



Universidad Autónoma del Estado de México



*Facultad de
Arquitectura y Diseño*



*Facultad de
Economía*



*Instituto de Estudios
Sobre la Universidad*

Trabajo Terminal de Grado

“Infraestructura verde. Servicios ecosistémicos de seis áreas verdes de la ciudad de Toluca y sus aportes en la adaptación y mitigación al cambio climático”

Que presenta

Ana Laura Esquivel Domínguez

Para obtener el Grado de Maestra en

Estudios Sustentables Regionales y Metropolitanos

Directora

Dra. Emma González Carmona

Co Directores

**Dr. Eloy Sánchez Cárdenas y
Dr. Roy Estrada Olivella**

Toluca, Estado de México

21 de septiembre del 2023

Contenido

Introducción	8
Objetivo general.....	10
<i>Objetivos específicos</i>	<i>10</i>
Hipótesis	10
Justificación	10
1. Antecedentes de la Infraestructura Verde	12
1.1 <i>Historia de las Áreas Verdes.....</i>	<i>12</i>
1.2 <i>Nacimiento del Concepto de Infraestructura Verde.....</i>	<i>13</i>
1.3 <i>Beneficios de la Infraestructura Verde.....</i>	<i>16</i>
1.3.1 <i>Beneficios Ambientales/Ecosistémicos.....</i>	<i>17</i>
1.3.2 <i>Beneficios Sociales.....</i>	<i>18</i>
1.3.3 <i>Beneficios Económicos</i>	<i>19</i>
1.3.4 <i>Beneficios Para Minimizar los Efectos del Cambio Climático</i>	<i>19</i>
1.4 <i>Situación Actual en cuanto a áreas verdes y contaminación en el Municipio de Toluca</i>	<i>22</i>
2. Marco Teórico	24
2.1. <i>Teoría General de Sistemas</i>	<i>24</i>
2.1.1. <i>Antecedentes de la Teoría General de Sistemas</i>	<i>24</i>
2.1.2. <i>Fundamentos de la Teoría General de Sistemas</i>	<i>25</i>
2.1.3. <i>Tipos de Sistemas.....</i>	<i>28</i>
2.1.4. <i>Características de los Sistemas.....</i>	<i>29</i>
2.2. <i>La Ciudad y la Teoría General de Sistemas</i>	<i>30</i>
3. Experiencias de Desarrollo de Infraestructura Verde en México	31
4. Marco Normativo de la Infraestructura Verde	33
4.1 <i>Instrumentos Federales.....</i>	<i>34</i>
4.1.1 <i>Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....</i>	<i>34</i>
4.1.2 <i>Ley de Planeación.....</i>	<i>36</i>
4.1.3 <i>Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano.....</i>	<i>37</i>
4.1.4 <i>Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.....</i>	<i>40</i>
4.1.5 <i>Estrategia Nacional de Cambio Climático</i>	<i>41</i>
4.1.6 <i>Agenda 2030.....</i>	<i>43</i>
4.2 <i>Instrumentos Estatales.....</i>	<i>45</i>
4.2.1 <i>Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México</i>	<i>45</i>
4.2.2 <i>Ley de Planeación del Estado de México y Municipios.....</i>	<i>46</i>

4.2.3 Código para la Biodiversidad del Estado de México.....	47
4.2.4 Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023.....	48
4.2.5 Ley de Cambio Climático del Estado de México	49
4.2.6 Ley Orgánica Municipal del Estado de México	50
4.2.7 Programa Estatal de Cambio Climático	51
4.3 Instrumentos Municipales.....	52
4.3.1 Bando Municipal de Toluca	52
4.3.2 Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2022-2024.....	53
4.3.3 Plan de Acción Climática Municipal Toluca 2030	53
5. Marco Metodológico	54
5.1 Descripción de las Etapas de Trabajo	56
5.1.1 Identificación de áreas verdes como parte de la infraestructura verde de la ciudad de Toluca para evaluar el arbolado.	56
5.1.2 Valoración de los servicios ecosistémicos de las 6 áreas verdes como parte de la infraestructura verde de Toluca.....	56
5.1.3 Determinación de la percepción socioambiental de las personas que visitan áreas verdes de la ciudad de Toluca	62
6. Resultados.....	63
6.1 Identificación de las 6 Áreas Verdes para Evaluar el Arbolado.	63
6.2 Comparación de la Evaluación de los Servicios Ecosistémicos que Generan las Seis Áreas Verdes de Toluca.	65
6.2.1 Resultados de i-Tree Eco por Área Verde	65
6.2.2 Análisis Conjunto de los Resultados de i-Tree eco de las Áreas Verdes Evaluadas.....	102
6.2.3 Resultados por categoría	120
6.3 Análisis de la Percepción Socioambiental de las Personas que Visitan Áreas Verdes	130
6.3.1 Categoría en la Encuesta de Beneficios en la Salud.....	130
6.3.2 Categoría en la Encuesta de Seguridad.....	131
6.3.3 Categoría en la Encuesta de Belleza Escénica.....	132
6.3.4 Categoría de la Encuesta en Beneficios Ambientales	132
6.3.5 Categoría de la Encuesta en Beneficios Sociales.....	133
6.3.6 Antes y Después de Visitar el Área Verde.....	134
7. Discusión.....	136
8. Conclusiones y recomendaciones.....	139
Glosario.....	142
Referencias.....	145
Apéndice A. Formato para inventario de arbolado urbano.....	156
Apéndice B. Encuesta	157
Apéndice C. Listado de especies	159

Apéndice D. Imágenes de áreas verdes evaluadas.....	162
--	------------

Contenido de tablas

<i>Tabla 1. Ejemplos de creación de áreas verdes</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2. Definiciones de Infraestructura Verde.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3. Principales Servicios Ecosistémicos en las Ciudades</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 4. Servicios de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en la I.V. Urbana</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 5. Infraestructura verde y servicios ecosistémicos en el equilibrio o sustentabilidad en la Ciudad de Toluca</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 6. Normatividad referida a los tres niveles de gobierno</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 7. Objetivos de la Agenda 2030: metas y su relación con el TTG</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Variables para inventario de arbolado</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 9. Áreas verdes con dirección y superficie</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 10. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 11. Clases de DAP</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 12. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 13. Valores de sustitución y funcionales.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 14. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 15. Clases de DAP.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 16. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 17. Número de árboles, biomasa foliar y valor de importancia por especie</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 18. Clases de DAP.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 19. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 20. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 21. Clases de DAP.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 22. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 23. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 24. Clases de DAP.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 25. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 26. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 27. Clases de DAP.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 28. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 29. Beneficios que brinda el arbolado del parque Alameda</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 30. Beneficios que brinda el arbolado del Camellón Vicente Guerrero</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 31. Beneficios que brinda el arbolado del Parque Municipal Benito Juárez</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 32. Beneficios que brinda el arbolado del Jardín Zaragoza</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 33. Beneficios que brinda el arbolado del Parque Urawa</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 34. Beneficios que brinda el arbolado del Parque Metropolitano Bicentenario</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 35. Total de almacenamiento y secuestro de carbono</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 36. Valores de sustitución y funcionales.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 37. Respuestas beneficios en la salud</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 38. Respuestas tópico seguridad</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 39. Belleza escénica.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 40. Respuestas tópico ambiental.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 41. Respuestas tópico social.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 42. Antes y después de visitar el parque.....</i>	<i>135</i>

Contenido de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Elementos de la Infraestructura Verde.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 2. Ejes temáticos de Infraestructura Verde Urbana y Cambio Climático</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 3. Localización de las áreas verdes evaluadas en Toluca, México.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 4. Clases de diámetro</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 5. Eliminación de contaminantes por tipo de gas</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 6. Escurrimiento evitado por especie arbórea.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 7. Valores de sustitución por especie de arboles</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 8. Clases de DAP por rango.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 9. Eliminación de contaminantes por tipo de gas</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 10. Escurrimiento evitado por especie arbórea.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 11. Valores de sustitución por especie de arboles.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 12. Clases de DAP por rango</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 13. Eliminación de contaminantes por tipo de gas.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 14. Escurrimiento evitado por especie arbórea.....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 15. Valores de sustitución por especie de arboles</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 16. Clases de DAP por rango</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 17. Eliminación de contaminantes por tipo de gas</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 18. Escurrimiento evitado por especie arbórea.....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 19. Valores de sustitución por especie de arboles</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 20. Clases de DAP por rango</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 21. Eliminación de contaminantes por tipo de gas.....</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 22. Escurrimiento evitado por especie arbórea.....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 23. Valores de sustitución por especie de arboles</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 24. Clases de DAP por rango</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 25. Eliminación de contaminantes por tipo de gas.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 26. Escurrimiento evitado por especie arbórea.....</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 27. Valores de sustitución y funcionales</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 28. Cantidad de árboles por especie</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 29. Eliminación de contaminantes por número de árboles y valor monetario.....</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración 30. Contaminantes por área verde.....</i>	<i>124</i>

Abreviaturas

Parque Metropolitano Bicentenario	PMB
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática	INEGI
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias	INIFAP
Coordinación General de Conservación Ecológica	CGCE
Consejo Estatal de la Población	COESPO
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH	GIZ
Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México	SMAGEM
Gases de Efecto Invernadero	GEI
Infraestructura Verde	IV
Teoría General de Sistemas	T.G.S.
Objetivos de Desarrollo Sustentable	ODS
Organización de las Naciones Unidas	ONU
Metros	m
Centímetros	cm
Hectáreas	ha
Pulgadas	in
libras	lb
Toneladas	ton
Kilogramo	kg
Metros cuadrados	M ²
Pies cuadrados	ft ²
Pies cúbicos	ft ³
Acre	ac
Valor de importancia	VI
Compuestos Orgánicos Volátiles	COV
Diámetro del tronco a la Altura del Pecho	DAP
Ozono	O ³
Monóxido de carbono	CO
Óxido de nitrógeno	NO
Dióxido de nitrógeno	NO ²
Material particulado menor a 2.5 micrones	PM2.5
Material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones	PM10
Dióxido de sulfuro	SO ²
Microgramos	mcg

Introducción

En la actualidad, viven en urbes de América Latina y el Caribe aproximadamente el 81.2% de personas. Se estima que para el 2050 el 89% de la población viva en áreas urbanas. América Latina y el Caribe es la zona en donde existe una mayor aglomeración de gente viviendo en las megaciudades (Plataforma Urbana y de Ciudades de América Latina y el Caribe, s. f.). En México, en el año 1950 habitaba el 43% de la población en ciudades, para 1990 incrementó a 71% y para 2020 fue de 79% (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2023). Esto significa que conforme transcurren los años en las metrópolis se concentra un mayor número de personas; por lo que surge la necesidad de que estos lugares cubran con los parámetros de mejora de calidad de vida de la población, sin embargo, esto es un gran reto, debido a que las zonas urbanas son de las que más favorecen al cambio climático; ya que consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero; este problema empeora cuando existen pocas áreas verdes en las ciudades, por lo que la población puede ser sensible a los efectos del cambio climático (Naciones Unidas, s. f.b).

En este sentido, es de preocupación el crecimiento demográfico de gran intensidad en la ciudad de Toluca, proceso que se inicia en el año de 1960 debido a las altas tasas de natalidad y la inmigración, resultado del proceso de industrialización en el Estado de México, lo cual convirtió al Municipio en un importante centro de atracción poblacional, de 1950 al año 2010, el incremento fue de 704 mil 542 habitantes y la tasa de crecimiento 2000-2010 de 2.02 (Consejo Estatal de la Población. 2010), para el año 2020 el aumento poblacional también ha sido considerable ya que de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021) el número de personas llegó a 910,608, siendo el tercer municipio del Estado de México con más habitantes.

El crecimiento de la capital del Estado ha dado paso a un incremento de infraestructura gris, misma que ha dejado poco terreno para la infraestructura verde. De acuerdo con los Índices básicos de las ciudades prósperas (2018) en cuanto al indicador de áreas verdes *per cápita* de Toluca, mostró resultados bajos con 46.57%, esto refleja que la existencia de espacios verdes no son los suficientes en la ciudad y que la calidad de vida en este rango es baja, así mismo el Ayuntamiento de Toluca. (2019 a), refiere que la capital del Estado cuenta con 6.9 m² de áreas verdes por habitante, sin embargo, quitando áreas naturales protegidas y considerando solo las áreas verdes existentes en zona urbana con población solo urbana, arroja 0.14 m²/habitantes. Es evidente que esta cifra es muy baja; como consecuencia de la falta de áreas verdes y del crecimiento demográfico están los altos niveles de contaminación. En un reporte mundial en el

2018, Toluca ocupó el noveno lugar entre las ciudades de provincia con mayor contaminación atmosférica por PM2.5 en América Latina y el Caribe, con un promedio anual de 26.4 mcg/m³, e incluso superó a Ciudad de México. Las PM2.5 en el aire provoca tos, sensación de falta de aire, disminución de la función pulmonar, disritmias cardíacas, infartos al miocardio, entre otras (Ghorani Azam, 2016; Sun, 2019, citado por Espinoza R., 2020).

En este contexto, y destacando la importancia que tiene la implementación de infraestructura verde en las ciudades, esta investigación tiene como objetivo realizar una valoración de los servicios ecosistémicos que generan seis áreas verdes de la Ciudad de Toluca y que son parte de la infraestructura verde del Municipio, a través de la realización de inventarios del arbolado para la toma de decisiones en cuanto a la mitigación y adaptación al cambio climático; por ejemplo; el secuestro de carbono, la disminución en el uso de energía eléctrica para aparatos que funcionen como calentadores o enfriadores son parte de los servicios de mitigación; por otro lado, la disminución de islas de calor y la disminución de inundaciones o encharcamientos son parte de la adaptación (Vásquez, 2016).

Esta valoración de los servicios ecosistémicos se realizó a través del programa *i-Tree Eco* desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América (EE. UU.) y otros socios. En particular, el programa *i-Tree Eco* recientemente fue adaptado para su uso en México; y es de utilidad para determinar la estructura del bosque urbano, cuantificar el reservorio y captura de carbono, la remoción de contaminantes atmosféricos y la reducción de escorrentías del agua de lluvia, así como para determinar el valor monetario atribuido a dichos servicios (Martin *et al.*, 2021).

También, para mostrar la importancia y el significado de las áreas verdes en la población, se realizó una valoración de los servicios ecosistémicos que ofrece la ciudad a través de la aplicación de encuestas a visitantes de un parque urbano, en donde las personas identifican que el estar en contacto con la naturaleza resulta favorable para su salud física y mental; en este tenor Martínez *et al.* (2016) destacan que los bajos niveles de contacto con la naturaleza pueden incidir en una mayor presencia de patologías sociales y de salud, aunado de qué la existencia de vegetación en las ciudades influye en que exista una disminución en los niveles de violencia y delincuencia (González, 2002).

La presencia de áreas verdes en las ciudades es de vital importancia; ya que, el simple hecho de su existencia o escasez marca una diferencia en la calidad de vida de las personas. Su

presencia determina los procesos de urbanización; cuyos retos se centran en satisfacer, por un lado, las necesidades socioeconómicas, políticas y por otro atender los impactos ambientales de las actividades propias de las urbes. En este sentido la infraestructura verde debe ser una estrategia de planeación urbana multifuncional donde se puedan aportar servicios ecosistémicos y multiescalar que vaya desde calles, colonias, ciudad y que cada vez se abarque más territorio, tomando en consideración que deben tener una conectividad. Reconociendo con ello el valor del soporte natural que las sustenta (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), 2019). Entonces, el gran reto es crear ciudades más atractivas, habitables y que puedan adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático para que de este modo sean resilientes y entonces sí, los habitantes puedan mejorar su calidad de vida.

Objetivo general

Realizar una valoración de los servicios ecosistémicos que generan seis áreas verdes de la Ciudad de Toluca y que son parte de la infraestructura verde del Municipio, a través de la elaboración de inventarios del arbolado para la toma de decisiones en cuanto a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Objetivos específicos

1. Identificar la Infraestructura Verde de la ciudad de Toluca en donde se realizará el inventario de arbolado.
2. Evaluar el arbolado de seis áreas verdes de la ciudad de Toluca para determinar los servicios ecosistémicos que generan.
3. Aplicar encuestas para conocer la percepción social de una muestra de personas que visitan los parques urbanos de la ciudad de Toluca.

Hipótesis

La infraestructura verde de la ciudad de Toluca genera una parte importante de servicios ecosistemas que influyen en la adaptación y mitigación al cambio climático.

Justificación

La importancia de este TTG se relaciona con la demanda a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar como un derecho humano, sin embargo, también es una obligación

cuidarlo. Asimismo, se reconoce la falta de estudios en materia, con énfasis en la infraestructura verde en los espacios públicos de la ciudad de Toluca y los servicios ecosistémicos que se generan, así como su función en la adaptación y mitigación al cambio climático.

El potencial de aplicación del TTG se relaciona con las alternativas de beneficios sociales, ambientales y económicos, sobre todo por las potencialidades sinérgicas y resilientes, no solo por la participación de los distintos actores, sino por la integración de las diversas dimensiones que enmarca la Agenda 2030, especialmente como se menciona en el Objetivo 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”, lo que se refiere a la Meta 11.7: menciona que: “De aquí a 2030, se debe proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad”. Por lo que las zonas verdes y los espacios públicos ofrecen oportunidades para mejorar las condiciones ambientales y la calidad de vida de todos los habitantes de las ciudades, pero también pueden influir para atraer mayores capitales económicos (Kristie, D. & Naciones Unidas, s. f.).

Por ello, recupero la idea de que los habitantes de las ciudades deben pensar, decir y hacer lo urbano de acuerdo con lo siguiente: *“Es momento de movilizar a la comunidad global y concentrar todos los niveles de los asentamientos humanos, metrópolis, ciudades intermedias, pueblos, incluidas las pequeñas comunidades rurales, para hacer de las ciudades verdaderos motores económicos mientras se protege al mismo tiempo el medio ambiente”* (Organización de las Naciones Unidas-Habitat. (2020). Al respecto, es importante comprender el funcionamiento de la urbe. La ciudad es el lugar donde nos encontramos, nos reconocemos, interactuemos y hacemos comunidad, de acuerdo con Cacciari (2010), con características de hospitalidad, benevolencia, paz, bienestar, habitabilidad y confortabilidad, entre otros; aspectos que deseamos en nuestra propia casa. Una casa como área para tener una pausa, análoga al silencio en una partitura para encontrarnos.

Es así que si se crearan ciudades con la infraestructura verde ideal habitaríamos en lugares con la capacidad de incrementar la calidad de vida de los habitantes, ya que tendríamos disponibles los beneficios que brinda la naturaleza, siendo un medio para disminuir los efectos del cambio climático, la gente contaría con mejor estado de salud física y mental, la delincuencia y violencia disminuiría; son diversas las bondades que ofrece la infraestructura verde; en este contexto, es relevante que en las urbes exista una correlación con la naturaleza, siempre resaltando como

parte de la I.V. la presencia de áreas verdes; ya que, el simple hecho de su existencia o no en las metrópolis, marca una diferencia en sus habitantes.

1. Antecedentes de la Infraestructura Verde

1.1 Historia de las Áreas Verdes

Como es sabido la existencia de áreas verdes en las urbes trae diversos beneficios, Fadigas (2009) refiere que los espacios verdes son áreas vegetativas en donde no necesariamente debe haber un orden paisajístico, aunque de todas se puede obtener beneficios ambientales, estas áreas verdes incluye parques, jardines urbanos, públicos y privados. La realización de parques y jardines es una idea que surgió antes de la revolución industrial, en ese entonces era más importante la belleza estética que el significado urbano o de limpieza, sin embargo, con todas las consecuencias que trajo la revolución industrial hacia la salud humana y al ambiente las zonas con vegetación resultaron ser importantes.

La creación de áreas verdes a lo largo de la historia ha sido variada, en la tabla 1 se muestra como se ha dado en diferentes países y su forma de implementación.

Tabla 1. Ejemplos de creación de áreas verdes

Fecha	Lugar de implementación	Tipo de área verde	Descripción
Siglo XV	Estado de México	Jardín	Los jardines de Netzahualcóyotl funcionaban como sitios de resguardo de flora y fauna principalmente de la que se encontraba dentro del imperio Azteca, a su vez estos lugares funcionaban como sitios de esparcimiento.
1440	Morelos	Jardín botánico	El área verde Oaxtepec, fue un sitio para el esparcimiento para la élite mexicana, aunado de que la siembra de plantas medicinales era parte importante. Este jardín fue de gran importancia ya que se identificó como “el primer jardín etnobotánico en América, equiparable a los jardines botánicos de Europa” (Avendaño, 2019).
Entre 1513 y 1540	Portugal	Jardines y carreiras (vía para carros)	Se implementaron en el entorno del palacio episcopal de Lamego por iniciativa de su obispo.

Se empezó a construir en 1764	Lisboa	Jardín	El área verde fue un plan del arquitecto Reinaldo Manuel, y el Marqués de Pombal fue el de la idea; a partir de 1835 el jardín Valverde se convirtió en el Paseo Público, una obra simbólica de la ciudad y su historia.
Entre 1779 y 1783	Brasil	Paseo Público	Fue realizado como inspiración del jardín de Valverde y de los jardines del Palacio de Queluz.
Segunda mitad del siglo XIX	Portugal	Parque	La expresión del movimiento romántico alemán sirvió como base para la elaboración de diversos parques, estos a su vez fueron forestados y reforestados con una gran variedad de especies exóticas.
1812	Londres	Parque	El desarrollo de Regent's Park, demostró que los edificios y el suelo de construcción cercanos a esta área verde adquirirían plusvalor.
1844	Liverpool	Parque	El terreno se utilizó para parque de recreo urbano y el resto para la construcción. De igual manera, la elaboración de diversas áreas verdes sirvió para minimizar los efectos de la crisis económica y el desempleo que afectó a Inglaterra tras el fin de las guerras napoleónicas y aliviar las tensiones sociales.

