San Mateo Atenco en el periodo 1970-2000*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). *Prácticas de reforestación; Manual básico*. México: CONAFOR
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2012) *Guía de campo árboles comunes de la ciudad de México*. México: CONABIO.
- Conde, C., Pabón, R., Sánchez-Rodríguez. (2013). *La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y el desarrollo urbano. Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Naciones Unidas. CEPAL.

- Contreras, L. (2013). *Confirman mala calidad del valle de Toluca*. Portal, p. 6.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot R, Farber, S., Grasso, M., y Hannon, B. (1997) *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature.
- Cram, S., Cotler, H., Morales, L., Sommer, I. y Carmona, E. (2007). *Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal*. México: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1994) *Límites Máximos permisibles de emisión de ruido de vehículos motorizados en circulación*. México.
- Donahue, R.L., R.W. Miller, J.C. shickluna. 1997. *Soils: An introduction to soil and plant growth*. USA: Prentice Hill
- Donovan, G.H. y Butry, D. (2009). *The value of shade: estimating the effect of urban trees on summertime electricity use*. *Energy and Buildings*, 41(6): 662 – 668.
- Ellin, N. (1996) *Postmodern urbanism*. United Kingdom: Blackwell Publishers.
- Escobar, J. Jiménez, J. (2009). *Urbanismo y sustentabilidad: estado actual del desarrollo urbano de la Zona Metropolitana del Valle de México*. UNAM. Recuperado en <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art40/int40-1.htm>
- Estación meteorológica FaPUR (Facultad de Planeación Urbana y Regional) (2013). *Variables registradas por la estación meteorológica automática de la facultad de planeación urbana y regional (climatología diaria)*. México: FaPUR.
- Estación meteorológica FaPUR (Facultad de Planeación Urbana y Regional) (2014). *Variables registradas por la estación meteorológica automática de la facultad de planeación urbana y regional (climatología diaria)*. México: FaPUR.
- Fariña, G. (2000). *Naturaleza urbana*. España: Calidad de vida urbana: variedad, cohesión y medio ambiente.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). *El suelo es un recurso no renovable*. FAO. Recuperado en <http://www.fao.org/documents/card/en/c/0cd51fed-61de-4780-ba88-234645fac56b/>
- 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.

- García Lorca, M. (1989). *El Parque urbano como espacio multifuncional: Origen, evolución y principales funciones*. España: Paralelo 37.
- 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.
- Gobierno del Estado de México. (2012). *Norma Técnica Estatal Ambiental. NTEA-015-SMA-DS-2012*. México: Gaceta del Gobierno.
- Gobierno del Estado de México. (2013). *Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático del Estado de México*. México: GEM
- 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.
- Gobierno del Estado de México. *Atlas de riesgos del estado de México*. (2015). Dirección General de Protección Civil del Estado de México: México.
- González, A., y Morales, C., (s/f). *El clima urbano en la ciudad de Toluca*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- González, C. (2002). *Beneficios del arbolado urbano: Ensayo Doctoral*.
- González, C. J. (1996) *Enverdecimiento urbano de la ciudad de México, en Memorias del Seminario Internacional de Áreas Verdes en América Latina y el Caribe*. México: Departamento del Distrito Federal, Banco Interamericano de Desarrollo y Gobierno del Estado de México.
- Grimmond, C y Souch, C., (1994). *Surface description for urban climate studies: a GIS based methodology. Geocarto International*.
- 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.
- Gutiérrez, J., Trejo, O., Camacho, S., Castillo, R., Cruz, S., y Castañeda, J. (1998). *Distrito Federal, Educación ambiental. Caminos ecológicos*. México: Limusa S.A de C.V.
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. España: Pearson Prentice Hill
- H. Ayuntamiento de Toluca. (2013). *Plan municipal de desarrollo urbano de Toluca 2013-2015*. México: H. Ayuntamiento de Toluca.