Nota. Elaboración propia con base a Fadigas, 2009, MXCity, 2022 y Avendaño, 2019.

La creación de parques y jardines, por motivos y razones no siempre fácilmente compatibles entre sí, se convirtió en una interesante seña de identidad del urbanismo perteneciente principalmente al siglo XIX y una referencia esencial para la comprensión de las ciudades donde vivimos y cuya organización está todavía determinada por sus valores y conceptos.

1.2 Nacimiento del Concepto de Infraestructura Verde

El concepto de infraestructura verde inició con la Teoría de la Planeación a finales del siglo XIX, cuando los objetivos principales tenían metas en que las urbes tuvieran las suficientes zonas vegetativas y del mismo modo estas se pudieran conectar para que se incrementarán los beneficios ambientales. Este concepto es reciente para algunas agendas gubernamentales mismo que es de gran importancia para la planeación de desarrollo urbano, ya que influye en la creación de espacios naturales (GIZ, 2019).

El significado de Infraestructura verde fue formalizado en 1999 por el Servicio de Bosques de EE.UU. Su propósito era que se concibiera a las áreas naturales y los corredores ecológicos como una red interconectada, de forma parecida a la que lo hace la infraestructura eléctrica o la de comunicaciones (Ayuntamiento de Zaragoza, 2017). A través de los años el concepto de infraestructura verde ha ido evolucionando. Se ha vuelto más amplio, pasando a incluir también elementos seminaturales o diseñados artificialmente a partir de elementos naturales, con el fin de asegurar los servicios ecosistémicos antes mencionados como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Definiciones de Infraestructura Verde

Autor	Definición
Documento de Síntesis del Grupo de Trabajo de Conama 2014	La Infraestructura Verde es una red estratégicamente planificada de espacios naturales y seminaturales y otros elementos ambientales diseñados y gestionados para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos. Incluye espacios verdes (o azules si se trata de ecosistemas acuáticos) y otros elementos físicos en áreas terrestres (naturales, rurales y urbanas) y marinas
Benedict y Macmahon, 2002	“[...] red interconectada de áreas naturales y otros espacios abiertos que conserva valores y funciones ecosistémicas naturales, sustenta agua y aire limpios, y provee una amplia gama de beneficios para las personas y la vida silvestre [...] es la estructura ecológica para la salud ambiental, social y económica, en resumen, nuestro soporte de vida natural”
Kongjian, 2006	“[...] estructuras paisajísticas críticas que son estratégicamente identificadas y planeadas para salvaguardar los variados procesos naturales, biológicos, culturales y recreativos a través del paisaje, asegurando valores naturales y servicios ecosistémicos, esenciales para sustentar a la sociedad humana”
Dunn y Stoner, 2007	“[...] es el uso de suelo, árboles, vegetación y humedales y espacio abierto (ya sea preservado o creado) en áreas urbanas para capturar lluvia mientras se mejora el tratamiento de aguas residuales y pluviales”
Valdés y Foulkes, 2016	“Estrategia de planificación que requiere posicionar al territorio como un sistema en el que interactúan escalas como el barrio,

<p>Naumann, et al., 2011</p>	<p>la ciudad y la región con sus respectivas infraestructuras, y en el que los espacios verdes desempeñen un papel necesario como punto de ordenamiento”</p> <p>“Red de áreas naturales y seminaturales, y espacios verdes en zonas urbanas y rurales, terrestres, de agua dulce, marinas y costeras, que en conjunto mejoran la salud y la resiliencia de los ecosistemas, contribuyen a la conservación de la biodiversidad y benefician a la población humana a través del mantenimiento y mejora de los servicios ecosistémicos. Puede ser fortalecida mediante la coordinación de estrategias e iniciativas enfocadas al mantenimiento, restauración, mejora y conectividad de las áreas existentes o mediante la creación de nuevas”</p>
------------------------------	--

Nota. Elaboración propia con base a GIZ, 2019.

El común de todos los conceptos de infraestructura verde es el referente natural, expreso como estructura, red, área, parque y estrategia de planificación; esto se traduce en la comprensión ambiental, urbana, administrativa y de planeación que permitan la generación de servicios ecosistémicos en donde existan beneficios en los tres pilares de la sustentabilidad que son lo social, ambiental y económico.

Debido a la combinación de definiciones y para el mejor entendimiento de lo que es la infraestructura verde, ésta se debe abordar desde dos visiones complementarias: una orientada a las partes que la conforman y que ayudarán a darle un sentido territorial y de planeación en lo urbano y lo ambiental; y otra, incluye a los ejes temáticos sobre desarrollo sustentable en los que recae la implementación de acciones específicas (Asociación Europea Parques Periurbanos, 2014).

Las estrategias de Infraestructura verde indagan hacia los pilares de la sustentabilidad, con el objetivo de alcanzar un uso más eficiente y sustentable del territorio en la escala local, urbana y regional (Suárez *et al.* 2011).

En este sentido, se describen los elementos que definen a la infraestructura verde, tales como se muestran en la ilustración 1.

Ilustración 1. Elementos de la Infraestructura Verde

Red	Multifuncionalidad	Diversa	Multiescalar
<ul style="list-style-type: none"> • Es la vinculación o conexión espacial que incluyan áreas verdes y que permite el movimiento de personas, fauna, viento y agua. • En espacios terrestres, se presenta en el ámbito rural y urbano y permite proveer múltiples beneficios en forma de apoyo a la economía verde, mejora de la calidad de vida, protección de la biodiversidad y mejora la capacidad de los ecosistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Además de proporcionar espacios de recreación, permite la integración de funciones estructurales de la ciudad mediante la provisión de servicios ecosistémicos que pueden contribuir a mitigar o adaptarse al cambio climático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Porque los espacios que la conforman pueden ser naturales (ríos, humedales y bosques) y espacios antropizados como zanjas, camellones, muros verdes, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • En el sentido de que a escala de intervención urbana es primordial para la implementación de la infraestructura verde, siendo la más destacada la del barrio y ciudad, no obstante, debido a que se concebida como una red; por lo que es indispensable vincularse a una dinámica territorial más amplia.

Nota. Elaboración propia con base a la hoja de ruta de GIZ, 2019.

1.3 Beneficios de la Infraestructura Verde

De manera general, se puede hacer referencia a la infraestructura verde como un sistema en el que interactúan las esferas humana y ambiental, siendo este último uno de las principales soportes para el desarrollo y calidad de vida del ser humano, al proporcionar los servicios ecosistémicos indispensables para el funcionamiento de las distintas dinámicas urbanas, incluyendo la movilidad (por ejemplo, microclima amigable para caminar o usar la bicicleta) (GIZ, 2019).

Por su parte de acuerdo con el Manual de lineamientos de diseño de Infraestructura Verde para municipios mexicanos, los beneficios que se atribuyen a la I.V. son múltiples y de gran impacto positivo. Comparativamente, por ejemplo, la infraestructura gris tiene el objetivo único de mover el agua pluvial a través de la ciudad y llevarla fuera de ella lo más rápido posible. La I.V. en cambio, reduce, trata e infiltra las escorrentías pluviales lo más cercano posible al sitio donde precipita, al mismo tiempo que aporta beneficios ambientales, sociales y económicos; en seguida se describen estos beneficios.

1.3.1 Beneficios Ambientales/Ecosistémicos

La infraestructura verde brinda una serie de servicios ecosistémicos de gran importancia sobre todo en las ciudades, entre estos se encuentra la filtración de contaminantes presentes en el aire, la regulación del clima local, la reducción de la contaminación acústica, el tratamiento de aguas residuales, entre otros que se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Principales Servicios Ecosistémicos en las Ciudades

Servicio	Función
Filtración del aire	El estrato vegetativo disminuye los contaminantes aéreos porque realiza un proceso de filtración de partículas tóxicas.
Regulación del microclima	Reducción de los niveles de esmog. El incremento de cobertura vegetal en una ciudad reduce los niveles de esmog a través de: la remoción de contaminantes atmosféricos como Óxidos de Nitrógeno y Compuestos Orgánicos Volátiles; reducción de la temperatura del aire; y la disminución de la demanda energética asociada a un reducido uso del aire acondicionado por el efecto de control térmico que tiene la vegetación. La presencia de las áreas verdes regula el clima de las urbes. Así mismo, la infraestructura urbana, como las vías de hormigón y las construcciones, causan “islas de calor”. Este fenómeno se genera por la presencia de materiales que absorben calor y por el consumo de energía que utilizan las ciudades.
Reducción de la contaminación acústica	La cubierta vegetativa absorbe el ruido provocado por la carga vehicular, actividades comerciales y culturales entre otras. Su presencia ocasiona síntomas de deterioro de la salud.
Filtración, recarga y conducción de las aguas de lluvia	Las construcciones, las vías de movilidad de materiales impermeables como el concreto y asfalto impiden el flujo natural del agua. Cuando se presenta una mayor cantidad de precipitación se generan escorrentías superficiales que degradan su calidad al incorporar los contaminantes por su paso. Esta falta de filtración del agua se suma a su extracción; generando, por un lado, inundaciones y por otros colapsos de suelo por fuentes subterráneas sobre explotadas.
Tratamiento de aguas residuales	En el tratamiento de aguas residuales se han integrado humedales para mejorar su calidad, a través de procesos de descomposición y filtración. La flora y la fauna de estos ecosistemas asimilan niveles de contaminantes; permitiendo que las partículas de mayor tamaño se vayan a la parte inferior de los

	cuerpos de agua y por otro lado, la asimilación de tóxicos con la producción de biomasa.
Hábitat de vida silvestre, incremento de biodiversidad	La I.V. a través de la vegetación, provee de hábitat para el establecimiento de aves, mamíferos, anfibios, reptiles e insectos. Al albergar especies vegetales nativas interactuando con especies animales, en la I.V. se promueve la sucesión ecológica. Esto aumenta la biodiversidad gradualmente y restituye las cadenas alimenticias.
Desplazamiento de especies por conectividad de hábitat	Cuando se implementa la I.V. de forma que logra conectar hábitats por medio de corredores y nodos (elementos de I.V. como parques y áreas naturales), se facilita el desplazamiento de especies silvestres.
Valores recreativos y culturales	La parte recreativa de las áreas verdes son los servicios ecosistémicos más valorados; ya que todos los ecosistemas aportan paisajes estéticos y culturales a las urbes.

Nota. Elaboración propia con base en el Ayuntamiento de Toluca, (2019 a) y Ayuntamiento de Hermosillo & Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo. (s.f.).

1.3.2 Beneficios Sociales

Se ha demostrado que el involucramiento de la comunidad con los ciclos de la naturaleza induce a estrechar intereses comunes a través de vínculos sociales entre las personas (González, 2002). El diálogo entre los habitantes de una colonia, un vecindario o un barrio para la creación de un proyecto común puede ser un elemento para la integración, toma de decisiones y trabajos colaborativos que incidan en la calidad de vida.

Con respecto a los beneficios de la vegetación urbana en la salud humana, Martínez *et al.* (2016), señalan que, generalmente, los problemas sociales acontecen con mayor frecuencia en los grandes núcleos urbanos. Dichas problemáticas suelen relacionarse con una mayor recurrencia de desórdenes psiquiátricos. Los bajos niveles de contacto con la naturaleza pueden incidir en una mayor presencia de patologías sociales y de salud, al ser comparadas con grupos rurales. La presencia de la naturaleza puede marcar la diferencia entre el bienestar físico y el mental en poblaciones urbanas. Al respecto, se ha encontrado que aquellas personas que viven en áreas construidas con acceso a jardines o espacios abiertos con cobertura vegetal tienen una menor prevalencia de desórdenes mentales en contraste con personas en áreas construidas sin tales accesos.

En general, se ha documentado que la exposición a ambientes naturales tiende a evocar, en personas no estresadas, mayores sentimientos de tranquilidad, poder, vigor, menor fatiga y

confusión. Por el contrario, en personas estresadas, el contacto con la naturaleza resulta en la disminución de estrés y temor, mayor felicidad, placer y libertad. Independientemente del tipo de condición emotiva o cognitiva antecedente. El contacto con la naturaleza se relaciona con mayor afecto positivo, activación y relajación. Por otra parte, también se vincula con una menor sensación de ira, hostilidad, depresión, tensión y ansiedad (Martínez *et al.*, 2016).

Asimismo, existen evidencias en que la naturalización urbana en la comunidad aumenta la percepción de seguridad, disminuye los crímenes y reduce la violencia. A su vez, diversos estudios han mostrado que, en casas con áreas con más arbolado, los rangos de violencia doméstica eran menores que en idénticas casas con pocos o ningún árbol. Las poblaciones, con zonas verdes, generalmente, son más constructivos, y presentan menores formas de violencia y conflictos intrafamiliares (González, 2002).

1.3.3 Beneficios Económicos

De acuerdo con GIZ, 2019 la infraestructura verde puede brindar beneficios económicos ya que el adecuado manejo de esta influye en la optimización de la inversión pública al atender distintos objetivos e incentivar la coordinación entre actores clave. A su vez se ha demostrado que la presencia de áreas vegetativas repercute en el incremento de plusvalía de las zonas donde se implementan, por lo que existe una mayor atracción para negocios, turismo y economía verde.

Aunado a lo anterior, la infraestructura verde se relaciona con una mayor eficiencia energética en edificios o casas cercanas ya que la vegetación puede crear un ambiente de confort sobre todo cuando se siente mucho calor por lo que no se utiliza aire acondicionado, a su vez disminuyen los gastos en la salud pública, como se ha mencionado la presencia de naturaleza en los centros poblacionales influye en la mejora del bienestar físico y mental.

1.3.4 Beneficios Para Minimizar los Efectos del Cambio Climático

Entre los beneficios que se encuentran para la mitigación y adaptación al cambio climático se encuentran: la resiliencia climática, la reducción del efecto “isla de calor urbano” y reducción de la demanda energética, así como la reducción de las emisiones de carbono, como se detalla en seguida.

- a) Resiliencia climática

El Ayuntamiento de Hermosillo & Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo. (s.f.) que a su vez citan a Foster *et. al.*, 2011 mencionan que la I.V. ayuda a minimizar y evitar escorrentías, los desbordamientos en el espacio público y privado, y el atiborramiento de afluentes de agua urbanos. Aunado, la ejecución integral de infraestructura verde a macroescala incide en la conservación de planicies aluviales y cursos de agua, fortificando al sistema de control de inundaciones en una ciudad.

b) Disminución del efecto “isla de calor urbano” y reducción de la demanda energética.

El aumento de infraestructura gris acrecienta la absorción y retención de calor. Esto causa un mayor consumo de energía por uso de sistemas de enfriamiento, mayor contaminación atmosférica y afectaciones a la salud relacionados. Con el cambio climático esta situación se incrementará por el aumento de temperaturas. La I.V., puede contribuir a reducir estos efectos al aportar sombra y aislamiento térmico a las superficies construidas, al reflejar radiación solar y al emitir humedad por medio de la evapotranspiración (Ayuntamiento de Hermosillo & Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo. (s.f.) que cita a Akbari, 2005, Bowler *et. al.*, (2010), Norton *et. al.*, (2015)).

c) Reducción de las emisiones de carbono.

Así mismo, el Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos (2015-2018) en donde se cita a McPherson (1996), Liu y Baskaran (2003), Getter *et. al.* (2009) se hace mención que la I.V. y el incremento de vegetación, ayuda a reducir los contaminantes atmosféricos al funcionar como medio para almacenar y secuestra carbono. Aunado, la infraestructura verde influye para minimizar el uso energético y las emisiones que conlleva.

Del mismo modo Vázquez (2016) menciona que la I.V. brinda servicios ecosistémicos específicos que ayudan en la adaptación y mitigación al cambio climático tales como el secuestro de carbono, disminución de islas de calor urbanas, entre otros que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Servicios de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en la I.V. Urbana

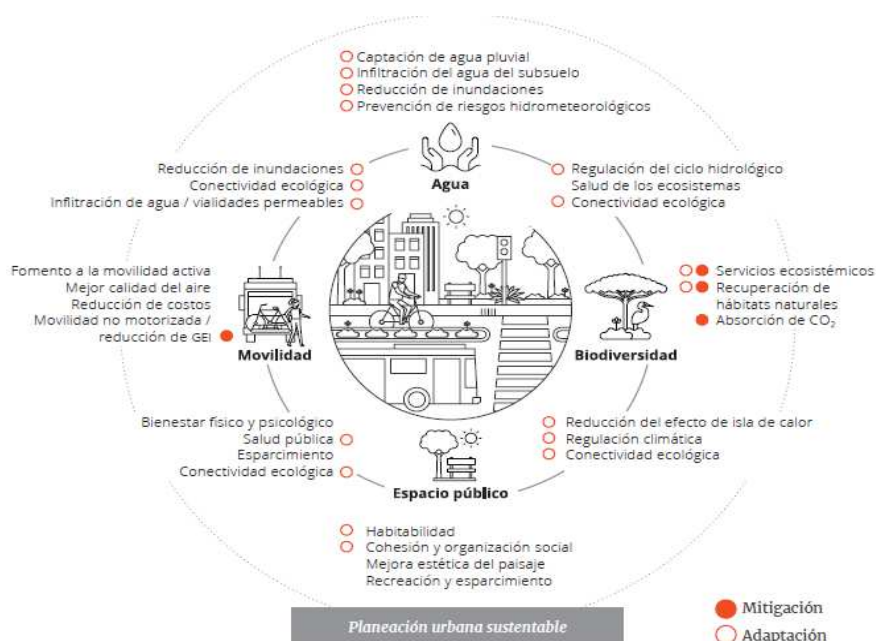
Servicios de mitigación	Servicios de adaptación
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secuestro de carbono ▪ Reducción del uso de energía para calefacción y enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de islas de calor urbanas ▪ Almacenamiento de agua subterránea ▪ Disminución del escurrimiento superficial

- Provisión de materiales de construcción menos intensivos de energía
- Se minimiza la erosión del suelo
- Fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas al cambio climático

Nota. Elaboración propia retomado de Vásquez, 2016.

Aunado con lo anterior, GIZ (2019) toma en consideración ejes temáticos para la implementación de acciones en la infraestructura verde y que a su vez están asociados al cambio climático como se ve en la ilustración 2. Los ejes se enfocan en, agua; biodiversidad; movilidad y espacios públicos, entre estos debe existir una sinergia de modo que la planeación urbana sea sustentable, por ejemplo, la infraestructura verde urbana orientada a áreas verdes genera beneficios en la adaptación y mitigación al C.C. ya que estas ayudan en la regulación del ciclo hidrológico, captan agua pluvial infiltrándola al subsuelo por lo que se evitan inundaciones; a su vez las zonas vegetativas fomentan a la movilidad activa, lo que hace que se utilice menos el vehículo, se mejore la calidad del aire y exista una reducción de GEI; los espacios públicos como lo son los parques ayudan en mejorar la salud pública, crean cohesión y organización social, la gente se puede esparcir sanamente ya que es perceptible la confortabilidad climática; así mismo la vegetación urbana genera servicios ecosistémicos de gran importancia y ayuda en la recuperación de hábitats naturales.

Ilustración 2. Ejes temáticos de Infraestructura Verde Urbana y Cambio Climático



Nota. Ilustración tomada de Hoja de ruta, GIZ (2019).

1.4 Situación Actual en cuanto a áreas verdes y contaminación en el Municipio de Toluca

A pesar de que se reconocen los beneficios sociales, ambientales y económicos de la infraestructura verde, la presencia de áreas verdes es insuficiente para la cantidad de habitantes que viven en las metrópolis. Para el caso del municipio de Toluca, cuenta con una superficie de 426.85 km², que representa el 1.8% del territorio estatal; su población es de 910,608 habitantes de los cuales, 77% viven en localidades urbanas (Ayuntamiento de Toluca, 2019a & Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2021), cada vez son más personas las que migran a las ciudades, sin embargo, este fenómeno ha provocado un incremento de calles y edificios, dejando de lado las áreas con vegetación. La capital del Estado cuenta con 6.9 m² de áreas verdes por habitante, sin embargo, quitando áreas naturales protegidas y considerando solo las áreas existentes en zona urbana el resultado es de 0.14 m²/hab. (Ayuntamiento de Toluca, 2019 a). Esta cifra se encuentra muy por debajo de las recomendaciones de 9 a 12 m² de áreas verdes por habitante, o en su caso que la gente viva a 15 minutos caminando a un parque urbano o área verde.

Como se refleja en el párrafo anterior las áreas verdes por habitante en la ciudad de Toluca son escasas, sin embargo, es posible cambiar este comportamiento si se pondera el valor de los servicios ecosistémicos existentes en las urbes; ya que, si se conoce el impacto de los servicios emanados por la presencia de arbolado, se pueden proponer estrategias para su incremento y del mismo modo mitigar la contaminación atmosférica de la capital del Estado. La ciudad de Toluca, a través de su historia, ha tenido un crecimiento demográfico de gran intensidad, el cual se inicia en el año de 1960 debido a las altas tasas de natalidad y la inmigración, resultado del proceso de industrialización en el Estado de México, lo cual convirtió al municipio en un importante centro de atracción poblacional, de 1950 al año 2010 el incremento fue de 704 mil 542 habitantes y la tasa de crecimiento de los años 2000 a 2010 fue de 2.02% (COESPO, 2010), para el año 2020 el aumento poblacional también ha sido considerable; ya que de acuerdo con el censo de población y vivienda 2020 el número de personas llegó a 910 mil 608, siendo el tercer municipio del Estado de México con más habitantes. El crecimiento demográfico y el aumento de vehículos han provocado que sea una de las ciudades más contaminadas.

En un reporte mundial en el 2018, Toluca ocupó el noveno lugar entre las ciudades de provincia con mayor contaminación atmosférica por PM_{2.5} en América Latina y el Caribe, con un promedio anual de 26.4 mcg/m³, e incluso superó a Ciudad de México. Las PM_{2.5} en el aire provoca tos, sensación de falta de aire, disminución de la función pulmonar, agravamiento del asma y

enfermedad pulmonar obstructiva crónica, disritmias cardíacas, infartos al miocardio, riesgo de infecciones respiratorias y aumento de la mortalidad asociada con las condiciones enumeradas (Ghorani Azam, 2016; Sun, 2019, citado por Espinoza, 2020).

En este mismo tenor, de acuerdo con información de la OMS 2018, sobre calidad del aire, revisada por Sotomayor, 2022 del periódico Proceso se muestra que la capital del Estado se encuentra entre los primeros lugares por contaminantes de PM2.5 de las ciudades de México, la Zona Metropolitana de la CDMX registró 31, la región de La Laguna 30 y Toluca de Lerdo 31 PM2.5, lo que supera por el triple lo estipulado por la OMS para conservar sanos los pulmones. Para el año 2022 Toluca ascendió al segundo lugar en cuanto a ciudades mexicanas con más contaminación por partículas, 80 PM10 y 33 PM2.5., estando después de Monterrey que tiene una concentración de 86 PM10 y de 36 PM2.5. La Ciudad de México se situó en el séptimo lugar del estudio, con 42 PM10 y 20 PM2.5 (Valor compartido, 2022).

Con base en AD Noticias (2021) en donde menciona el Informe Mundial sobre la Calidad del Aire 2020, elaborado por la compañía IQAir, en 2020 se posiciona a Toluca en el cuarto lugar de las urbes más contaminadas de Latinoamérica, por debajo de tres metrópolis chilenas; también es la sexta ciudad más contaminada de Norteamérica, detrás de cinco ciudades de Estados Unidos. A nivel mundial, el informe evalúa a 5 mil ciudades del mundo y Toluca se encuentra en el lugar 485.

Por otra parte, derivado del estudio “Asociación entre mortalidad por Covid-19 y contaminación atmosférica en ciudades mexicanas” publicado en mayo del 2021, resulto que, de 25 ciudades analizadas, Toluca ocupa el quinto lugar con mayor promedio de contaminación por NO₂. La mayor parte tiene su origen en la oxidación del NO que se produce en la combustión de los motores de los vehículos, fundamentalmente el diésel como en el caso del transporte público. El NO emitido por los motores, una vez en la atmósfera, se oxida y se convierte en NO₂. También se sabe que la exposición continua NO₂ se relaciona con diversas enfermedades de las vías respiratorias, como la disminución de la capacidad pulmonar, bronquitis agudas, asma y se considera el culpable de los procesos alérgicos, sobre todo en niños. Se ha relacionado las exposiciones crónicas a bajo nivel con el enfisema pulmonar (AD Noticias 2021).

En este contexto resulta evidente que Toluca es de las ciudades más contaminadas en América Latina y en México por lo que es importante la implementación de obras y acciones como la

infraestructura verde que ayude a minimizar la problemática ambiental y social que influye en enfermedades hacia los habitantes de la urbe.

2. Marco Teórico

2.1. Teoría General de Sistemas

La Teoría General de Sistemas (TGS) permite mostrar la complejidad de las interrelaciones en los diversos ecosistemas. Asimismo, permite identificar los diversos principios que se suscitan para que los sistemas estén en equilibrio. Con respecto a la infraestructura verde cada componente ya sea arbóreo, faunístico, hidrológico, social o económico son indispensables para que las ciudades estén en equilibrio y sean sustentables, pasan por diversas etapas de adaptación y mitigación, por ejemplo, al cambio climático. Por ende, en este apartado se abordan algunos antecedentes, fundamentos y características de la TGS.

2.1.1. Antecedentes de la Teoría General de Sistemas

La TGS surge con los trabajos del alemán Ludwig von Bertalanffy entre 1950 y 1968. Sin embargo, hay antecedentes de que en el año 2,500 A.C, en China se identificaron algunos principios de los sistemas. Uno de ellos es el de integración en donde “el todo es mayor que cada una de las partes que lo componen” (García, 1995). También los griegos, en la filosofía presocrática postularon algunos principios, pero en la época de Platón y Aristóteles apareció por primera vez el término *sistema* (García, 1995).

En la actualidad, la TGS ha contribuido a diversas investigaciones sobre el comportamiento de los sistemas, sobre todo con respecto a los principios, conceptos e ideas que han servido para comprender fenómenos de diversos campos de las ciencias naturales y sociales. Los enfoques que desarrolla son complementarios y su ponderación dependerá del sistema de análisis. En el primero se observa el universo empírico para elegir fenómenos generales que se encuentran en las diferentes perspectivas disciplinarias que tratan de construir un modelo teórico que los explique. Este enfoque considera un conjunto de todos los sistemas concebibles y busca reducirlo a un tamaño que requiera el investigador. En caso específico, cada uno de sus componentes muestra un “comportamiento” con relación a la variedad del medio ambiente, es decir, con otros individuos con los que él entra en contacto o tiene alguna relación. En el segundo enfoque es posible ordenar los campos empíricos en una jerarquía de acuerdo con la complejidad

de la organización de sus individuos Este enfoque conlleva a lo que se ha denominado “un sistema de sistemas” (Johansen, 1993).

2.1.2. Fundamentos de la Teoría General de Sistemas

En el ámbito del desarrollo de la ciencia, han proliferado dos líneas de pensamiento. La primera es iniciada por von Bertalanffy y continuada por Boulding y otros. La idea central es llegar a la integración de las ciencias. El segundo movimiento se conoce con el nombre de “ingeniería de sistemas” o “ciencias de sistemas” iniciada por la investigación de operaciones y seguida por la administración científica (*Management Sciences*) y finalmente por el Análisis de Sistemas (Johansen, 1993).

Por lo que la palabra sistema proviene etimológicamente de *sunistemi* designa un conjunto formado de partes, elementos que se relacionan entre sí de manera articulada. Según Von Bertalanffy (1976, p. 311) Así, un sistema es un conjunto determinado al interior y al exterior por elementos en interrelación e interdependencia, que a la par realiza funciones conectadas entre sí en el tiempo y en el espacio por una serie de decisiones y evaluaciones del comportamiento. Por su parte Luhmann (1988) confiere al sistema una función más descriptiva que explicativa y desarrolla diversas premisas, tal como se expresan en la Tabla 5.

Tabla 5. Infraestructura verde y servicios ecosistémicos en el equilibrio o sustentabilidad en la Ciudad de Toluca.

Función del sistema/premisa	Estudio de caso
1. Todo sistema es un conjunto de relaciones.	Se refiere al conjunto de relaciones biofísicas, urbanas-sociales del ecosistema urbano de la ciudad de Toluca.
2. Cada sistema está constituido por procesos de equilibrio.	Se refiere a que las áreas verdes, vistas como ecosistemas, contribuyen a la regulación de la temperatura, a la captación de GEI, captación de agua en los mantos freáticos, mejora del paisaje urbano, mejora de bienestar socioemocional, mejores condiciones vida y laboral.
3. Su información, energía o materia se consideran como algo que tiende a producir movimiento o trabajo, entonces son indistinguibles en algunas de sus relaciones.	Se refiere a que la información, energía, materia o biomasa mejoran y son más eficientes las relaciones.
4. Todo sistema contiene relaciones de inercia, es decir, se resiste a cambiar sus parámetros esenciales.	Se refiere a considerar las condiciones esenciales de una comunidad vegetativa endémica o ecosistema endémico urbano.

5. Todo sistema es selectivo con respecto a sus posibles relaciones.	Se refiere al conjunto de vegetación con funciones de la polinización, captación de GEI, captación de agua, mejora de paisaje y mantenimiento.
6. Cada sistema contiene relaciones polares equilibradas mediante procesos internos.	Se refiere al desarrollo de vegetación sujeto a condiciones extremas de desarrollo.
7. Las relaciones internas codeterminan la variedad de los subsistemas, el desarrollo del sistema, la variedad de las relaciones externas y sus fronteras.	Se refiere a que las propuestas de desarrollo de vegetación tendrían que incluir diversos estratos y especies endémicas.
8. Cada sistema está sujeto a un cambio permanente mediante sus relaciones externas.	Se refiere a que las propuestas de desarrollo de vegetación que estén sujetas a condiciones externas como cambio climático. Niveles de resiliencia y adaptación de las especies.
9. Los sistemas tienen límites o fronteras que en realidad reflejan las relaciones u operaciones de diferenciación entre lo que incluye o excluye el sistema.	Identificar si la conectividad, es inclusiva o excluyente en el desarrollo de movilidad de ciertas especies: aves, insectos, lepidópteros, reptiles, etc.
10. Las relaciones externas codeterminan las fronteras del sistema y pueden existir dentro de una jerarquía de sistemas.	Identificar zonas de apertura que promuevan la conectividad.
11. El universo consiste en una serie de procesos de sintetización y desintegración de sistemas.	Sistema de conectividad en el municipio de Toluca para mostrar el comportamiento del sistema de estudio.

Nota. Elaboración propia, con base en Luhmann (1988).

Ambiente. El ambiente es el área donde se presentan los sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento de un sistema. Un sistema no puede compararse con el ambiente. La única posibilidad de relación entre un sistema y su ambiente es la absorción selectiva de aspectos ambientales por parte del sistema. Esta selectividad especializada con relación al ambiente disminuye la capacidad de reacción a los cambios externos e incide directamente en la aparición de sistemas abiertos (Leal, 2010).

Complejidad. Es la cantidad de elementos de un sistema que muestran sus potenciales interacciones y el número de estados posibles. La complejidad está en proporción directa con su variedad y variabilidad (Leal, 2010).

Conglomerado. El conglomerado es la suma de las partes, de los componentes y de los atributos de un conjunto desprovista de sinergia (Leal, 2010).

Elemento. Cada una de las partes o componentes de un sistema, sea un objeto o un proceso. Los elementos se pueden organizar en un modelo (Leal, 2010).

Entropía. La entropía crea la probabilidad máxima de desorganización de los sistemas y su consecuente homogeneización con el ambiente. Los sistemas cerrados están destinados a la desorganización, aunque algunos revierten la tendencia temporalmente y aumentan su nivel de organización (Leal, 2010).

Entropía negativa o neguentropía. La neguentropía es una medida de orden en donde el organismo se mantiene estacionario y a un nivel de orden; es decir, a un nivel bajo de entropía. Consiste en extraer continuamente orden u organización de su medio (Johansen, 1993).

Homeostasis. En la homeostasis las compensaciones internas que sustituyen, bloquean o complementan los cambios con el objeto de mantener la estructura sistémica; es decir, de conservar su forma. Opera en respuesta a variaciones ambientales y concierne a los organismos vivos en tanto sistemas adaptables (Leal, 2010).

Información. La información es la fuente de energía del ambiente en los sistemas complejos. La cantidad de esta información se conforma por la que está permanece y la que entra; su comunicación no elimina la información del emisor o fuente (Leal, 2010).

Input. El input importa recursos tales como: energía, materia, información, necesarios para iniciar el ciclo de actividades del sistema (Leal, 2010).

Sinergia. Sinergia es la propiedad común a todas las cosas que se observan como sistemas. Este fenómeno surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema, en donde todo sistema es sinérgico (Leal, 2010).

Resiliencia. La resiliencia sirve para comprender las dinámicas no lineales y de los procesos en donde los ecosistemas se auto mantienen y persisten frente a perturbaciones y los cambios. Así, la resiliencia se mide por el tamaño de perturbaciones que pueden ser absorbidas por el sistema antes de que sea reorganizado con diferentes variables y procesos (Calvente, 2007).

El concepto de resiliencia tiene tres características definitorias según Calvente, 2007, las cuales son:

- a. La transformación que un sistema complejo puede soportar manteniendo sus propiedades funcionales y estructurales,
- b. El grado en el que el sistema es capaz de autoorganizarse,

- c. La habilidad del sistema complejo para desarrollar e incrementar la capacidad de aprender, innovar y adaptarse.

Calvente 2007 menciona que en uno de los trabajos del *Resilience Project (Navigating Social-Ecological Systems)* enfoca su investigación en las dinámicas de sistemas complejos que se dirigen a cuatro aspectos estrechamente interrelacionados, tales como:

- a. Las desestabilizaciones, vistas como perturbaciones que desestabilizan el “status quo”, son una fuerza esencial en la transformación de sistemas complejos.
- b. La diversidad, que provee las fuentes para las respuestas adaptativas.
- c. El conocimiento, que permite acceso a información, la experiencia y el aprendizaje.
- d. La autoorganización, que utiliza la memoria del sistema complejo para renovarse y reorganizarse.

2.1.3. Tipos de Sistemas

Sistema abierto

El sistema abierto designa el conjunto de intercambios con el entorno y por su mediación, la serie de modificaciones que estos procuran al sistema. De hecho, este sistema señala el estudio de los efectos del entorno sobre del sistema y viceversa, así como la interacción con los sistema exteriores que a la par interaccionan con el entorno; donde suponen la existencia de series de sistema que a su vez interactúan entre sí y que tienden a formar supra sistemas en los cuales los sistemas originales progresivamente se constituyen en partes de la entidad emergente.

Con frecuencia los sistemas abiertos logran equilibrar las fuerzas internas y externas a través de un balance dinámico; cuyo objetivo es la estabilidad. En su defecto, tiene lugar la modificación de los parámetros esenciales. Cuando el equilibrio es imposible con los parámetros existentes o superficiales, si es más fácil alcanzar la restauración del equilibrio. (De la Reza, 2001).

Otra definición del sistema abierto es la de Johansen (1993); cuya mención es a V. L. Parsegian, es que:

1. Existe un intercambio de energía y de información entre el sistema y el entorno.
2. El intercambio mantiene una forma de equilibrio continuo.
3. Y las relaciones con el entorno admiten cambios y adaptaciones.

Así, un sistema abierto interactúa con su medio con la importación de energía, transformación de alguna forma la energía y exportación de la energía convertida.

Desde este marco de los principios del sistema, la ciudad funciona como un sistema abierto; ya que interactúa con su medio y necesita la entrada y salida de energía. Para el caso de la infraestructura verde enfocada a los servicios ecosistémicos, las áreas verdes interactúan con cada uno de los elementos del ambiente, de modo que también contribuyen a la adaptación y mitigación al cambio climático. Por ejemplo, un parque, al funcionar como un sistema complejo requiere diversas interacciones y depende de cada elemento para funcionar y acceder al equilibrio. Los árboles necesitan el suelo, así como el suelo necesita de los árboles para mantenerse con vida. Su función simbiótica es para captar agua, filtrarla y tenerla disponible para el suministro. Los árboles pueden almacenar y secuestrar dióxido de carbono que como se sabe es un gas de efecto invernadero. También los parques tienen una función de mejora visual y de esparcimiento.

Sistema cerrado

El sistema cerrado designa la ausencia de interacción con el entorno, sea en términos materiales o conceptuales. Los sistemas cuyas condiciones de funcionamiento y de relación con el exterior están estrictamente definidas. La permanente interacción con otros sistemas significa que el cierre tiene un carácter convencional y sólo puede aplicarse a una relación externa exigua. Esto facilita que el estado final esté conectado con la premisa del fenómeno (De la Reza, 2001). También el sistema cerrado es aquel que no intercambia materia con el medio ambiente. (García, 1995).

Un sistema cerrado es aquel que posee las siguientes características:

1. Las variaciones del medio que afectan al sistema son conocidas.
2. Su ocurrencia no puede ser predicha.
3. Y la naturaleza de las variaciones es conocida (Johansen, 1993).

2.1.4. Características de los Sistemas

Según Von Bertalanffy (1976), sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas. De ahí se deducen dos conceptos: propósito (u objetivo) y globalismo (o totalidad) que determinan:

- a. Límite o frontera: discontinuidad estructural que marca la diferencia entre el sistema y el entorno. El límite define la identidad de los elementos del sistema.
- b. Propósito u objetivo: todo sistema tiene uno o algunos propósitos. Los elementos (u objetos), como también las relaciones definen una distribución que trata de alcanzar un objetivo.
- c. Globalismo o totalidad: un cambio en una de las unidades del sistema, con probabilidad producirá cambios en las otras, ocasionando un ajuste a todo el sistema.

2.2. La Ciudad y la Teoría General de Sistemas

De acuerdo con Rees, (2012); Weinstein *et al.* (2013) citados por Jiménez (2016). Las ciudades son subsistemas abiertos, crecientes y dependientes que viven en la ecósfera finita, con una fuente externa de energía y con ciclos cerrados de materiales que crecen y se mantienen a sí mismas.

Es así como los conglomerados urbanos proyectan desorden en su medio exterior a escalas diversas, generando energía disipativa de baja calidad al salir del sistema de la ciudad, a la par incrementan su entropía/desorden en el medio ambiente exterior. Así, las ciudades pueden crecer y aumentar su orden interno solamente por desorden de la ecósfera y el aumento de la entropía global en otros lugares (Rueda, (1997) mencionado por Jiménez, (2016)).

En el conjunto de las relaciones externas de las ciudades es relevante el funcionamiento del “aparato digestivo” urbano y los flujos lineales de materiales. Aunque las características de las ciudades complejas son asimilables a las de un ecosistema natural, según Higuera (2009) citado por Jiménez, (2016), no poseen un metabolismo de ciclo cerrado, sino un metabolismo lineal doble (recursos y residuos), siendo su principal particularidad los grandes recorridos horizontales de los recursos de agua, alimentos, electricidad y combustibles que genera, capaces de explotar otros ecosistemas lejanos y provocar importantes desequilibrios territoriales a escala planetaria. En el funcionamiento de la ciudad está basado en el consumo masivo de energías secundarias (no primarias), como la electricidad, el petróleo o el gas que es lo que permite el crecimiento y mantenimiento, a diferencia de los ecosistemas que tienen una fuente de energía inagotable como el sol, que garantiza indefinidamente su funcionamiento (Jiménez, 2016).

Los sistemas urbanos son ecosistemas complejos con una estructura y funcionamiento, incluyendo componentes bióticos y abióticos en un espacio y tiempo que definen patrones de

comportamiento y distribución de especies, así como una dinámica de poblaciones y de comunidades. Además, existen complejas y densas redes responsables del intercambio de materia, energía y de la propia información con efecto multiplicador (Jiménez, 2016).

Puesto que los sistemas urbanos son sistemas abiertos de intercambio de materia, energía e información, las intervenciones tendrían que aplicar los principios y reglas que dicta el funcionamiento del sistema para maximizar la entropía recuperada en forma de información. Esto se traduce en hacer más eficiente el sistema y minimizar la entropía proyectada al entorno, es decir, reducir la huella ecológica de la ciudad (Higueras, 2009 en Jiménez, 2016).

3. Experiencias de Desarrollo de Infraestructura Verde en México

Hermosillo

Se puso en marcha el programa Adopta un Bulevar, el Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo elaboró el “Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para Municipios Mexicanos” y la “Norma Técnica sobre Infraestructura Verde”. Los actores que participaron pertenecen al sector público, social, académico y universitario. Entre los beneficios más importantes se encuentra la intervención de 6.6 ha. de espacios públicos con infraestructura verde y 48 especies vegetales adaptadas a la zona. Además, se ha trabajado con la definición de calle completa incorporada a los programas de desarrollo urbano y de desarrollo metropolitano. También se realizó el programa de drenaje pluvial e infraestructura verde para el centro de población de Hermosillo, este es un instrumento para que la autoridad municipal cuente con la información hidrológica y de la red de drenaje pluvial de la ciudad, con la cual se pueda planear y programar en forma ordenada las obras de infraestructura hidráulicas requeridas, tanto en el presente como en el futuro (Ayuntamiento de Hermosillo & Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo. (s.f.)).

Mérida

Se elaboró el Plan Municipal de Infraestructura Verde Mérida 2021-2024 y el reglamento de arbolado urbano, en el proceso participaron diversos actores, entre los que se encuentra la sociedad civil, las instituciones educativas como universidades y las instituciones gubernamentales. El plan presenta una alineación con el marco normativo; resultados del anterior Plan de I.V., así como sus áreas de oportunidad; el proceso participativo que incluye la metodología y los resultados, también las estrategias complementarias y finalmente las acciones

puntuales en donde se trabajará, esta se divide en 4 ejes que son: 1. Estudios e indicadores, 2. Proyectos y programas, 3. Educación y cultura ambiental y 4. Políticas públicas. El objetivo del Plan Municipal de Infraestructura Verde 2021-2024 es hacer de Mérida un lugar en donde mejore la calidad de vida de las personas, pero sin dejar atrás la sustentabilidad con una visión a largo plazo (Ayuntamiento de Mérida 2021-2024. (s.f.)).

La Paz

Se realizó un proyecto de infraestructura verde en una escuela preparatoria, se dividió en dos fases, una que fue la investigación y la segunda consistió en generar la propuesta; el involucramiento de la comunidad estudiantil fue un factor importante para permitir su apropiación. Al momento, hay beneficios tangibles en relación con la disponibilidad de agua en el plantel (GIZ, 2019).

Estado de México

Se realizaron dos Normas Técnicas Ambientales de Manejo de Arbolado y de Áreas Verdes Urbanas; NTEA-018-SeMAGEM-DS-2017 y NTEA-019-SeMAGEM-DS-2017 para su elaboración se contó con la participación de Instituciones educativas, gubernamentales, ONG, y sociedad civil, así mismo se ha brindado asesoría para su ejecución en los municipios, la finalidad es que se dé manejo adecuado a las áreas verdes urbanas y que se evite podas mal elaboradas, de tal modo que el arbolado se encuentre sano (Gobierno del Estado de México, 2018 a y b).

Morelia

Se realizó una formulación del Sistema Municipal de Áreas de Valor Ambiental (SMAVA), la finalidad es que Morelia pueda contar con zonas con categorías de protección ambiental y que estas puedan ser manejadas adecuadamente de modo que prevalezcan e incrementen los servicios ambientales que resultan ser de gran beneficio para los habitantes del lugar y que a su vez estos beneficios sigan prevaleciendo para las generaciones futuras (Sánchez, 2020).