- H. Ayuntamiento de Toluca. (2013b). *Plan de acción climática municipal Toluca*. México: H. Ayuntamiento de Toluca.
- H. Ayuntamiento de Toluca. (2016). *Plan de desarrollo municipal 2016-2018*. México: H. Ayuntamiento de Toluca.
- Harrison J. A. (2003). *El ciclo carbónico, siempre de ida y vuelta*. Vision learning Vol 2 EAS-2. Recuperado en http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=95&l=s.
- Henríquez, S, (2005). Centro Transdisciplinario de Estudios Ambientales y Desarrollo Humano y sostenible.
- Hernández, O.E. (2015). *Estimación de los almacenes de carbono en bosque templado, caso de estudio predio particular "CEBATI", municipio de San José del Rincón, Estado de México*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México: México
- Hernández-Romero, J.; D. Madrigal y C. Morales. (2005). *El monóxido de carbono y el clima en Toluca, de 1995 a 2001*. México: Ciencia ergo sum. Vol. 11.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. *La convención marco de las naciones unidas sobre en cambio climático*. Recuperado en <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-agenda-int/648-cpcc-cmnucc>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1990). *ITER Principales resultados por localidad. Censo de Población y vivienda 1990*. México: INEGI
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1995). *ITER Principales resultados por localidad. Conteo de Población y vivienda 1995*. México: INEGI
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2000). *ITER Principales resultados por localidad. Censo de Población y vivienda 2000*. México: INEGI
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). *ITER Principales resultados por localidad. Conteo de Población y vivienda 2005*. México: INEGI
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *ITER Principales resultados por localidad. Censo de Población y vivienda 2010*. México: INEGI
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2012). *Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica E14A37*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2012). *Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica. Carta topográfica E14A38*. México: INEGI.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2012). *Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica. Carta topográfica E14A47*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2012). *Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica Carta topográfica E14A48*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *DENUE: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. México: INEGI. Recuperado en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). *SIATL; Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas*. Recuperado en http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#app=86ae&e312-selectedIndex=2&7b02-selectedIndex=0
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático*. (2001). Resumen para responsables de Políticas. Cambio Climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad: OMM y PNUMA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático. (2014). *Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al quinto informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático*. Suiza: IPCC
- Jaramillo, J. (2004). *El ciclo global del carbono. En: Cambio climático: Una visión desde México*. Compiladores: J. Martínez y A. Fernández. México; Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales E Instituto Nacional de Ecología.
- Jáuregui, O. E. (1974). *La isla de la lluvia de la Ciudad de México. Recursos hidrológicos Vol. III (2)*. México
- Lugo, H. (1989). *Diccionario geomorfológico*. México: Instituto de Geografía
- Lugo, J., Inbar, M. (2002). *Desastres Naturales en América Latina*. FCE
- Luyando, E. (2016). *Efectos de las temperaturas y precipitaciones extremas en el bioclima humano de la zona metropolitana de la Ciudad de México por cambio climático local y global*. México. México: UNAM
- Martínez, J.E. (2006). *Química 2*. México: Thompson.
- McCarthy, M.P y M.G. Sanderson. (2011). *Urban heat islands: Sensitivity of urban temperatures to climate change and heat release in four european Cities in: Cities*

an climate change. Responding to an urgent agenda. Ed. D. Hoornweg. M. Freire, M. Lee, P. Bhada-Ttat, B Yuen. The World Bank.

- 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.
- Meza, M. y Moncada, O. (2010). *Las áreas verdes de la ciudad de México; un reto actual.* México: Cuadernos críticos de geografía humana.
- Mijangos, A. (2015). *Estimación del contenido y captura de carbono en la biomasa arbórea del bosque de san Juan de Aragón, Distrito Federal.* Tesis de licenciatura. México: Universidad Nacional Autónoma México. México.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2003). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment.* United States of América: Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human wee-being synthesis, Island Press.* United Estates of America: Island Press.
- Mireles, P., González, R., y Orozco, E. (2016). *Tecnosoles en el Estado de México, México.* En Sociedad de riesgo en México Análisis y Perspectivas. Campos, L., Velázquez, D., Orozco, E. (Coord.), pp. 286-308. México: Universidad de Quintana Roo.
- Montoya, G., Soto, L., De Jong, N., Nelson, K., Farias, P., Yakatic, P y Taylor, J. (1995). *Desarrollo Forestal Sustentable: captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas.* México: Instituto Nacional de Ecología.
- Morales C, Madrigal D, González A. (2007). *Isla de calor en Toluca.* Redalyc. México. ISSN: 1405-0269.
- Niembro, A. (1990). *Árboles y arbustos útiles de México, naturales e introducidos.* México: Limusa.
- Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. (s/f). *Urbanismo y medio ambiente.* España: Junta de Andalucía.
- Oke, R. (1982). *The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.*
- Oke, R. (1987). *Boundary layer climates;* Methuen. Ed New York.