Ciudad de México

Infraestructura Verde y Corredores Ecológicos de los Pedregales: Ecología Urbana del Sur de la Ciudad de México, consistió en la elaboración de propuestas que tienen como objetivo el mejoramiento urbano. La clave de esta serie de propuestas está fundamentada en el concepto

de construcción de una red de infraestructura verde deseable para la zona metropolitana de la Ciudad de México, en donde se mejore el acceso de las personas que habitan en los Pedregales, así como que el ecosistema se beneficie y se puedan minimizar los impactos no deseados de las zonas que colindan con las áreas en donde se implementa la Infraestructura Verde (Suarez et al 2011).

León

Su objetivo fue formular una guía para la planeación de la Infraestructura Verde en el municipio de León, como medida de adaptación contra el cambio climático, mejorando la provisión de servicios ecosistémicos en el ámbito urbano y periurbano (Instituto Municipal de Planeación de León, 2020).

4. Marco Normativo de la Infraestructura Verde

Las normas son un reflejo de las preocupaciones y ocupaciones de un país, pero también de los sistemas institucionales, organizacionales y sociales, que cuidan las actividades y las relaciones de los individuos en las diversas dimensiones de la expresión social, a través de un pacto para constituir un estado y nación.

También las normas, como instrumentos, se presentan como los resultados de trabajos de expertos en diversas materias, que acuerdan las condiciones mínimas que debe tener un producto, servicio o sistema de gestión; y sobre todo expresan las demandas de la sociedad en su conjunto. Por eso aquí incluimos la serie de instrumentos que sustentan las acciones para las mejoras del medio ambiente urbano, especialmente el centrado en la infraestructura verde.

Como nota aclaratoria, diremos que, en el orden jerárquico de mandato, las leyes internacionales están por encima de las nacionales, a su vez éstas se encuentran por arriba de las estatales y, éstas últimas, por encima de las municipales.

Entonces, en este trabajo nos ocupamos de los instrumentos legales que aplican en la planeación municipal como se ve en la tabla 6, en especial al tema de la infraestructura verde, si bien en México no existe normatividad específica en cuanto a este tópico, se analizan los instrumentos que más se acercan para destacar la importancia del tema de interés.

Tabla 6. Normatividad referida a los tres niveles de gobierno

Federal	Art.	Estatal	Art.	Municipal	Art.
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	4, 25, 26 y 115	Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México	18 y 139	Bando Municipal de Toluca	48, 67 y 71
Ley de Planeación	2, 9 y 27	Ley de Planeación del Estado de México y Municipios	5	Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2022-2024	
Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	2, 4, 11, 40, 53, 54 y 74	Código para la Biodiversidad del Estado de México	1.2, 2.9, 2.35 y 2.60	Plan de Acción Climática Municipal Toluca 2030	
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	1, 2, 7, 8, 23 y 157	Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023	Pilar territorial		
Estrategia Nacional de Cambio Climático		Ley de Cambio Climático del Estado de México	1, 2, 21 y 22		
Agenda 2030		Ley Orgánica Municipal del Estado de México	31 96		
		Programa Estatal de Cambio Climático			

Nota. Elaboración propia.

4.1 Instrumentos Federales

4.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Cámara de Diputados (2023) menciona que la Constitución es el pacto social que rige todas las actividades en nuestro territorio. Aquí identificamos los artículos que fundamentan el derecho a una vida sana proveniente de las condiciones ambientales.

Artículo 4o.- *La mujer y el hombre son iguales ante la ley. Ésta protegerá la organización y el desarrollo de la familia.*

Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.

Este artículo evidencia que el disfrutar de un medio ambiente sano es un derecho de todos los mexicanos, por tal razón, la presencia de áreas verdes en las ciudades influye en que las personas tengan salud física y mental, en esto radica la importancia de su preservación que se expresan en los derechos humanos de cuarta generación.

Artículo 25. ... *El Estado velará por la estabilidad de las finanzas públicas y del sistema financiero para coadyuvar a generar condiciones favorables para el crecimiento económico y el empleo. El Plan Nacional de Desarrollo y los planes estatales y municipales deberán observar dicho principio.*

Artículo 26. A. *El Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, competitividad, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación.*

Título Quinto De los Estados de la Federación y de la Ciudad de México

Artículo 115. *Los estados adoptarán, para su régimen interior, la forma de gobierno republicano, representativo, democrático, laico y popular, teniendo como base de su división territorial y de su organización política y administrativa, el municipio libre, conforme a las bases siguientes:*

V. Los Municipios, en los términos de las leyes federales y Estatales relativas, estarán facultados para:

a) Formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal, así como los planes en materia de movilidad y seguridad vial.

c) Participar en la formulación de planes de desarrollo regional, los cuales deberán estar en concordancia con los planes generales de la materia. Cuando la Federación o los Estados elaboren proyectos de desarrollo regional deberán asegurar la participación de los municipios.

En los artículos 25, 26 y 115 se habla primordialmente de la planeación democrática; cuya importancia es que los diversos niveles de gobierno cuenten con plan de desarrollo urbano; ya

que, como instrumento, fundamenta el actuar y dirección de la administración. En el caso de esta investigación es relevante conocer la forma en que se aborda la temática ambiental, las acciones, recursos, así como los múltiples beneficios que la sociedad tendrá.

4.1.2 Ley de Planeación

La Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1983) menciona en la Ley de Planeación en los artículos 2, 9 y 27 que:

Artículo 2o.- *La planeación deberá llevarse a cabo como un medio para el eficaz desempeño de la responsabilidad del Estado sobre el desarrollo equitativo, incluyente, integral, sustentable y sostenible del país, con perspectiva de interculturalidad y de género, y deberá tender a la consecución de los fines y objetivos políticos, sociales, culturales, ambientales y económicos contenidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Para ello, estará basada en los siguientes principios:*

II.- La preservación y el perfeccionamiento del régimen representativo, democrático, laico y federal que la Constitución establece; y la consolidación de la democracia como sistema de vida, fundado en el constante mejoramiento económico, social y cultural del pueblo en un medio ambiente sano;

III.- La igualdad de derechos entre las personas, la no discriminación, la atención de las necesidades básicas de la población y la mejoría, en todos los aspectos de la calidad de la vida, para lograr una sociedad más igualitaria, garantizando un ambiente adecuado para el desarrollo de la población;

Artículo 9o.- *Las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal deberán planear y conducir sus actividades con perspectiva intercultural y de género y con sujeción a los objetivos y prioridades de la planeación nacional de desarrollo, a fin de cumplir con la obligación del Estado de garantizar que éste sea equitativo, incluyente, integral, sustentable y sostenible.*

Artículo 27.- *Para la ejecución del Plan y los programas sectoriales, institucionales, regionales y especiales, las dependencias y entidades elaborarán sus anteproyectos de presupuestos, considerando los aspectos administrativos y de política económica, social, ambiental y cultural correspondientes.*

El funcionamiento de las ciudades depende, en gran medida, de contar con instrumentos que reflejen las necesidades sociales, pero también de los protocolos de toda naturaleza para cumplir con las metas trazadas en los diversos plazos, así como de los recursos propios y etiquetados provenientes del estado y de la federación, por ello, en la Ley de Planeación, en los Artículos 2, 9 y 27 se incorporan las dimensiones sociales, políticas, culturales, ambientales y económicas que permiten garantizar la inclusión, la democracia, la mejora de la calidad de vida de la población. Al mismo tiempo, cada plan o programa debe ser elaborado y ejecutado de acuerdo con las características de cada lugar.

4.1.3 Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

En la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2016) de la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano en los artículos 2, 4 y 11 son explícitos al mencionar que todas las personas tienen derecho a vivir y disfrutar de las ciudades, con base en una planeación que represente sus necesidades y mejoren su calidad de vida en un marco de espacios públicos seguros, inclusivos, agradables, limpios, sanos y de confort. De ahí la importancia de la presencia de la infraestructura verde para asegurar las condiciones antes señaladas.

De manera particular, se reconoce el papel de los servicios mencionados para generar oxígeno y retener de dióxido de carbono, entre otros. Este reconocimiento de los servicios ecosistémicos lleva a tener mejores condiciones de vida en las ciudades, pero también en la aportación, la adaptación y la mitigación al cambio climático y en la aspiración a tener urbes sustentables.

Artículo 2. *Todas las personas sin distinción de sexo, raza, etnia, edad, limitación física, orientación sexual, tienen derecho a vivir y disfrutar ciudades y Asentamientos Humanos en condiciones sustentables, resilientes, saludables, productivos, equitativos, justos, incluyentes, democráticos y seguros.*

Artículo 4. *La planeación, regulación y gestión de los asentamientos humanos, Centros de Población y la ordenación territorial, deben conducirse en apego a los siguientes principios de política pública:*

I. Derecho a la ciudad. Garantizar a todos los habitantes de un Asentamiento Humano o Centros de Población el acceso a la vivienda, infraestructura, equipamiento y servicios básicos, a partir

de los derechos reconocidos por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y los tratados internacionales suscritos por México en la materia.

VII. Protección y progresividad del Espacio Público. Crear condiciones de habitabilidad de los espacios públicos, como elementos fundamentales para el derecho a una vida sana, la convivencia, recreación y seguridad ciudadana que considere las necesidades diferenciadas por personas y grupos. Se fomentará el rescate, la creación y el mantenimiento de los espacios públicos que podrán ampliarse, o mejorarse, pero nunca destruirse o verse disminuidos. En caso de utilidad pública, estos espacios deberán ser sustituidos por otros que generen beneficios equivalentes.

VIII. Resiliencia, seguridad urbana y riesgos. Propiciar y fortalecer todas las instituciones y medidas de prevención, mitigación, atención, adaptación y Resiliencia que tengan por objetivo proteger a las personas y su patrimonio, frente a los riesgos naturales y antropogénicos; así como evitar la ocupación de zonas de alto riesgo.

IX. Sustentabilidad ambiental. Promover prioritariamente, el uso racional del agua y de los recursos naturales renovables y no renovables, para evitar comprometer la capacidad de futuras generaciones. Así como evitar rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas y que el Crecimiento urbano ocurra sobre suelos agropecuarios de alta calidad, áreas naturales protegidas o bosques.

Artículo 11. *Corresponde a los municipios:*

XX. Formular y ejecutar acciones específicas de promoción y protección a los espacios públicos

XXIV. Promover y ejecutar acciones para prevenir y, mitigar el riesgo de los asentamientos humanos y aumentar la Resiliencia de los mismos ante fenómenos naturales y antropogénicos.

En los Artículos 40, 53 (numeral I, IV y VII), 54 (numeral IV) y 74 se expresa la forma en que los Estados y los Municipios deben asegurar la mejora y desarrollo sustentable de los centros de población, a partir de la incorporación de áreas verdes y espacios públicos inclusivos y seguros, próximos, autónomos, diversos, vitales y representativos.

Artículo 40. *Los planes y programas municipales de Desarrollo Urbano señalarán las acciones específicas necesarias para la Conservación, Mejoramiento y Crecimiento de los Centros de*

Población, asimismo establecerán la Zonificación correspondiente. En caso de que el ayuntamiento expida el programa de Desarrollo Urbano del centro de población respectivo, dichas acciones específicas y la Zonificación aplicable se contendrán en este programa.

Artículo 53. *Para la ejecución de acciones de Mejoramiento y Conservación de los Centros de Población, además de las previsiones señaladas en el artículo anterior, la legislación estatal en la materia establecerá las disposiciones para:*

5. La protección ecológica de los Centros de Población y su crecimiento sustentable;

IV. La previsión que debe existir de áreas verdes, espacios públicos seguros y de calidad, y Espacio Edificable;

VII. La dotación de espacios públicos primarios, servicios, equipamiento o infraestructura, en áreas carentes de ellas, para garantizar en éstos acceso universal a espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en especial para mujeres, niños, niñas, adultos mayores y personas con discapacidad;

Artículo 54. *La legislación estatal de Desarrollo Urbano deberá señalar para las acciones de Crecimiento de los Centros de Población, las disposiciones para la determinación de:*

IV. La previsión que debe existir de áreas verdes, espacios públicos y Espacio Edificable.

Artículo 74. *La creación, recuperación, mantenimiento y defensa del Espacio Público para todo tipo de usos y para la Movilidad, es principio de esta Ley y una alta prioridad para los diferentes órdenes de gobierno, por lo que en los procesos de planeación urbana, programación de inversiones públicas, aprovechamiento y utilización de áreas, polígonos y predios baldíos, públicos o privados, dentro de los Centros de Población, se deberá privilegiar el diseño, adecuación, mantenimiento y protección de espacios públicos, teniendo en cuenta siempre la evolución de la ciudad.*

Los planes o programas municipales de Desarrollo Urbano, de conurbaciones y de zonas metropolitanas definirán la dotación de Espacio Público en cantidades no menores a lo establecido por las normas oficiales mexicanas aplicables. Privilegiarán la dotación y preservación del espacio para el tránsito de los peatones y para las bicicletas, y criterios de conectividad entre vialidades que propicien la Movilidad; igualmente, los espacios abiertos para

el deporte, los parques y las plazas de manera que cada colonia, Barrio y localidad cuente con la dotación igual o mayor a la establecida en las normas mencionadas.

4.1.4 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

ARTÍCULO 1o.- La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar;

III.- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;

ARTÍCULO 2o.- Se consideran de utilidad pública:

V.- La formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

ARTÍCULO 7o.- Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

XXI.- La formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, y

ARTÍCULO 8o.- Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

XVI.- La formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

De acuerdo con la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1988) la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en los artículos 1, 2, 7 (numeral XXI) y 8 (numeral XVI) fundamentan la necesidad de cuidar el ambiente como medida para garantizar el derecho a un entorno sano para la población. De hecho, también es importante saber la forma en que se formulan las acciones para enfrentar el cambio climático en los diferentes espacios de la administración de los Estados y Municipios. En este contexto, las ventajas de la implementación de infraestructura verde propician un sinnúmero de beneficios directos e indirectos, por ejemplo,

la presencia de áreas verdes permite la regulación de temperatura y disminuyan las islas de calor, del mismo modo se crea un confort térmico para la gente que vive cerca a zonas con vegetación, y a su vez aumenta el valor de los comercios aledaños.

ARTÍCULO 23.- Para contribuir al logro de los objetivos de la política ambiental, la planeación del desarrollo urbano y la vivienda, además de cumplir con lo dispuesto en el artículo 27 constitucional en materia de asentamientos humanos, considerará los siguientes criterios:

V.- Se establecerán y manejarán en forma prioritaria las áreas de conservación ecológica en torno a los asentamientos humanos

IX. La política ecológica debe buscar la corrección de aquellos desequilibrios que deterioren la calidad de vida de la población y, a la vez, prever las tendencias de crecimiento del asentamiento humano, para mantener una relación suficiente entre la base de recursos y la población, y cuidar de los factores ecológicos y ambientales que son parte integrante de la calidad de la vida.

El Artículo 23 numeral V y IX se refiere a la planificación que debe existir en el desarrollo urbano y vivienda, considerando que áreas de conservación aportan al equilibrio ambiental y a la calidad de vida. Incluye en este quehacer, la permanencia, incorporación y mantenimiento de áreas verdes; por lo tanto, también se debe cuidar la proporcionalidad entre los espacios verdes y el número de habitantes.

CAPÍTULO I Participación Social

ARTÍCULO 157.- El Gobierno Federal deberá promover la participación corresponsable de la sociedad en la planeación, ejecución, evaluación y vigilancia de la política ambiental y de recursos naturales.

4.1.5 Estrategia Nacional de Cambio Climático

La Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. tiene por objetivo minimizar las consecuencias del cambio climático, a través de tres acciones: la primera se refiere a los pilares de política nacional de cambio climático; la segunda a la adaptación a los efectos del cambio climático; y la tercera al desarrollo bajo en emisiones/mitigación. Los pilares de la estrategia mencionada y que se vinculan con este TTG so: pilar de política nacional de cambio climático, adaptación a los efectos del cambio climático y desarrollo bajo en emisiones/mitigación.

Tiene por objetivo enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono¹². Al ser el instrumento rector, éste describe los ejes estratégicos y líneas de acción a seguir con base en la información disponible del entorno presente y futuro, para así orientar las políticas de los tres órdenes de gobierno, al mismo tiempo que fomentar la corresponsabilidad con los diversos sectores de la sociedad. Esto con el objetivo de atender las prioridades nacionales y alcanzar el horizonte deseable para el país en el largo plazo.

La estrategia se integra por tres temas

- 1.- Pilares de política nacional de cambio climático
- 2.- Adaptación a los efectos del cambio climático
- 3.- Desarrollo bajo en emisiones/mitigación

La ENCC define seis pilares de política nacional de cambio climático (P), tres ejes estratégicos en el tema de adaptación (A) que nos dirigen hacia un país resiliente y cinco ejes estratégicos en materia de mitigación (M) que nos llevan a un desarrollo bajo en emisiones.

Pilares de política nacional de cambio climático

P1.10 Alinear la planeación y las políticas de desarrollo urbano, suelo, edificaciones sustentables, vivienda, energía, transporte, movilidad, áreas verdes, costas, gestión integral de residuos y agua para reducir la huella de carbono de los centros de población.

El pilar P1.10. señala la necesidad de contar con una planeación para cubrir todos los ámbitos de desarrollo de las poblaciones. La planeación debe considerar la presencia de áreas verdes en las ciudades; ya que la vegetación aporta beneficios múltiples.

Adaptación a los efectos del cambio climático

A3.2 Garantizar la restauración, conectividad, aprovechamiento sustentable y conservación de los ecosistemas como bosques, selvas, sistemas costeros, mares, ecosistemas riparios, humedales y de las comunidades bióticas que albergan y sus servicios ambientales.

A3.9 Aumentar la superficie bajo reforestación y restauración de ecosistemas con especies nativas, aptas para las condiciones climáticas regionales.

Las líneas de acción en este pilar A3.2 y A3.9 aplican a la temática de este TTG; puesto que permiten asegurar la presencia de recursos naturales (entre ellos se encuentra la infraestructura verde) y los beneficios que genere.

La línea A3.9 señala la importancia de aumentar la cobertura arbórea en la ciudad; por lo que es necesario que las forestaciones o reforestaciones se realicen con especies autóctonas del lugar, para que, de esta forma, los beneficios sean mayores, y la infraestructura verde, de acuerdo con las características y necesidades locales, se integre en la planeación.

Desarrollo bajo en emisiones/mitigación

La acción M3.1 hace hincapié en planear los territorios, y por lo tanto rehabilitar y cuidar los espacios que mejoren la calidad de vida de la población.

M3.1 Aumentar el uso controlado y eficiente del territorio al disminuir la expansión urbana y garantizar el acceso a suelo intraurbano, promover edificios de usos mixtos y verticales, privilegiar la densificación antes que la apertura de nuevas reservas en la periferia e incluir la integración de bosques urbanos y definir los límites de crecimiento de las ciudades.

4.1.6 Agenda 2030

De acuerdo con las Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron y será la guía de referencia para el trabajo de la institución en pro de esta visión durante los próximos 15 años.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 Objetivos y 169 metas, presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. Esta nueva Agenda es la expresión de los deseos, aspiraciones y prioridades de la comunidad internacional para los próximos 15 años. La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente. Es un compromiso universal

adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático.

La agenda 2030 es un instrumento enfocado en garantizar el desarrollo a partir de las tres dimensiones de la sostenibilidad. A su vez se compone por 17 objetivos y 169 metas. Para fines de este trabajo solamente se abordarán dos objetivos; el 11 que se refiere a ciudades y comunidades sostenibles y el objetivo 13 que se relaciona con la acción por el clima, como se muestra en la tabla 7. Cada uno de estos cuenta con diversas metas, mismas que fueron elegidas de acuerdo con su pertinencia en el TTG.

Tabla 7. Objetivos de la Agenda 2030: metas y su relación con el TTG

Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles	
Los problemas que enfrentan las ciudades se pueden vencer de manera que les permita seguir prosperando y creciendo, y al mismo tiempo aprovechar mejor los recursos y reducir la contaminación y la pobreza.	
Metas	Relación con el TTG
11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.	La ciudad de Toluca debe ser orientada hacia la sostenibilidad, para ello es importante tomar en consideración las tres dimensiones que son la ambiental, social y económica. Las acciones y proyectos deben ser pensados de manera integral.
11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.	Una medida importante para minimizar la contaminación del aire en las ciudades es la implementación de infraestructura verde, que permitirá la generación de diversos beneficios (sociales, ambientales y económicos).
11.7 De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.	Es fundamental que en la ciudad de Toluca existan espacios públicos de calidad, del mismo modo el incremento de áreas verdes es indispensable ante el crecimiento que ha tenido la capital del Estado en los últimos años.
11.b De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en	Ante los efectos de la contaminación, derivada principalmente por los gases de efecto invernadero (GEI), cada vez es notorio del cambio climático; por ello, es urgente que se implementen estrategias, sobre todo en las ciudades en aumenta el número de personas, y en respuesta se precisa la creación de infraestructura verde como

práctica, en consonancia con el Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles	medida para la adaptación y mitigación a este cambio, pero también como una acción de política pública que permite la resiliencia en Toluca.
---	--

Objetivo 13. Acción por el clima

El cambio climático afecta a todos los países en todos los continentes. Tiene un impacto negativo en la economía nacional y en la vida de las personas, de las comunidades y de los países. En un futuro las consecuencias serán todavía peores.

Metas	Relación con el TTG
13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.	Una medida resiliente para la capital del Estado de México es la creación de áreas verdes. Éstas pueden evitar la presencia de islas de calor y de otros efectos relacionados con el cambio climático.
13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales	La generación de políticas públicas en los tres órdenes de gobierno debe caminar para enfrentar al cambio climático, del mismo modo se deben ejecutar esas políticas, sin embargo, es importante ponderar los temas ambientales con la introducción de infraestructura verde en los diferentes instrumentos legales ambientales, así como en la planeación. Este sería el fundamento para garantizar el cuidado e introducción de las áreas verdes.

Nota. Elaboración propia con base a Naciones Unidas. (2018).

4.2 Instrumentos Estatales

4.2.1 Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México

Con base con la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México (Gobierno del Estado de México, 2022) menciona que en el **Artículo 18.-** *Corresponde al Estado procurar el desarrollo integral de los pueblos y personas, garantizando que fortalezca la Soberanía del Estado y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico, una política estatal para el desarrollo industrial que incluya vertientes sectoriales y regionales, el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución y las disposiciones legales de la Federación. La competitividad se entenderá como el conjunto de condiciones necesarias para generar un mayor crecimiento económico, promoviendo la inversión y la generación de empleo digno y bien remunerado. El desarrollo se basará en el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, cuidando la*

integridad de los ecosistemas, fomentando un justo equilibrio de los factores sociales y económicos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

Las autoridades ejecutarán programas para conservar, proteger y mejorar los recursos naturales del Estado y evitar su deterioro y extinción, así como para prevenir y combatir la contaminación ambiental.

La legislación y las normas que al efecto se expidan harán énfasis en el fomento a una cultura de protección a la naturaleza, al mejoramiento del ambiente, al aprovechamiento racional de los recursos naturales, a las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en el Estado y a la propagación de la flora y de la fauna existentes en el Estado. El daño y deterioro ambiental generarán responsabilidad en términos de ley.

Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.

Artículo 139.- *El desarrollo de la entidad se sustenta en el Sistema Estatal de Planeación Democrática, que imprima solidez, dinamismo, competitividad, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la libertad y la democratización política, social y cultural del Estado y que tiene como base el Plan de Desarrollo del Estado de México.*

En los Artículos 18 y 139 se menciona que el Estado debe procurar el desarrollo integral de las personas, este ideal se sustenta en el Sistema Estatal de Planeación Democrática y en el Plan de Desarrollo del Estado de México, sin embargo, para que exista tal desarrollo es importante proteger los recursos naturales, por lo cual se debe planear de acuerdo con los tres pilares de la sostenibilidad. Al respecto, el TTG incluye un análisis de los efectos de la presencia de la infraestructura en las tres dimensiones de la sustentabilidad.

4.2.2 Ley de Planeación del Estado de México y Municipios

Artículo 5.- *La planeación democrática tiene por objeto el desarrollo del Estado de México y Municipios, con pleno respeto a la soberanía estatal y a la autonomía municipal, en concordancia con los fines sociales, económicos, ambientales y políticos que establecen la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México.*

El Estado de México es uno de los más poblados en el país, por lo tanto, una correcta planeación permite que exista un mayor desarrollo, Este desarrollo debe ser social, económico, ambiental y político. Por lo que respecta al ámbito ambiental, es importante que se innove, se diseñen y ejecuten las políticas públicas que permitan desarrollo sostenible de los municipios (Gobierno del Estado de México, 2001)

4.2.3 Código para la Biodiversidad del Estado de México

El Gobierno del Estado de México. (2022) menciona a través del Código para la Biodiversidad en los artículo 1.2 (numeral I), 2.9 (numeral IX), 2.35 (numeral XIV y XVIII) y 2.60 (numeral I) que todas las personas tienen el derecho de gozar de un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar, de modo que la calidad de su vida aumente. Para ello, las autoridades Municipales tienen la responsabilidad de crear, preservar y conservar las áreas verdes de los centros de población, esto quiere decir que para que las personas puedan gozar de un ambiente sano, es importante que exista en la planeación de cada una de las esferas de gobierno, la incorporación de áreas verdes, que incluyan parques urbanos, corredores, camellones, jardines, áreas naturales protegidas y que, a la vez, éstas se puedan conectar. Esto permitiría una mejora para las zonas urbanas, periurbanas y rurales, y los beneficios se verían reflejados en las dimensiones sociales, ambientales y económicas de la sostenibilidad.

Artículo 1.2. *Son objetivos generales del presente Código:*

I. Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;

LIBRO SEGUNDO DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO, LA PROTECCION AL AMBIENTE Y EL FOMENTO AL DESARROLLO SOSTENIBLE

CAPITULO IV DE LAS FACULTADES DE LAS AUTORIDADES MUNICIPALES

Artículo 2.9. *Corresponden a las autoridades municipales del Estado en el ámbito de su competencia las siguientes facultades:*

IX. Crear y administrar zonas de preservación y conservación ecológica de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos y demás áreas de su competencia previstas por este Libro;

Artículo 2.35. *Para la formulación y conducción de la política ambiental y aplicación de los instrumentos previstos en este Libro en materia de preservación de la biodiversidad, restauración del equilibrio ecológico, sus hábitats y protección ambiental del Estado, se hará considerando e insertando en ella los siguientes principios:*

XIV. Toda persona dentro del territorio del Estado tiene derecho a disfrutar de un ambiente sano, equilibrado, adecuado para su desarrollo y bienestar. Las autoridades en los términos de ésta y otras leyes aplicarán las medidas necesarias en el ámbito de sus atribuciones para preservar, garantizar el ejercicio y la protección de este derecho;

XVIII. El control y la prevención de la contaminación ambiental, el adecuado aprovechamiento de los elementos y recursos naturales, y el mejoramiento del entorno natural en los asentamientos humanos, son condiciones fundamentales para elevar la calidad de vida de la población.

Artículo 2.60. *Para la conservación, preservación, remediación, rehabilitación y restauración del equilibrio ecológico en la Entidad se considerarán los siguientes criterios:*

- I. La existencia y bienestar del hombre no sólo depende de los sistemas que éste ha creado sino de los ecosistemas naturales que proporcionan las condiciones adecuadas para el desarrollo sostenible de los seres humanos.*

4.2.4 Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023

PILAR TERRITORIAL: ESTADO DE MÉXICO ORDENADO, SUSTENTABLE Y RESILIENTE

Es responsabilidad gubernamental vigilar que se preserven los servicios que el medio ambiente brinda en soporte al desarrollo de las actividades humanas, en particular la recarga natural de los mantos acuíferos, el control de la erosión de suelos y las emisiones contaminantes, el manejo correcto de residuos sólidos y la promoción de la producción y el consumo de bienes y servicios sustentables en el Estado de México. Todo ello, en un entorno de ciudades y comunidades resilientes y sostenibles tanto en el ámbito urbano como en el rural.

La segunda vertiente vela por acciones encaminadas a la mitigación y adaptación al cambio climático, como mejorar la calidad del aire, reducir la huella de carbono, lograr el manejo sustentable de los residuos sólidos y ampliar significativamente la cobertura para el tratamiento de aguas residuales.

Una visión integral del territorio y de sus ciclos naturales es fundamental para preservar el medio ambiente, al tiempo que se diseñan infraestructuras bajo esquemas urbanos de accesibilidad inclusiva, metropolitanos, adaptables a entornos socioambientales de creciente complejidad. Solo así podrá el Estado de México transitar hacia estructuras territoriales resilientes, capaces de brindar condiciones óptimas para una ocupación ordenada del suelo y un flujo eficiente de personas y bienes. Todo ello propiciando entornos competitivos, amigables con el medio ambiente, que fomenten la cohesión social para impulsar un territorio más próspero y humano (Gobierno del Estado de México, 2018).

En este pilar se mencionan las funciones del medio ambiente, de la importancia para mejorar la calidad de la población mexiquense, sin embargo, debido a los efectos del cambio climático, la calidad de vida ha disminuido; una de las razones es el diseño de las infraestructuras con esquemas urbanos de accesibilidad inclusivos, metropolitanos y adaptables a entornos socioambientales. Por eso, se precisa conocer los servicios ecosistémicos que genera la infraestructura verde de la ciudad, como medida para la adaptación y mitigación al cambio climático. La presencia de los servicios ecosistémicos coadyuba a tener ciudades resilientes y capaces de ofrecer condiciones óptimas para desarrollar asentamientos ordenados y territorios sustentables.

4.2.5 Ley de Cambio Climático del Estado de México

Esta ley específica en sus artículos 1, 2, 21 y 22 que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y es obligación de los Estados y Municipios asegurar que los recursos naturales sean conservados y aprovechados de manera sustentable, lo que implica que todas las áreas verdes sean cuidadas y tengan un mantenimiento para que sigan proporcionando los servicios ecosistémicos, y a la par influyan en los efectos del cambio climático (Gobierno del Estado de México, 2013).

TÍTULO PRIMERO DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- La presente Ley es de orden público e interés social, es de observancia general en todo el Estado de México y tiene por objeto establecer las disposiciones para lograr la adaptación al cambio climático, así como la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y será aplicada de conformidad con la Ley General de Cambio Climático.

Artículo 2.- Son objetivos específicos de esta Ley:

I. Garantizar el derecho de toda persona a un ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar, de conformidad con lo dispuesto en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México.

TÍTULO TERCERO POLÍTICA ESTATAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO

Capítulo I Principios de la Política Estatal en materia de Cambio Climático

Artículo 21.- Para la formulación, conducción y evaluación de la Política Estatal en materia de Cambio Climático, y para la aplicación de los instrumentos previstos en la presente Ley, así como en otros ordenamientos que resulten aplicables, el Ejecutivo Estatal y los Ayuntamientos observarán los siguientes principios:

I. Los ecosistemas, elementos, recursos naturales y bienes y servicios ambientales deberán ser aprovechados de forma sustentable, garantizando la conservación de los mismos.

Capítulo II Instrumentos de la Política Estatal en materia de Cambio Climático

Sección Primera Planeación Climática

Artículo 22.- En la planeación democrática para el desarrollo del Estado y sus Municipios serán considerados los principios e instrumentos de la política estatal en materia de cambio climático previstos en la presente Ley, así como aquellos otros contenidos en leyes relacionadas con las materias que regula este ordenamiento.

4.2.6 Ley Orgánica Municipal del Estado de México

El Artículo 31 numeral XXIII, XXIV bis y Artículo 96 Octies numeral VII, se refieren a las atribuciones de los Ayuntamientos para mantener los recursos naturales, de modo que incremente la calidad de vida de la población. Por lo tanto, es necesario aumentar los espacios con vegetación, a través de obras que permitan el desarrollo de la masa arbórea, y de las mejoras en la calidad del suelo, esto acompañado de un incremento presupuestal. La implementación de la infraestructura verde en el municipio de Toluca cumple con los requerimientos establecidos en estos artículos, esto conlleva a recuperar espacios públicos, pero también a cambiar la percepción y demanda de la población a espacios para una vida digna (Gobierno del Estado de México, 1993)

ATRIBUCIONES DE LOS AYUNTAMIENTOS

Artículo 31.- Son atribuciones de los ayuntamientos:

XXIII. Preservar, conservar y restaurar el medio ambiente; así como generar las acciones necesarias a fin de crear, rescatar, restaurar y vigilar las áreas verdes que permitan mejorar la calidad de vida y convivencia social de los habitantes del municipio, establecidos como espacios públicos de conservación ambiental; asimismo, elaborar y ejecutar su programa anual de reforestación, forestación, restauración de suelos y conservación de bienes y servicios ambientales dentro de su territorio, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables.

Además, podrán fomentar una mayor asignación presupuestal para mantenimiento de parques, jardines e infraestructura municipal procurando que éste sea destinado a la generación de empleos para los adultos mayores en trabajos de conservación y mantenimiento.

XXIV Bis. Promover las acciones y ejecutar los programas sociales necesarios para la recuperación de espacios públicos, a fin de fortalecer la seguridad jurídica, mantenimiento, sostenibilidad, control y la apropiación social de éstos;

Artículo 96. Octies. El Director de Ecología o el Titular de la Unidad Administrativa equivalente, tiene las atribuciones siguientes:

VII. Preservar, rescatar, restaurar y vigilar las áreas verdes municipales.

4.2.7 Programa Estatal de Cambio Climático

Este programa es bastante claro, porque pone en el centro de su actuar la reducción de emisiones de contaminantes hacia la atmósfera, pero también en la construcción de escenarios climáticos con la involucración de los diferentes actores (sociedad civil, instituciones educativas, gobierno, empresas privadas, instituciones gubernamentales entre otros) para generar sinergias y políticas en materia ambiental que puedan realizarse.

Tiene como finalidad dotar a la entidad mexiquense de un instrumento de planeación que integre, articule y coordine las acciones y políticas públicas en materia de Cambio Climático, promoviendo la vinculación de gobierno, academia y sociedad civil, y de esta manera se pueda entender el Cambio Climático en el contexto internacional, nacional, estatal y municipal. Cabe mencionar que

esta versión del PEACC, es único en su clase por ser el primero en contemplar los Objetivos de Desarrollo Sostenible y estar alineado al PDEM 2017-2023, que a su vez considera los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 (Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático, 2020)

4.3 Instrumentos Municipales

4.3.1 Bando Municipal de Toluca

En los artículos 48, 67 (numeral I, XI y XII) y 71 se evidencia que es importante para el municipio de Toluca el mejoramiento de la calidad de vida de la población, para ello se deben diseñar políticas públicas que permitan la sustentabilidad, para lo cual se debe promover la infraestructura verde, priorizando que la ciudadanía tenga derecho a una ciudad con espacios públicos idóneos (Ayuntamiento de Toluca, 2022)

TÍTULO SÉPTIMO DE LA PLANEACIÓN CAPÍTULO ÚNICO DE LA PLANEACIÓN MUNICIPAL

Artículo 48. La planeación en el Municipio de Toluca está sustentada en los postulados del Sistema de Planeación Democrática para el Desarrollo del Estado de México y Municipios, como un mecanismo articulador orientado a la atención de las necesidades de la población, procurando el mejoramiento de su calidad de vida con planes, programas y acciones transversales sustentados en la perspectiva de género. Se regirá por los siguientes principios:

SECCIÓN PRIMERA DE LA PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE Y A LA BIODIVERSIDAD

Artículo 67. Son atribuciones de las autoridades municipales en materia de protección al medio ambiente y a la biodiversidad las siguientes:

I. Crear el Programa Municipal de Protección al Medio Ambiente, Biodiversidad y Desarrollo Sustentable, en congruencia con el programa estatal y demás instrumentos de planeación

XI. Realizar las tareas de protección, conservación, restauración, producción, ordenamiento, cultivo, manejo, fomento y aprovechamiento de los ecosistemas forestales y vegetales, así como de la vegetación urbana que sea de jurisdicción municipal;

XII. Fomentar y promover entre la población la infraestructura verde y el uso de tecnologías de energía renovable

CAPÍTULO SEXTO DEL DERECHO A LA CIUDAD

Artículo 71 Ter. Los espacios y bienes públicos deben ser utilizados priorizando el interés social, cultural y ambiental.

4.3.2 Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2022-2024

El plan de desarrollo municipal sienta las bases para planear el territorio, de acuerdo con esto es que se puede determinar qué planes, programas, obras o acciones se pueden llevar a cabo, del mismo modo se alinea con otros instrumentos jurídicos. Para el caso del Plan de Desarrollo de Toluca 2022-2024 ha sido escaso el contenido ambiental. En cuanto a su relación con este trabajo se menciona la importancia en la conservación y mantenimiento de parques, jardines y áreas verdes

El PMD se encuentra alineado con el Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023, el cual se encuentra homologado al Plan Nacional de Desarrollo vigente.

El propósito de la administración actual es fomentar la conservación de los parques, los jardines y las áreas verdes, así como dar mantenimiento constante, lo que permitirá que la población se sienta cómoda y segura visitando dichas zonas (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

4.3.3 Plan de Acción Climática Municipal Toluca 2030

El Plan de Acción Climática 2030 promueve una serie de acciones que desde el ámbito local buscan una contribución de alto impacto en la disminución de riesgos asociados al cambio climático de carácter ambiental, social y económico, procurando el bienestar de la población mediante la integración al Sistema Nacional y Estatal de Cambio Climático, es un instrumento transversal enfocado en las necesidades de las personas más vulnerables que reconoce la articulación indisoluble entre la protección al medio ambiente y el bienestar de las personas en tanto que la preservación de los servicios ecosistémicos permitirá garantizar la salud pública, la seguridad alimentaria y una mejor economía.

El PACMUN, tuvo como objetivo sentar bases para orientar las políticas públicas municipales en materia de mitigación y adaptación ante los efectos del cambio climático y se integró bajo la guía del IPCC en su versión revisada de 1996 con la orientación sobre buenas prácticas y gestión de incertidumbre en los inventarios nacionales de GEI del año 2000. Los resultados de este

instrumento arrojaron una estimación de emisiones totales de 4 456.893 Gg de CO₂e (94.32 % asumidos por el sector energía, desechos con 5.50 % y sector agropecuario 0.18 %) (Ayuntamiento de Toluca & Dirección General de Medio Ambiente, 2021)

5. Marco Metodológico

El método que se utilizó en el desarrollo de este trabajo fue el Método inductivo-deductivo.

El método inductivo-deductivo está conformado por dos procedimientos inversos: inducción y deducción. La primera es una forma de razonamiento que busca construir verdades o conocimientos de casos particulares que sirven como base para establecer un conocimiento más general, que refleje lo que hay de común en los fenómenos individuales. Su base es la repetición de hechos y fenómenos de la realidad; en donde se encuentran rasgos comunes en un grupo definido, para llegar a conclusiones de los aspectos que lo caracterizan. Es decir, las generalizaciones a las que se llegan tienen una base empírica (Rodríguez *et al.*, 2017).

En otro sentido, el procedimiento utilizado para generar y avalar conocimientos es el razonamiento deductivo; cuya práctica pionera se atribuye a los filósofos griegos. Aristóteles y sus discípulos lo establecieron como un proceso del pensamiento que inicia por las afirmaciones generales y llegan a las afirmaciones particulares, a través de la aplicación de las reglas de la lógica. Mediante este procedimiento se organizan hechos conocidos y se extraen conclusiones mediante una serie de enunciados conocidos como silogismos, que comprenden la premisa mayor, la premisa menor y la conclusión (Dávila, 2006).

Las generalizaciones son puntos de partida para realizar inferencias mentales y llegar a nuevas conclusiones lógicas para casos particulares. Se trata de encontrar principios desconocidos, a partir de los conocidos o descubrir consecuencias desconocidas, de principios conocidos. Así, de lo más general, se realizan deducciones lógicas que originan nuevas regularidades, principios y leyes de menor grado de generalidad que las de partida. De esta forma, se reestructura o reajusta el sistema teórico, conceptual o metodológico de la propuesta de solución al problema científico. De esta forma, el conocimiento se integra en un sistema, con una estructura jerarquizada de regularidades, principios y leyes. En este marco, la inducción y la deducción se complementan mutuamente; cuyas potencialidades se centran en el método de construcción de conocimientos en diversos niveles.

En este sentido, y como parte de la metodología realizada en esta investigación es que se ha propuesto para el marco teórico abordar la Teoría General de Sistemas, esta teoría permite analizar el todo en este caso la infraestructura verde pero también se examina cada elemento de esta como lo son las áreas verdes, en particular 6 de la ciudad de Toluca y los servicios ecosistémicos que generan.

La investigación partió de una revisión documental que dio pie a la construcción de un banco de datos, así como la definición del marco teórico, dicha información provino de revistas científicas, libros, páginas especializadas de la web y páginas de internet de dependencias gubernamentales. La información documental primordialmente sirvió para nutrir el apartado teórico en el que se sustenta la viabilidad de este trabajo, así mismo para conocer como ha sido el origen de las áreas verdes para que posteriormente diera paso al concepto de infraestructura verde y los beneficios en cuanto a la generación de servicios ecosistémicos, cuya característica pondera su presencia en el proceso de mitigación de contaminantes en las ciudades.

Para destacar la importancia de la infraestructura verde se investigaron distintos casos de estudio (nacionales), con ello se ha propiciado un análisis oportuno de estos y ha ayudado en la búsqueda de métodos que han permitido destacar los beneficios que brinda la vegetación, en particular el arbolado en la ciudad de Toluca, esto como una parte de todo lo que abarca infraestructura verde. En este contexto, también ha resultado importante conocer la legislación que dio las bases para que las personas gocen de un medio ambiente sano y que con ello puedan incrementar su calidad de vida, para esto se consultaron distintos instrumentos legales a nivel Federal, Estatal y Municipal.

El trabajo de campo fue fundamental para el desarrollo de este trabajo, gracias a la evaluación del arbolado de las seis áreas verdes seleccionadas se pudo conocer la importancia que tienen los servicios ecosistémicos que se generan en las urbes, primordialmente en Toluca, para ello se tuvo que realizar en dos etapas, la primera consistió en el diagnóstico físico de los árboles y la segunda en el procesamiento de la información en un software especializado para posteriormente analizar los resultados.

5.1 Descripción de las Etapas de Trabajo

5.1.1 Identificación de áreas verdes como parte de la infraestructura verde de la ciudad de Toluca para evaluar el arbolado.

Se seleccionaron seis áreas verdes para realizar la evaluación de su arbolado y poder conocer los servicios ecosistémicos que generan, se escogió cada área por su ubicación estratégica, el flujo de vehículos y personas, valor social y superficie. Se recorrieron las zonas verdes elegidas para conocer las especies de árboles y el número de individuos existentes, y de esta forma poder determinar si las evaluaciones serían completas o por muestreo aleatorio simple.