- Oltra, C. (2013). *Los retos en la adaptación al cambio climático en entornos urbanos*. Barcelona. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. México: CIEMAT.
- 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.
- Ordoñez Díaz, J. (2008). *Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambios de uso de suelo en los bosques de la región purépecha*. Tesis Doctoral. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ordoñez, B. y Masera, O. (2001). *Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en Nuevo San Juan, Michoacán*. México: Madera y bosques.
- Organización Mundial de la Salud (World Health Organization) (1999). *Guidelines for Community Noise*. Recuperado en <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>
- Palacios, S. (2008). *Estimación del contenido de carbono en mantillo del ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Pardos, J.A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. España: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Peper, P.J., McPherson, E.G., Simpson, J.R., Gardner, S.L., Vargas, K.E. y Xiao, Q. (2007). *New York municipal forest resource analysis*. US Department of Agriculture Forest Service, Pacific Southwest Research Station and Center for Urban Forest Research.
- Porta, J., López, M., y Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y medio ambiente*. México: Mundiprensa Libros.
- ProAire. (2012). *Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México. Recuperado en http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69287/8_ProAire_ZMVT.pdf
- Raven, P, Evert R y Eichhorn S. (2005). *Biology of plants*. Freeman & Co. Publishers.
- Rente, N., Krishnamurthy, L. y Kari, J. (1998). *Áreas verdes urbanas en América Latina: una introducción*. México: Memoria del Seminario Internacional celebrado en la Ciudad de México.

- Rivas, M. (2006). *El Parque San Martín (Parque México) una evaluación diagnóstica del arbolado, la calidad del paisaje y su infraestructura*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma México. México.
- Rodríguez, S. (2002). *Manejo de áreas verdes en Concepción: Mejor calidad de vida urbana*. Chile. Universidad del Bío Bío.
- Rojas-García F., De Jong B. H.J., Martínez-Zurimendí 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.
- Romo, J. y Gómez, A. (s/f). *La percepción social del ruido como contaminante*. México: Ordenamiento Territorial y Participación social.
- Rosenzweig. (2011). *Responding to Climate Change in New York State. Synthesis Report*. New York State Energy Research and Development Authority.
- Sánchez, C. (2007). *Valoración ambiental del arbolado urbano de la ciudad de Durango por secuestro y flujo de carbono en la biomasa aérea*. Tesis de maestría. Universidad Juárez del estado de Durango: México.
- Sierra, I., Ramírez-Silva, J.P. (2010). *Los parques como elementos de sustentabilidad de las ciudades*. México: Fuente. Nayarit.
- Silva Ramírez, B. (Coord.) y Juárez Aguilar, J. (2013): *Manual del modelo de documentación de la Asociación de Psicología Americana (APA) en su sexta edición*: México, Puebla: Centro de Lengua y Pensamiento Crítico UPAEP.
- Smih, T. Cramer, W. Dixon K, Leemans, R. Neilon y R. Salomon A. (1993). *The global Terrestrial Carbon Cycle. Water, air and soil pollution*.
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. (1998). *Manejo de las Áreas verdes urbanas. Manual de buenas prácticas*. Estados Unidos de América: División de Medio Ambiente del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo.
- Srivanit, M. (2013). *Quantifying the stability of summer temperatura for different thermanl climate zones: and the aplication to the Bangkok metropolitan area*. Thailand: Faculty of Architecture and planning. Recuperado en <https://www.slideshare.net/manat-srivanit/quantifying-the-stability-of-summer-temperatures-for-different-thermal-climate-zones-an-application-to-the-bangkok-metropolitan-area>.
- Stewart, I., R. Oke. (2012). *Local climate zones for urban temperaturas studies*. Bull. Amer Meteor. Soc.

- Tumini, I. (s/f). *Estrategias para la reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid*. España: Suitanaible Building Conference.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (Convención Marco de las Naciones Unidas). (2014). Recuperado en <http://unfccc.int/focus/mitigation/items/7169.php>
- 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
- Vázquez, C., Batis, A., Alcocer, M., Gual, M., Sánchez, C. (s/f). *Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. México: UNAM.
- Velasco, A. (1971). *Ciudad y Espacio Verde*. España: Servicio de Publicaciones del Ministerio de Vivienda.
- Velázquez, Y. (2016). *Propuesta de senderos interpretativos ambientales Parque Metropolitano Bicentenario. Toluca: Estado de México*. Tesis de licenciatura. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Wolf, K. (1998). *Urban forest values: economic benefits of trees in cities*. Factsheet #29. Seattle, EE.UU., Universidad de Washington.
- Wong, E. (s/f). Environmental Protection Agency Office of Atmospheric Programs, Reducing urban and heat island: Compendium of Strategies. EPA.
- World Resources Institute. (2011). *Aqueduct Water Risk Atlas*. Recuperado en <http://www.wri.org/applications/maps/aqueduct-atlas>