La primera zona fue el Camellón Vicente Guerrero, se realizó un inventario completo de Paseo Tollocan a la Avenida Morelos, los trabajos se ejecutaron en noviembre del 2021; el segundo parque elegido fue el Parque Cuauhtémoc o Alameda Central, en este se hizo una evaluación por muestreo del 25% del total de su arbolado.; el tercer lugar fue el Jardín Zaragoza y se evaluó en su totalidad el arbolado existente; en cuarto lugar estuvo el Parque Urawa, se realizó un inventario por muestreo del 25% de todo su arbolado; la quinta área verde fue el Parque Benito Juárez o Municipal, en este se realizó una evaluación completa y finalmente la sexta zona fue el Parque Metropolitano Bicentenario, ya se había realizado una evaluación por parte de la CGCE de la SMAGEM, sin embargo se tomó en cuenta para hacer comparaciones con las demás áreas verdes. De la segunda a quinta área verde se efectuaron los trabajos de campo en junio y julio del 2022 y para el caso del PMB se hizo el inventario en el año 2019.

5.1.2 Valoración de los servicios ecosistémicos de las 6 áreas verdes como parte de la infraestructura verde de Toluca

Para conocer los beneficios que brinda el arbolado de las áreas verdes seleccionadas se requirió realizar esta fase en dos etapas. La primera consistió en el diagnóstico del arbolado y la segunda en el procesamiento de la información por medio del *software / Tree-eco*. Antes de iniciar la primera etapa se realizó un recorrido de campo en cada uno de los parques para identificar las especies presentes, así como el conteo de árbol por árbol para determinar si el inventario se realizaría completo o por medio de muestras, en seguida se describe en que consistió el trabajo de cada etapa.

a. Diagnóstico del arbolado

El equipo necesario para realizar esta etapa lo constituye: GPS, para la obtención de coordenadas de cada uno de los árboles. Clinómetro, para el cálculo de alturas. Forcípula, para la medición del Diámetro del árbol a la Altura del Pecho (1.30 mts.). Cinta métrica, para la medición de distancias.

El diagnóstico del arbolado se realizó con base en el “Formato para inventario de arbolado urbano” (Apéndice “A”), adaptado por la Coordinación General de Conservación Ecológica de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México, tomando como base la “Metodología para el diagnóstico de áreas verdes urbanas e inventario de su arbolado” implementada por el INIFAP.

Para el caso del camellón Vicente Guerrero, se hizo el inventario completo, se evaluaron 383 árboles de 16 especies como: chopo, liquidámbar, cedro blanco, trueno, sauce llorón, palma canaria, olmo chino, ahuehuete, etc.

Para el inventario del Parque Alameda se contabilizaron en total 440 árboles, debido a que existía similitud en tamaño en los árboles de las mismas especies se decidió realizar el diagnóstico por medio de una muestra del 25% del total de cada especie arbórea, resultando 118 árboles los evaluados de 16 especies.

Para el caso del Parque Zaragoza se realizó el inventario completo, se contabilizaron 64 árboles de 12 especies, las predominantes fueron jacaranda, cedro blanco y trueno.

El inventario del Parque Urawa se realizó por medio de muestreo, en total se contabilizaron 911 árboles, es importante destacar que no se tomaron en cuenta los árboles de difícil acceso como los del Jardín Japones y los pegados a las bardas, la muestra fue del 25% de cada especie, evaluándose en total 253 árboles de 25 especies, las más comunes son Trueno, Fresno y liquidámbar.

El Parque municipal Benito Juárez se inventario completo, se contabilizaron 152 árboles de 13 especies, las más comunes son cedro blanco, fresno y cedro limón.

Finalmente, el Parque Metropolitano Bicentenario, se inventario completo, se contabilizaron 3,030 árboles de 32 especies, las predominantes son: cedro blanco y pinos.

De cada árbol inventariado se midieron las variables que se expresan en la tabla 8.

Tabla 8. Variables para inventario de arbolado

Variable	Descripción
I.D	Corresponde al consecutivo del primer al último ejemplar.
Especie	Abreviatura de especie de acuerdo con lo establecido por el <i>software I-Tree eco</i> .
Coordenadas UTM	Se toman con el GPS.
Altura	Se mide a nivel del piso hasta la punta del árbol.
Altura de la copa viva	La altura desde el suelo al follaje vivo más bajo en la última rama que se incluye dentro de la copa viva se mide con el clinómetro.
Diámetro (DN o DAP)	Se mide a una altura de 1.3 m sobre el nivel del suelo, para esto se utiliza la forcípula.
Diámetro de la copa	Ancho de la copa del árbol en dos direcciones: norte-sur y este-oeste, se mide con la cinta métrica.
Porcentaje de copa faltante	Se evalúa el porcentaje de follaje que está ausente debido a la poda, muerte regresiva, defoliación, copa desbalanceada y follaje escaso.
Muerte regresiva	Expresión en porcentaje de copa muerta, no se incluyen áreas secas por sombreo, este es un indicador de la salud del árbol.
Exposición a la luz	Es el número de caras que están expuestas directamente a la luz del sol.
Labores de mantenimiento	Es con respecto al manejo, tratamiento del árbol (poda, balanceo de copa, derribo, trasplante, sustitución, entre otros).
Recomendación de derribo	Explicar porque se justifica el derribo del árbol (árbol muerto, suprimido, plagado, con afectación severa a infraestructura, entre otros).
Inclinación del fuste	Que tan inclinado se encuentra el fuste (tronco) se asignan valores en porcentaje.

Nota: elaboración propia con base en la guía rápida de apoyo para el inventario de árboles de alineación en zonas urbanas, (Coordinación General de Conservación Ecológica, 2022).

b. Captura y procesamiento de información de campo

En esta parte metodológica se capturó y procesó la información recabada en campo en una hoja de Excel para importarla al *software i-Tree Eco*. En la hoja de Excel se incluyó lo siguiente: Subzona, coordenadas, uso de suelo (en todos los casos fue parque), nombre científico, nombre común, código de la especie, altura total, altura de la copa viva, altura a la base de la copa, altura del diámetro (tomada en todos los casos a 1.3 metros o a la altura del pecho), diámetro normal del tronco 1 hasta 4 (depende del número de fustes con los que cuenta un árbol), cobertura copa

norte-sur y este-oeste, promedio del diámetro de las copas, porcentaje de cofa faltante, porcentaje de muerte regresiva, porcentaje de muerte descendente, clave de muerte regresiva, número de caras expuestas al sol, clave y labor de mantenimiento, clave y razón de derribo, inclinación del fuste y finalmente observaciones por cada árbol. Una vez que se termina lo referente a la captura de los datos en Excel esta información se importa al software *I-Tree eco*.

I-Tree eco ha sido desarrollado por la Estación de Investigación del Servicio Forestal de Estados Unidos, este es un software diseñado para inventarios completos de arbolado o de forma aleatoria, el modelo se ha adaptado para bosques urbanos, conocer los servicios ecosistémicos, así como el valor económico de estos (United State Department of Agriculture-Forest Service (USDA). 2018). *I-Tree Eco* está diseñado para usar datos de campo estandarizados y datos locales de la contaminación del aire y meteorológicos por hora para cuantificar la estructura del bosque urbano y sus numerosos efectos, con base a la información de campo importada al software y los datos estandarizados de *I-tree eco*, este arrojó valores por área verde en cuanto a la cantidad de servicios ecosistémicos que genera el arbolado así como su valor monetario; los datos que muestra el programa *I-tree eco* son los siguientes:

- Estructura del bosque urbano

Se hace una clasificación de las especies evaluadas para establecer el porcentaje que ocupa cada una en el área de estudio, su estado nativo o exótico, sí como la densidad general del arbolado por superficie, del mismo modo para conocer la salud de los árboles se tiene que calcular el área superficial saludable de las hojas de los árboles, con este dato se puede conocer los valores de importancia (VI), estos se calculan como la suma del porcentaje de la población y porcentaje del área de las hojas.

- Eliminación de la contaminación del aire

Se calculó usando datos de campo del estado del tiempo y la contaminación disponible (en este caso fue del año 2015 que muestra datos de los contaminantes de: ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, material particulado menor a 2.5 micrones), la estación meteorológica utilizada fue la que se ubica en la colonia Nueva Oxtotitlán.

Con base en el resultado que corrió el software *i-Tree* (Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, 2017) mismo que hace referencia de Baldocchi 1988; Baldocchi *et al.*, 1987, los

cálculos de la eliminación de la contaminación del aire surgen del cálculo de la resistencia del dosel de los árboles al ozono, sulfuro y dióxido de nitrógeno por hora, y con base en un híbrido de los modelos de deposición de doseles de hojas grandes y de multicapas.

Con respecto a la asignación de valores monetarios, el software lo puede realizar para reportes internacionales, usando valores locales de la contaminación definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en los valores europeos de externalidades promedio o en las ecuaciones de regresión BenMAP que incorporan cálculos de población definidos por el usuario. Luego los valores se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario. Para este análisis, el valor de la eliminación de la contaminación se calcula con base en los precios de México por tonelada de monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de sulfuro, material particulado menor a 2.5 micrones y material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones (Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, 2017 haciendo referencia a van Essen *et al.*, 2011 y Nowak *et al.*, 2014).

- Almacenamiento y secuestro de carbono

Para computarizar el almacenamiento actual de carbono, se calcula la biomasa de cada árbol con ecuaciones e información de los árboles medidos. Los árboles maduros que tienen mantenimiento tienen menos biomasa de la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque.

El cálculo de la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente requiere añadir el crecimiento promedio del diámetro del género correspondiente y la clase de diámetro y la condición del árbol al diámetro en el mismo año X, y para calcular el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año $x+1$.

Los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se basan en los valores de carbono locales calculados o personalizados. Para los reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en el valor del carbono para Estados Unidos y se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario (Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, 2017 haciendo referencia a Nowak 1994).

- Producción de oxígeno

Para la cantidad de oxígeno producido se realiza la operación a partir del secuestro de carbono con base en los pesos atómicos: liberación neta de O₂ (kg/año) = secuestro neto de C (kg/año) x 32/12. Para la medición del índice de secuestro neto de carbono, la cantidad de carbono secuestrado como resultado del crecimiento del árbol se reduce por la cantidad perdida que resulta de la mortalidad del árbol. Por lo tanto, el secuestro neto de carbono y la producción anual neta de oxígeno del bosque urbano consideran la descomposición (Nowak *et al.*, 2007). En los proyectos de inventario completo, la producción de oxígeno se mide a partir del secuestro bruto de carbono y no considera la descomposición.

- Ecurrimiento evitado

Se mide con base en el estado del tiempo de la localidad de la estación meteorológica designada. En tanto, el escurrimiento superficial evitado anual se calcula con base en las precipitaciones interceptadas por la vegetación, es decir la diferencia entre el escurrimiento anual con y sin vegetación. Aquí, es importante considerar que las hojas de los árboles, las ramas y la corteza pueden interceptar la lluvia y mitigar así el escurrimiento evitado; por lo que sólo se toman en cuenta las precipitaciones interceptadas por las hojas.

El valor del escurrimiento evitado se basa en los valores locales calculados o los definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, se utiliza el valor promedio nacional para Estados Unidos y se convierte al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario (Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, 2017).

- Valores de sustitución

El valor de sustitución es el valor de un árbol con base en el mismo recurso físico, por ejemplo, el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar. Aquí los valores de sustitución se basan en los procedimientos de valoración del Consejo de Tasadores de Árboles y el Paisaje, que utiliza la información de especie, diámetro, condición y lugar del árbol (Nowak *et al.*, 2002).

5.1.3 Determinación de la percepción socioambiental de las personas que visitan áreas verdes de la ciudad de Toluca

Para conocer la valoración que le asigna la gente a las áreas verdes se aplicó una encuesta en el parque urbano de mayor dimensión, siendo este el área natural protegida con categoría de parque urbano denominado Parque Metropolitano Bicentenario. (Gobierno del Estado de México. (s.f.)). De acuerdo con el número de personas que acuden al parque diariamente (información proporcionada por la CGCE 2022) se hizo una muestra para determinar a cuantos usuarios del área verde se tenían que encuestar, resultando 116 personas a las que se les aplicó a través de Google Forms. Como se ve en el Apéndice “B” la encuesta constó de 26 preguntas con categorías de respuestas en escalas tipo Likert (totalmente de acuerdo, de acuerdo, indiferente o neutro, en desacuerdo y totalmente en desacuerdo). Las llamadas ,escalas Likert son instrumentos psicométricos donde el encuestado debe indicar su acuerdo o desacuerdo sobre una afirmación (Matas, 2018 consultado en Bertram, 2008). Los tópicos en los que se dividió fueron, beneficios en: salud; seguridad; ambiental; social y belleza escénica. A su vez se realizaron 11 preguntas más con respuestas concisas de sí o no, estas consistieron en que la gente opinara como se sentían en su salud física y emocional antes y después de acudir al parque.

6. Resultados

6.1 Identificación de las 6 Áreas Verdes para Evaluar el Arbolado.

Las 6 áreas verdes seleccionadas para la realización del inventario del arbolado se encuentran distribuidas de acuerdo con los puntos cardinales como se muestra en la ilustración 3, cada una tiene cierta representatividad que ha dado lugar a que sean reconocidas por los habitantes de la ciudad de Toluca.

Ilustración 3. Localización de las áreas verdes evaluadas en Toluca, México



Nota. Imagen adaptada y tomada de *Google Earth Pro* (2022).

1. Camellón Vicente Guerrero. La relevancia de esta área es que se encuentra en una zona transitada ya que conecta con dos avenidas importantes como lo es Paseo Tollocan y Adolfo López Mateos, así mismo se encuentra entre zona de universidades, hospitales y oficinas gubernamentales
2. Parque Cuauhtémoc o Alameda Central: Se ubica en el centro de la Ciudad de Toluca. Fue el primer parque público de la ciudad y ha sido una de las plataformas de socialización, término de construirse en 1844 (Palma, 2016).
3. Parque/jardín Ignacio Zaragoza. Esta área verde se encuentra en el centro de la ciudad y en una zona en donde hay una afluencia importante de vehículos y de personas, por lo

que es significativo conocer que tantos contaminantes puede asimilar el arbolado, así como los beneficios que brindan.

4. Parque Urawa. Es un área verde con vegetación variada, se localiza en una zona muy transitada, sobre todo por estar entre avenidas importantes como la 5 de mayo y Tollocan.
5. Parque Benito Juárez o Municipal. Este parque destaca por la majestuosidad del arbolado y que no hay en otros parques, a su vez se encuentra en una zona industrial en donde los trabajadores de las empresas acuden todos los días para esparcirse.
6. Parque Metropolitano Bicentenario. Esta es un área con una superficie de 19.6 ha., lo que permite que lo visiten un gran número de personas, además de que se encuentra en una zona concurrida por su cercanía al centro de la ciudad, hospitales, terminal de autobuses y Tollocan, una de las avenidas principales.

En la tabla 9 se muestra la dirección de las áreas verdes ya mencionadas, así como la superficie con la que cuenta cada una.

Tabla 9. Áreas verdes con dirección y superficie

Nombre del área verde	Ubicación	Superficie m²
Cuauhtémoc	Entre las calles Andrés Quintana Roo Nte, Plutarco González, Melchor Ocampo y Ezequiel Ordoñez. Colonia La Merced.	28,595
Ignacio Zaragoza	Sobre la avenida Miguel Hidalgo y Costilla Ote. Entre las calles Sor Juana Inés de Cruz e Ignacio López Rayón. Colonia 5 de mayo.	6,012
Urawa	Sobre la calle 5 de mayo esquina con la calle Urawa. Colonia Progreso	44,054
Benito Juárez	Sobre la calle 1° de mayo entre Marie Curie y Guillermo Marconi. Colonia Reforma y Ferrocarriles Nacionales.	25,201
Camellón Vicente Guerrero	De Paseo Tollocan a la calle José María Morelos y Pavón. Colonia Federal.	25,863
Parque Metropolitano Bicentenario	Avenida Paseo Tollocan sin número. Colonia Universidad.	196,600

Nota. Elaboración propia con información tomada del Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2022-2024 (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

6.2 Comparación de la Evaluación de los Servicios Ecosistémicos que Generan las Seis Áreas Verdes de Toluca.

En este apartado se muestran los resultados del procesamiento de información del *software I-tree eco*, con base en la evaluación del arbolado en seis áreas verdes urbanas como: 1. Camellón Vicente Guerrero, 2. Parque Cuauhtémoc o Alameda, 3. Jardín Zaragoza, 4. El Parque Urawa, 5. Parque Benito Juárez o Municipal y 6. El Parque Metropolitano Bicentenario. En esta evaluación se describen las características de los árboles, la eliminación de la contaminación, almacenamiento y secuestro de carbono, generación de oxígeno, escurrimiento evitado y valores de sustitución y funcionales. A continuación, se presentan los resultados de las evaluaciones de cada una de las áreas verdes analizadas.

6.2.1 Resultados de i-Tree Eco por Área Verde

Parque Cuauhtémoc o Alameda

Características del arbolado

El Parque Cuauhtémoc o Alameda tiene una superficie de 28,595 m² se contabilizaron 440 árboles de 16 especies, de las cuales el 25% de cada una constituyó la muestra en la realización del inventario. El análisis de los resultados de los 118 árboles con el *software i-Tree Eco* mostro que, de las 16 especies evaluadas, las que predominan son *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus uhdei* y *Cupressus lusitanica* (como se ve en la tabla 10), de estos, el que tiene mayor valor de importancia es *Fraxinus uhdei*, seguido de *Ligustrum lucidum* y *Cupressus lusitanica*. *Fraxinus uhdei* tiene un área foliar de 33,055.9 ft²/ac., seguido de trueno con 15,034.1 ft²/ac. y en tercer lugar esta cedro blanco con 14,214.7 ft²/ac. (I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022). *Cupressus sempervirens* tiene un menor valor de importancia de tan solo 0.8, esto se debe a que la población de esta especie es mínima.

Tabla 10. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie

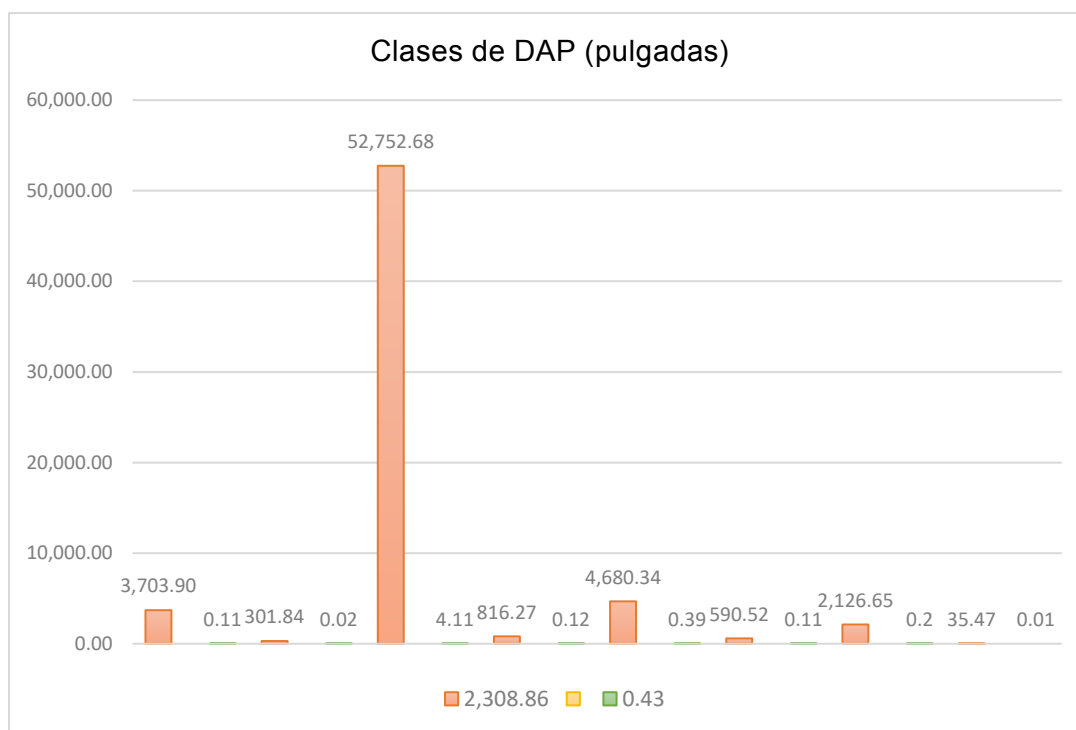
Especies		Porcentaje de población	Área foliar (ft ² /ac)	Valor de importancia
Nombre común	Nombre científico			
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	26.3	33,055.9	73.8
Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	33.1	15,034.1	54.7
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	11.9	14,214.7	32.3

Magnolia	<i>Magnolia grandiflora</i>	5.9	284.8	6.3
Álamo plateado	<i>Populus alba</i>	3.4	1,709.4	5.8
Sicomoro	<i>Platanus x hispanica</i>	6.8	2,524.1	10.4
Yuca	<i>Yucca elephantipes</i>	2.5	45.4	2.6
Pino piñonero	<i>Pinus cembroides</i>	1.7	578.3	2.5
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.8	446.9	1.5
Pirul	<i>Schinus molle</i>	1.7	570.8	2.5
Falso ciprés	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	1.7	567.8	2.5
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.8	247.8	1.2
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	0.8	117.5	1.0
Palma washingtonia	<i>Washingtonia robusta</i>	0.8	97.8	1.0
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.8	12.9	0.9
Ciprés italiano	<i>Cupressus sempervirens</i>	0.8	1.3	0.8

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Con respecto al diámetro del fuste de los árboles, se tomó del nivel del suelo a los 1.3 metros (a nivel del pecho), de las 16 especies muestreadas los que tuvieron un diámetro del tronco a la altura del pecho mayor fueron, fresno, trueno y cedro blanco, de estos, cedro es el que cuenta con árboles de un mayor diámetro del tronco (42 a 48 pulgadas), pero el porcentaje de individuos con esta medida es bajo con tan solo el 7.1% de su población. El 3.2% de árboles de fresno tienen un diámetro de 36 a 42 pulgadas, para este caso al igual que cedro son pocos los árboles que cuentan con troncos de grosor elevado. El mayor porcentaje de árboles (53.8) cuentan tan solo con un DAP de 6 a 12 pulgadas, como se ve en la tabla 11 trueno es la especie que tiene diámetros de árboles de menor tamaño (ilustración 4).

Ilustración 4. Clases de diámetro



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Tabla 11. Clases de DAP

Clases de DAP		Especie (valores en porcentajes)		
DAP cm.	DAP in.	Trueno	Fresno	Cedro blanco
7.62 a 15.24	3 a 6	2.6	0	7.1
15.24 a 30.48	6 a 12	53.8	3.2	0
30.48 a 45.72	12 a 18	38.5	12.9	0
45.72 a 60.96	18 a 24	5.1	41.9	35.4
60.96 a 76.2	24 a 30	0	16.1	28.6
76.2 a 91.44	30 a 36	0	19.4	21.4
91.44 a 106.68	36 a 42	0	3.2	0
106.68 a 121.92	42 a 48	0	3.2	7.1

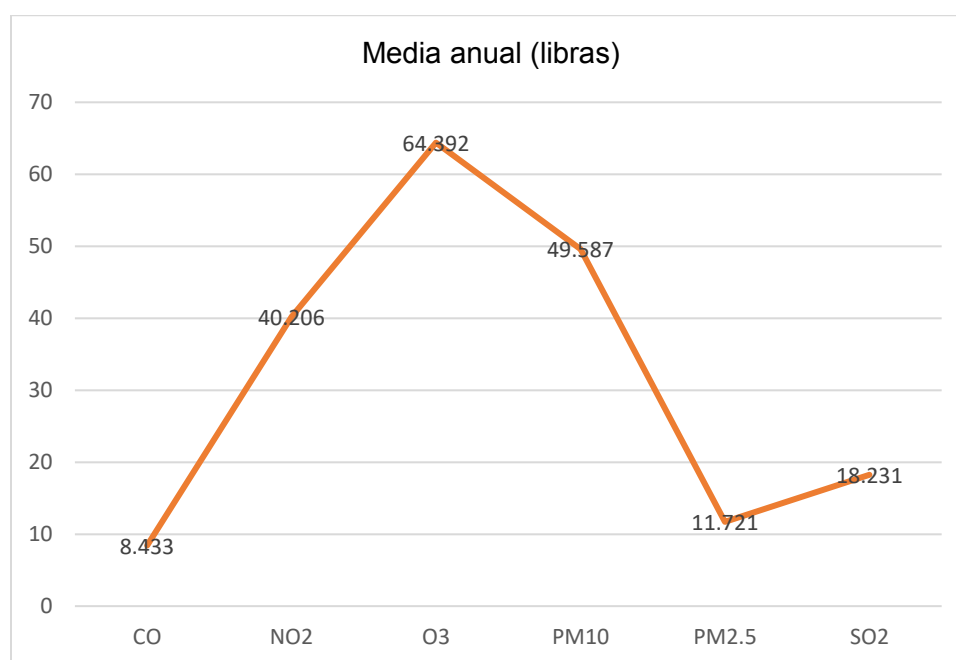
Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Por lo que se refiere a la distribución de las especies, casi el 52% son especies nativas de Norte América, el resto son exóticas, de Asia y una mínima parte de Europa, Oceanía, Sudamérica.

Eliminación de la contaminación

Los árboles eliminan 192.6 libras al año, es decir 87.36 kg. de la contaminación del aire en un año, los gases considerados son: ozono con 29.20 kg., de este ese eliminó una mayor cantidad (como se muestra en la ilustración 5), de monóxido de carbono se eliminó 3.82 kg., dióxido de nitrógeno 18.23 kg., material particulado menor a 2.5 micrones 5.31kg., material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones 22.48 kg., y dióxido de sulfuro 8.26 kg., la eliminación de todos estos contaminantes tiene un valor asociado de \$80.6 mil pesos.

Ilustración 5. Eliminación de contaminantes por tipo de gas



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Lo que se refiere a los Compuestos Orgánicos Volátiles, los árboles del parque Alameda emitieron en un año aproximadamente 82.9 libras lo que se traduce a 37.60 kg., de los cuales 30.93 kg. fueron de isopreno y 6.66 kg. de monoterpenos. Las emisiones varían entre las especies con base en las características de estas y la cantidad de biomasa de las hojas, cedro blanco fue la especie que emitió más monoterpeno 4.94 kg/año, trueno emitió 26.53 kg/año de isopreno, 84% de las emisiones de COV del bosque urbano fueron de trueno y cedro blanco.

Almacenamiento, secuestro de carbono y generación de oxígeno

En la tabla 12 se aprecia que el secuestro bruto de carbono de los árboles en el parque Alameda es casi de 2.24 toneladas por año con un valor asociado de \$1.77 mil, también almacenan 81.9 toneladas de carbono al año (\$64.6 mil). De las especies muestreadas, fresno almacena y secuestra la mayor cantidad de carbono (aproximadamente 52.4% del total de carbono almacenado y 42.2% de todo el carbono secuestrado).

Mientras que, para la producción de oxígeno, los árboles muestreados generaron aproximadamente 6.0 toneladas al año, fresno es la especie que genera más oxígeno, seguido de trueno y cedro blanco.

Tabla 12. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido

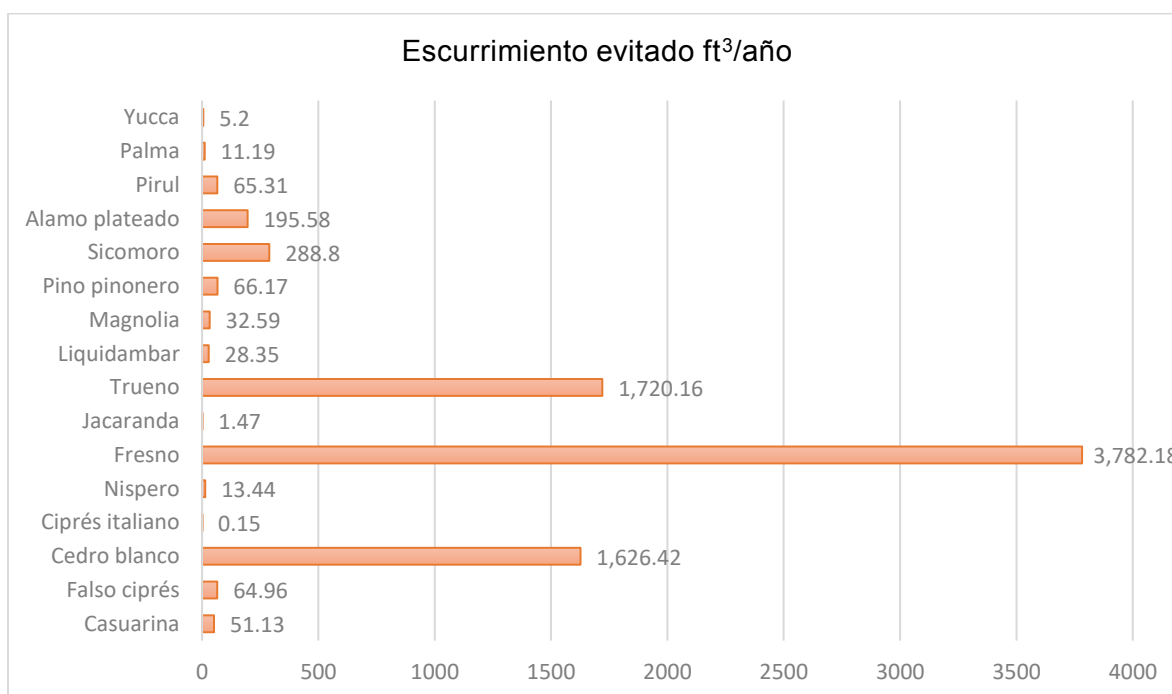
Especie	Número de árboles	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno Toneladas
		Toneladas	\$	Toneladas	\$	
Casuarina	1	2.36	1,856.99	0.10	80.31	0.25
Falso ciprés	2	0.32	248.94	0.01	10.60	0.1
Cedro blanco	14	20.84	16,428.18	0.42	327.55	1.0
Ciprés italiano	1	0.01	6.36	0.00	1.92	0.01
Níspero	1	0.09	72.16	0.01	5.94	0.020
Fresno	31	42.95	33,853.96	0.95	747.20	2.30
Jacaranda	1	0.00	2.96	0.00	1.63	0.01
Trueno	39	11.74	9,249.49	0.53	420.81	1.29
Liquidámbar	1	0.02	13.28	0.00	3.42	0.01
Magnolia	7	0.18	142.42	0.04	27.72	0.1
Pino piñonero	2	0.45	351.76	0.02	17.30	0.053
Sicomoro	8	1.41	1,113.30	0.06	50.43	0.2
Álamo plateado	4	0.78	612.04	0.06	49.03	0.2
Pirul	2	0.54	427.60	0.01	9.55	0.030
Palma	1	0.54	56.46	0.00	1.87	0.01
Yucca	3	0.16	126.17	0.02	13.97	0.043
TOTAL	118	82.39	64,562.07	2.23	1,769.25	5.626

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Escurrimiento evitado

Con respecto al escurrimiento evitado, el conjunto arbóreo permite reducir el escurrimiento por casi 7.95 mil ft³/año o 198,217.9 lt/año con un valor asociado de \$10 mil, en la ilustración 6 se ve que la especie que redujo más el escurrimiento fue fresno, seguido de trueno y cedro blanco.

Ilustración 6. Escurrimiento evitado por especie arbórea



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Valores de sustitución y funcionales

Aquí se asume que cuando un bosque o parque tiene un gran número de árboles de gran tamaño y con buena salud, el valor de sustitución incrementará. Este mismo comportamiento pasa con el valor funcional (Nowak, *et al.*, 2002). Los árboles de la Alameda tienen los siguientes valores, tal como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Valores de sustitución y funcionales

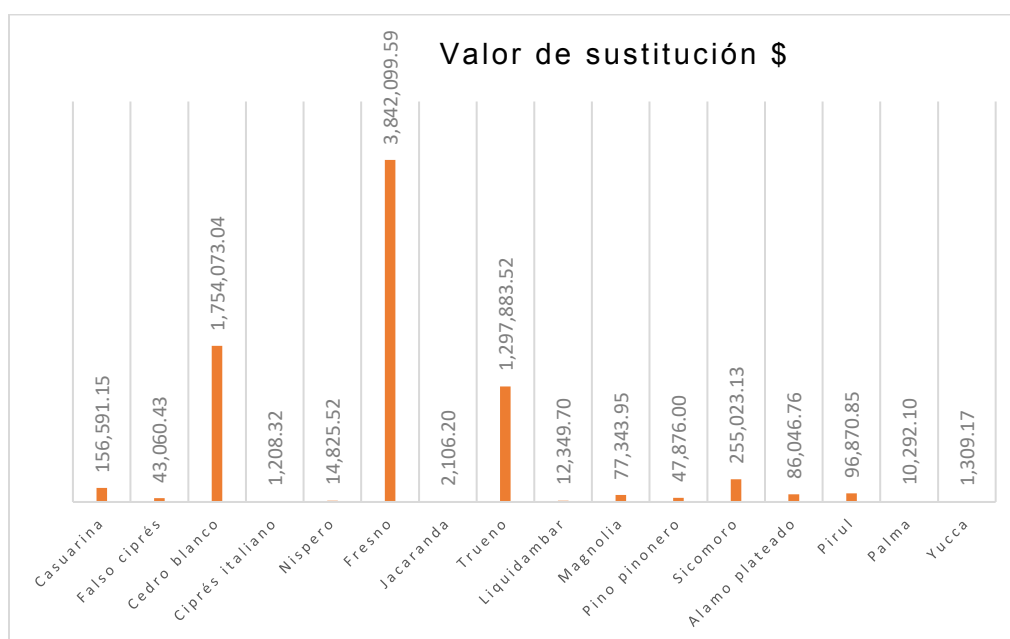
Valor de sustitución (año)	Valores funcionales (año)
\$7,698,959.43	Secuestro de carbono: \$1,769.25
Almacenamiento de carbono: \$64,562.07	Escurrimiento evitado: \$10,113.85

Eliminación de la contaminación:
\$80,573.97

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

La especie que represento un mayor valor por sustitución fue fresno con \$3,842,099.59, seguido de cedro blanco con \$1,754,073.04 y de trueno con \$1,297,883.52, como se muestra en la ilustración 7.

Ilustración 7. Valores de sustitución por especie de arboles



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Alameda, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Camellón Vicente Guerrero

Características del arbolado

Con relación a las características del arbolado en el camellón Vicente Guerrero, correspondiente al tramo paseo Tollocan y avenida Morelos, se realizó el inventario completo de 383 árboles de 16 especies, las más comunes fueron *Populus deltoides*, *Liquidambar styracifula* y *Cupressus lusitanica*, tal como se expresa en la tabla 14. La especie con el valor de importancia más alto fue *Populus deltoides*, esto se explica por su frecuencia en el camellón. Por lo que respecta al

área foliar, también *Populus deltoides* es el que cuenta con mayor biomasa, al ser la especie predominante, cuenta con una mayor cantidad de hojas de 95,047.0 ft²/ac en la superficie muestreada; el segundo y tercer lugar corresponde a *Cupressus lusitánica* y *Liquidámbar styracifula*. Por el contrario, una de las especies menos sobresalientes por su porcentaje de población y valor de importancia es *Erythrina americana* que también cuenta con una baja área foliar de tan solo 9.2 ft²/ac.

Tabla 14. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie

Especie		Porcentaje de población	Área foliar (ft ² /ac)	Valor de importancia
Nombre común	Nombre científico			
Chopo	<i>Populus deltoides</i>	100	95,047.0	90.3
Liquidámbar	<i>Liquidámbar styracifula</i>	67	9,133.0	23.7
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitánica</i>	57	13,075.5	23.7
Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	53	7,072.1	18.6
Palma canaria	<i>Phoenix canariensis</i>	27	6,765.3	11.6
Cedro limón	<i>Cupressus macrocarpa</i>	17	5,499.3	8.2
Olmo chino	<i>Ulmus parvifolia</i>	17	1,432.2	5.4
Ahuehete	<i>Taxodium mucronatum</i>	13	1,977.9	4.7
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	11	2,246.9	4.4
Falso ciprés	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	6	3,283.9	3.8
Acacia negra	<i>Acacia melanoxylon</i>	5	1,354.6	2.2
Yucca	<i>Yucca gigantea</i>	4	12.4	1.1
Capulín	<i>Prunus serotina</i>	3	493.2	1.1
Colorín	<i>Erythrina americana</i>	1	9.2	0.6
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	1	81.7	0.3
Ocote	<i>Pinus montezumae</i>	1	561.8	0.3

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Paseo Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

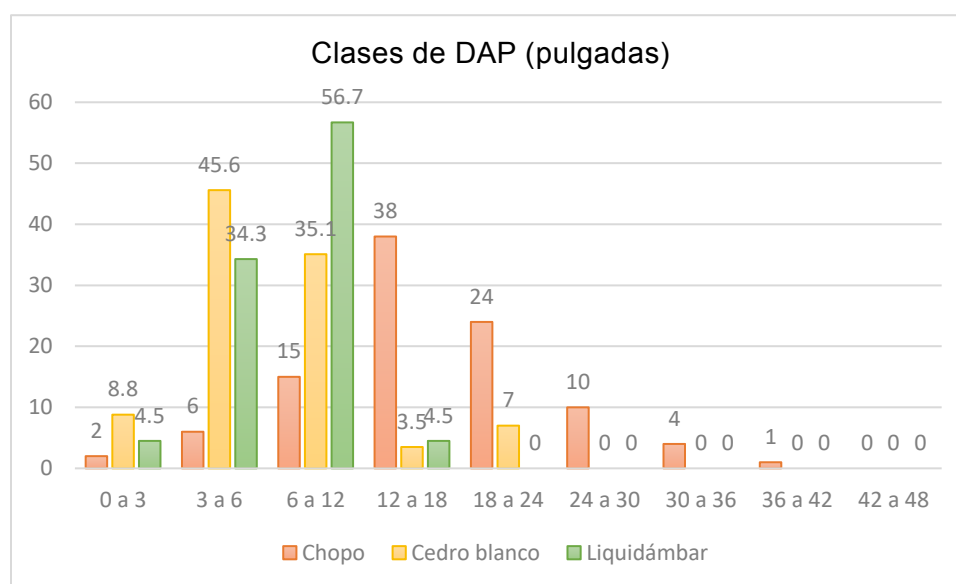
Por lo que se refiere a las diferentes clases del DAP, las especies que sobresalen de acuerdo con la tabla 15 son chopo, cedro blanco y liquidámbar; para el caso de la primera especie, tan solo el 1% tiene un diámetro del fuste de 36 a 42 pulgadas, la mayoría de los árboles (38.0%) cuentan con un diámetro de 12 a 18 pulgadas. Para el caso de cedro blanco y liquidámbar el 45.6% y 56.7% respectivamente cuentan con un DAP de 3 a 6 pulgadas y 6 a 12 pulgadas como se aprecia en la ilustración 8.

Tabla 15. Clases de DAP

Clases de DAP		Especie (valores en porcentajes)		
DAP cm.	DAP in.	Chopo	Cedro blanco	Liquidámbar
0 a 7.62	0 a 3	2.0	8.8	4.5
7.62 a 15.24	3 a 6	6.0	45.6	34.3
15.24 a 30.48	6 a 12	15.0	35.1	56.7
30.48 a 45.72	12 a 18	38.0	3.5	4.5
45.72 a 60.96	18 a 24	24.0	7.0	0.0
60.96 a 76.2	24 a 30	10.0	0.0	0.0
76.2 a 91.44	30 a 36	4.0	0.0	0.0
91.44 a 106.68	36 a 42	1.0	0.0	0.0
106.68 a 121.92	42 a 48	0.0	0.0	0.0

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Paseo Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Ilustración 8. Clases de DAP por rango



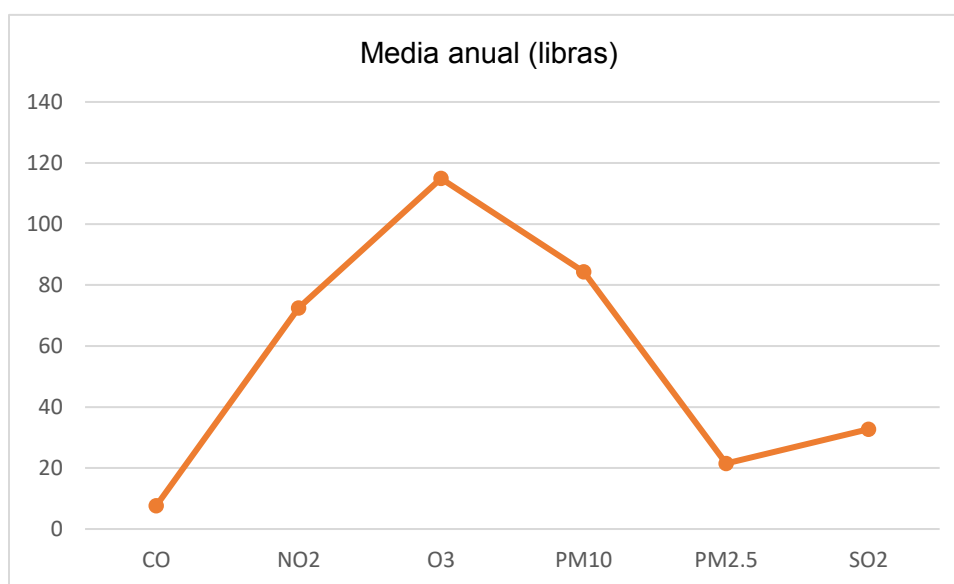
Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Paseo Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

En cuanto a las especies autóctonas y exóticas, casi el 70 por ciento de los árboles son especies nativas de Norte América, la mayoría de las exóticas tienen un origen de Asia (22 por ciento de las especies).

Eliminación de la contaminación

La eliminación de la contaminación es mayor para ozono. Se estima que los árboles eliminaron 333.5 libras (151 kg.) de la contaminación del aire por año, con un valor asociado de \$154 mil, los contaminantes eliminados fueron, ozono con 114.906 lb. (52.12 kg), monóxido de carbono 7.644 lb. (3.46 kg), dióxido de nitrógeno 72.442 lb. (32.85 kg), material particulado menor a 2.5 micrones 21.445 lb. (9.72 kg), material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones 84.334 lb. (38.25 kg), y dióxido de sulfuro 32.736 lb. (14.84 kg), como se ve en la ilustración 9.

Ilustración 9. Eliminación de contaminantes por tipo de gas



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Paseo Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Por su parte las emisiones de COV del arbolado del camellón emitieron en el lapso de un año aproximadamente 188.2 libras lo que representa 85.36 kg., de los cuales se distribuyeron en 55.7 libras (25.26 kg.) de isopreno y 32.46 libras (14.72 kg.) de monoterpenos, las especies que emiten más COV fueron chopo con 127.8 lb/año (57.96 kg/año) y trueno con 28.2 lb/año (12.79 kg/año).

Almacenamiento, secuestro de carbono y generación de oxígeno

El secuestro bruto de carbono del arbolado del Camellón Vicente Guerrero es de 6.69 toneladas por año, con un valor asociado de \$5.266, por su parte el almacenamiento de carbono fue de 104 toneladas, mismo que equivale a \$82.3 mil. De las especies muestreadas, chopo almacena

y secuestra la mayor cantidad de carbono, le sigue cedro blanco y trueno. Lo que se refiere a la generación de oxígeno los árboles del camellón produjeron 17.8 toneladas de oxígeno al año, es importante destacar que estos valores incrementan debido al número de árboles por especie que se encuentran en el área verde (ver tabla 16), así como el tamaño de estas.

Tabla 16. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido

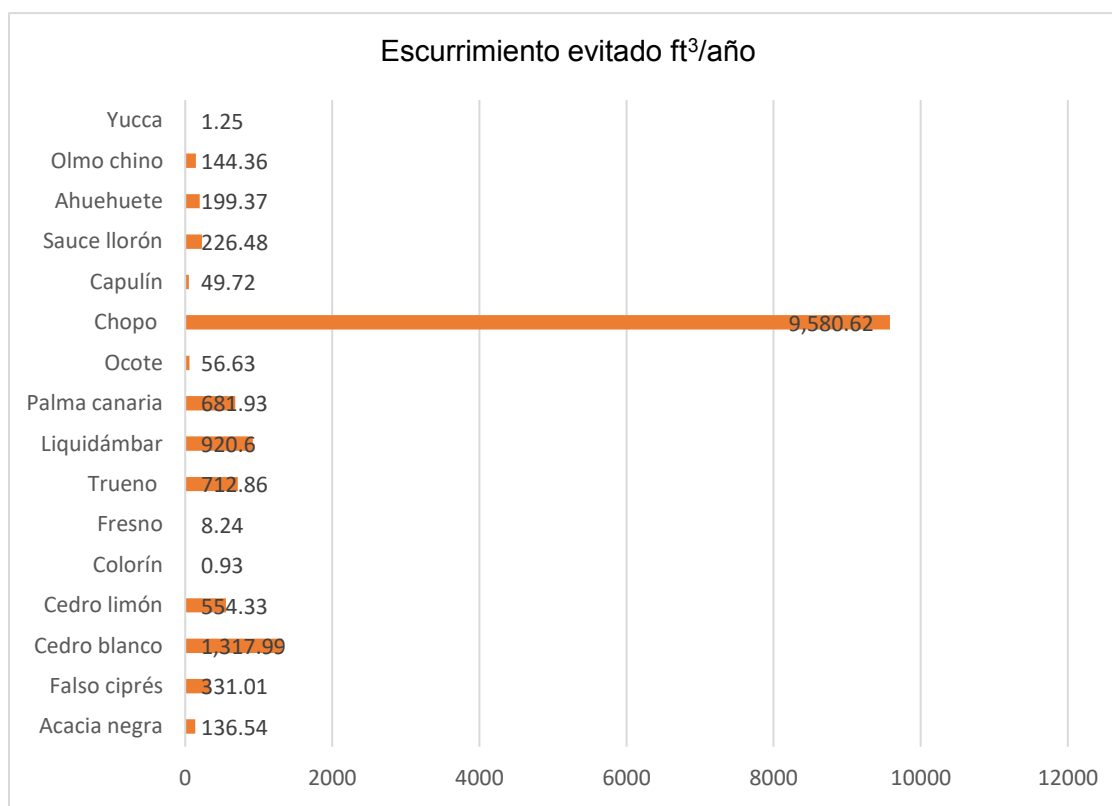
Especie	Número de árboles	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno toneladas
		Toneladas	\$	Toneladas	\$	
Acacia negra	5	0.63	497.66	0.06	51.13	0.17
Falso ciprés	6	0.93	733.72	0.05	41.43	0.14
Cedro blanco	57	8.57	6,758.13	0.43	338.14	1.14
Cedro limón	17	3.77	2,970.48	0.20	155.21	0.53
Colorín	1	0.02	18.55	0.00	2.57	0.01
Fresno	1	0.04	32.70	0.01	6.40	0.02
Trueno	53	5.11	4,026.93	0.44	349.89	1.18
Liquidámbar	76	2.93	2,308.86	0.43	339.16	1.15
Palma canaria	27	4.70	3,703.90	0.11	83.56	0.28
Ocote	1	0.38	301.84	0.02	12.60	0.04
Chopo	100	66.93	52,752.68	4.11	3,236.64	10.95
Capulín	3	1.04	816.27	0.12	96.02	0.32
Sauce llorón	11	5.94	4,680.34	0.39	305.55	1.03
Ahuehuate	13	0.75	590.52	0.11	84.95	0.29
Olmo chino	17	2.70	2,126.65	0.20	154.49	0.52
Yucca	4	0.05	35.47	0.01	8.59	0.03
TOTAL	383	104.49	82,354.7	6.69	5,266.33	17.8

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Paseo Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Escurrimiento evitado

Los árboles del camellón Vicente Guerrero ayudan a reducir el escurrimiento por casi 14.9 mil ft³/año (421921.01 lt/año) con un valor asociado de \$19 mil. Como se ha venido mencionado anteriormente la especie que predomina en el área verde es la de Chopo, por lo tanto, es la que en su mayoría ayuda a reducir el escurrimiento con 9580.62 ft³/año (271292.94 lt/año) y un valor de 12 mil pesos anuales, como se muestra en la ilustración 10.

Ilustración 10. Ecurrimiento evitado por especie arbórea



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Paseo Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Valores de sustitución y funcionales

Los árboles del Camellón Vicente Guerrero tienen los siguientes valores de sustitución:

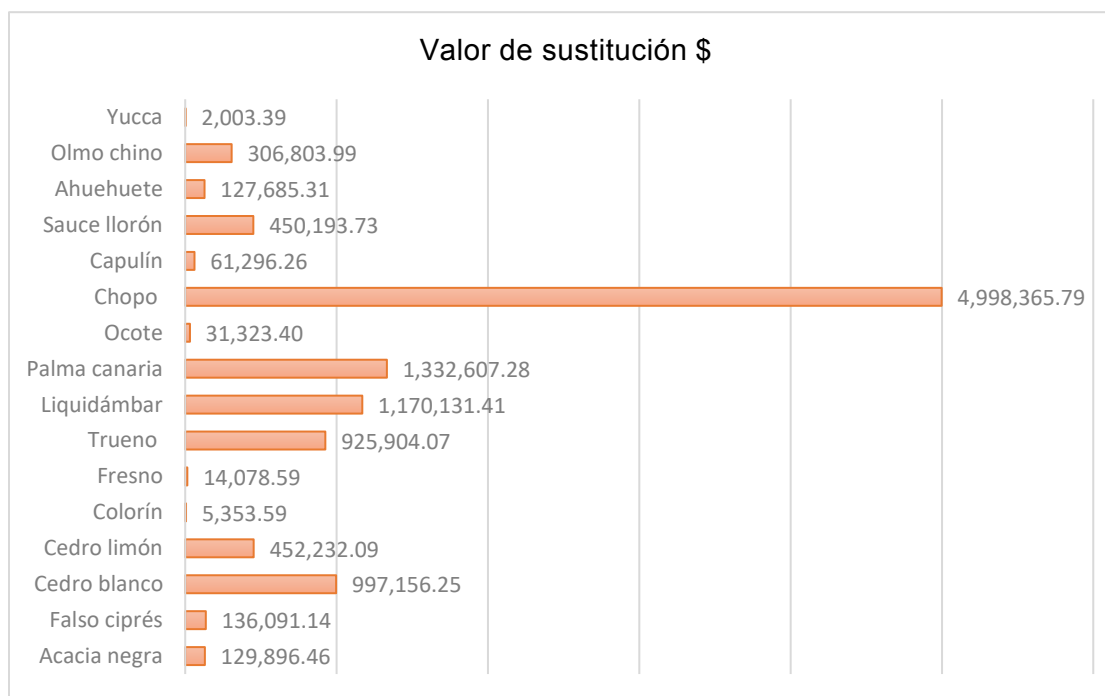
- Valor de sustitución: \$11,141,122.73
- Almacenamiento de carbono: \$82,354.71

Así mismo, se presentan los siguientes valores funcionales anuales:

- Secuestro de carbono: \$5,266.34
- Ecurrimiento evitado: \$18,977.21
- Eliminación de la contaminación: \$153,671.42

Las especies de los árboles con el mayor valor de sustitución y de acuerdo con la ilustración 11 es chopo, seguido de palma canaria, liquidámbar y cedro blanco, estos valores se relacionan con el número de árboles, su tamaño y su estado de salud.

Ilustración 11. Valores de sustitución por especie de arboles



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Paseo Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Parque Municipal Benito Juárez

Características del arbolado

El inventario que se realizó en el parque Benito Juárez fue completo, contó con 152 árboles de 13 especies; las más comunes fueron *Cupressus lusitanica* con 73 árboles, *Fraxinus uhdei* con 41 ejemplares y *Cupressus macrocarpa* con 14 individuos. De este conjunto, la especie con mayor valor de importancia fue el *Cupressus lusitanica*, debido a que es la que predomina, además de que estos árboles tienen gran altura y cantidad de follaje, tal como lo constata en la tabla 17, también su biomasa foliar fue la más representativa, de 10.3 toneladas por todos los árboles de esta especie. Para el caso de *Prunus mexicana*, *Prunus persica*, *Quercus rugosa*, *Yucca elephantipes* y *Salix babylonica*, su biomasa foliar representó menor a 0.1 toneladas porque sus ejemplares fueron pocos.

Tabla 17. Número de árboles, biomasa foliar y valor de importancia por especie

Nombre común	Nombre científico	Número de árboles	Biomasa foliar (ton)	Valor de importancia
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	73	10.3	103.70
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	41	1.7	56.50
Cedro limón	<i>Cupressus macrocarpa</i>	14	0.5	11.90
Escobillón rojo	<i>Callistemon citrinus</i>	5	0.1	4.0
Yuca	<i>Yucca elephantipes</i>	4	Menor a 0.1	2.70
Aile	<i>Alnus jorullensis</i>	3	0.1	3.20
Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	3	0.1	3.90
Pino lacio	<i>Pinus patula</i>	3	0.5	5.80
Chopo	<i>Populus deltoides</i>	2	0.2	5.20
Ciruelo	<i>Prunus mexicana</i>	1	Menor a 0.1	0.70
Durazno	<i>Prunus persica</i>	1	Menor a 0.1	0.70
Encino	<i>Quercus rugosa</i>	1	Menor a 0.1	0.70
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	1	Menor a 0.1	1.0

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Municipal, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Mientras que para las diferentes clases de diámetro a la altura del pecho, *Cupressus lusitanica* fue la única especie que conto con árboles de distintas medidas respecto a la anchura del fuste, el mayor porcentaje de individuos se encuentra en un DAP de 48 y más pulgadas, con base a la tabla 18 también es el que tuvo una biomasa foliar elevada, por su parte, *Fraxinus uhdei* tiene el 26.8% de arbolado con un DAP de 24 a 30 pulgadas; con respecto a los DAP más pequeños, *Cupressus macrocarpa* cuenta con el 57.1% de individuos en la clase de 3 a 6 pulgadas, un poco más de la mitad del arbolado tiene troncos delgados (ver ilustración 12).

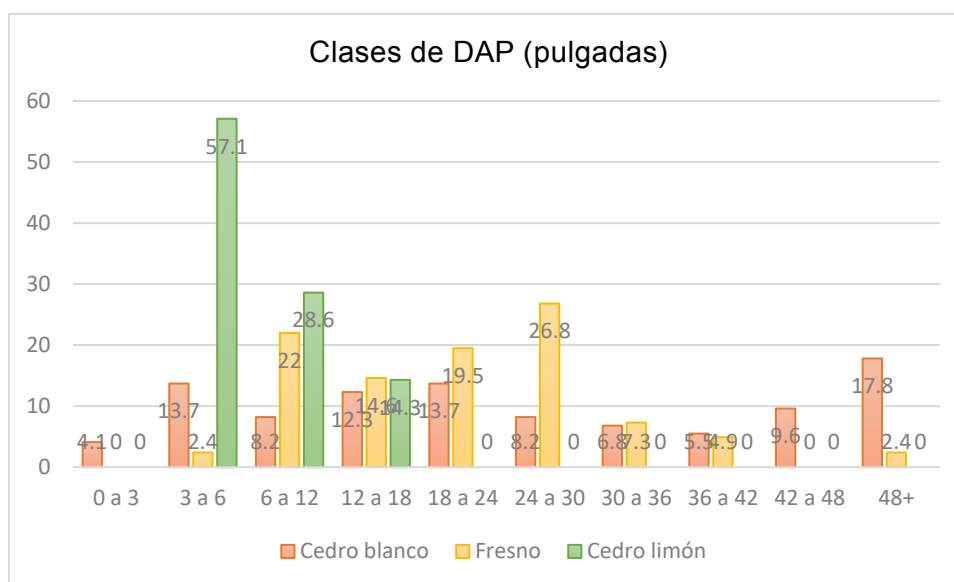
Tabla 18. Clases de DAP

Clases de DAP		Especie (valores en porcentajes)		
DAP cm.	DAP in.	Cedro blanco	Fresno	Cedro limón
0 a 7.62	0 a 3	4.1	0.0	0.0
7.62 a 15.24	3 a 6	13.7	2.4	57.1
15.24 a 30.48	6 a 12	8.2	22.0	28.6
30.48 a 45.72	12 a 18	12.3	14.6	14.3

45.72 a 60.96	18 a 24	13.7	19.5	0.0
20.96 a 76.2	24 a 30	8.2	26.8	0.0
76.2 a 91.44	30 a 36	6.8	7.3	0.0
91.44 a 106.68	36 a 42	5.5	4.9	0.0
106.68 a 121.92	42 a 48	9.6	0.0	0.0
121.92 +	48+	17.8	2.4	0.0

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Municipal, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Ilustración 12. Clases de DAP por rango



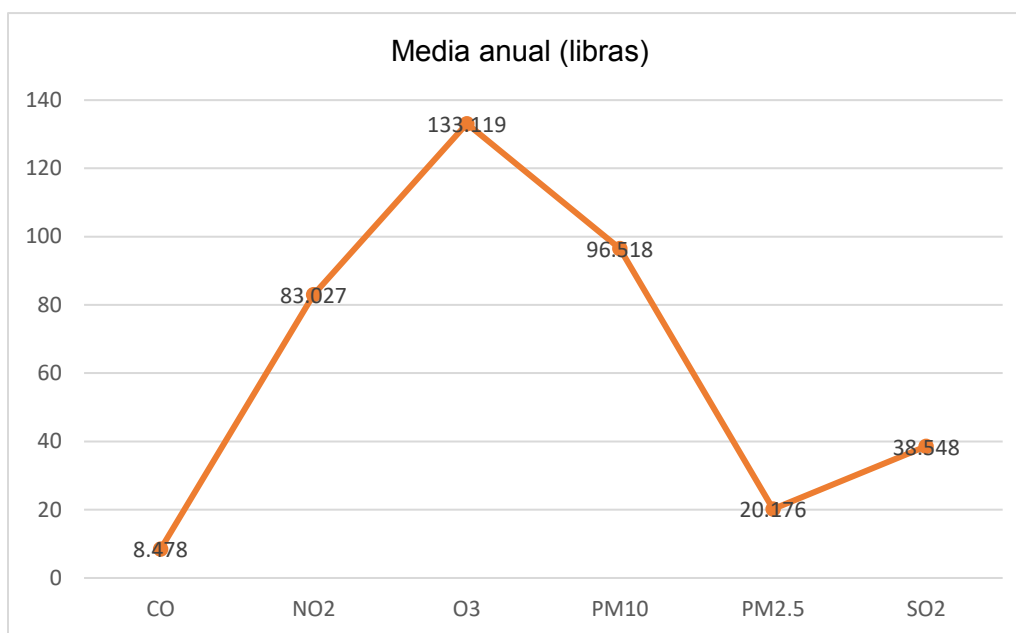
Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Municipal, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Así mismo, el área verde cuenta con el 93 % de árboles de especies nativas de Norte América, el resto son exóticas, la mayoría de estas tienen un origen de Oceanía y Asia.

Eliminación de la contaminación

Como se muestra en la ilustración 13, la eliminación de la contaminación fue mayor para ozono, este eliminó 133.119 libras lo que representa 60.38 kg. en un año. Se estima que los árboles eliminaron en total en un lapso de un año 379.9 libras (172.32 kg.) de la contaminación del aire (O₃, CO, NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ y SO₂) con un valor asociado de \$153 mil.

Ilustración 13. Eliminación de contaminantes por tipo de gas



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Municipal, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Los árboles del Parque Municipal en un año emiten aproximadamente 79.03 libras (35.84 kg.) de compuestos orgánicos volátiles (9.24 kg. de isopreno y 26.60 kg. de monoterpenos). Las especies que emitieron más monoterpenos fueron cedro blanco con 46.9 lb/año (21.27 kg/año), seguido de pino lacio con 6.8 libras (3.08 kg/año), así como aile con 1.9 libras (0.86 kg/año). Lo que respecta a isopreno, las especies que generaron más fueron trueno con 9.2 libras al año (4.17 kg/año), seguido de chopo con 7.0 libras (3.17 kg/año) y pino lacio con 3.1 libras (1.4 kg/año), 72 % de las emisiones de COV del área verde fueron de Cedro blanco y Pino lacio.

Almacenamiento, secuestro de carbono y generación de oxígeno

El secuestro bruto de carbono de los árboles del Parque Municipal es de 2.73 toneladas por año con un valor asociado de \$2,148. Las especies que secuestraron más carbono fueron cedro blanco con 1.29 toneladas al año, fresno y cedro limón con 1.05 y 0.11 toneladas respectivamente.

A su vez, el arbolado de este parque almacenó en un año 219 toneladas de carbono con un valor de \$172.7 mil. De las especies muestreadas, cedro blanco almacena y secuestra la mayor

cantidad de carbono (aproximadamente 76.5% del total de carbono almacenado y 47.3% de todo el carbono secuestrado), como se ve en la tabla 19.

Lo que se refiere a la producción de oxígeno, se calcula que los árboles generan 6.59 toneladas de oxígeno al año, debido a que cedro blanco es la especie predominante también es la que genera más oxígeno, esta especie secuestra al año 3.12 toneladas.

Tabla 19. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido

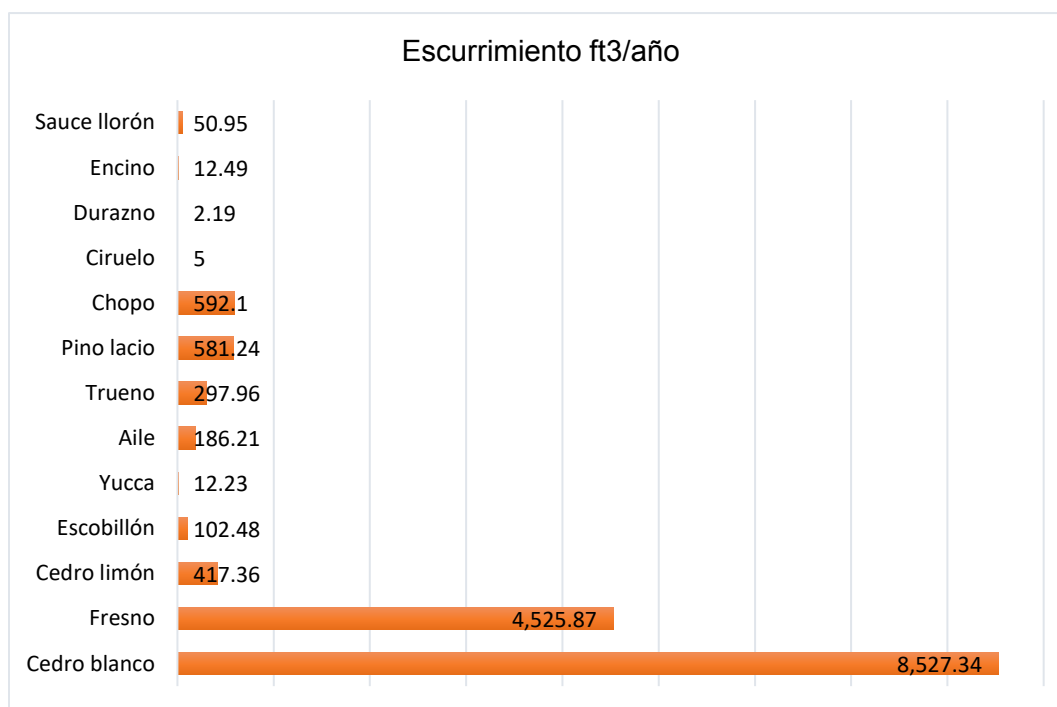
Especie	Número de árboles	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno toneladas
		Toneladas	\$	Toneladas	\$	
Cedro blanco	73	167.74	132,201.39	1.29	1,016.97	3.1216
Fresno	41	41.49	32,696.99	1.05	825.52	2.5339
Cedro limón	14	1.74	1,372.44	0.11	85.60	0.2627
Escobillón	5	0.13	105.56	0.01	9.06	0.0278
Yucca	4	1.64	1,291.10	0.07	55.77	0.1711
Aile	3	0.21	168.18	0.00	3.82	0.0117
Trueno	3	2.10	1,658.69	0.05	39.22	0.1203
Pino lacio	3	2.14	1,687.49	0.05	38.73	0.1188
Chopo	2	1.61	1,270.26	0.06	50.06	0.1536
Ciruelo	1	0.04	35.09	0.01	4.80	0.0147
Durazno	1	0.01	4.52	0.00	3.03	0.0092
Encino	1	0.05	37.67	0.01	6.20	0.0190
Sauce llorón	1	0.29	227.07	0.01	9.68	0.0297
Total	152	219.20	172,756.44	2.73	2,148.47	6.5941

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Municipal, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Escurrimiento evitado

El escurrimiento anual fue por casi 15.3 mil ft³/año (433247.75 lt/año) con un valor asociado de \$19 mil, como se muestra en la ilustración 14, las tres principales especies con mayor capacidad de evitar el escurrimiento superficial anual es cedro blanco con 8,527.34 ft³/año (241467.37 lt/año), fresno con 4,525.87 ft³/año (128158.36 lt/año) y chopo con 592.1 ft³/año (16766.405 lt/año).

Ilustración 14. Ecurrimiento evitado por especie arbórea



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Municipal, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Valor de sustitución y funcionales

Los árboles urbanos del Parque Municipal tienen los siguientes valores de sustitución:

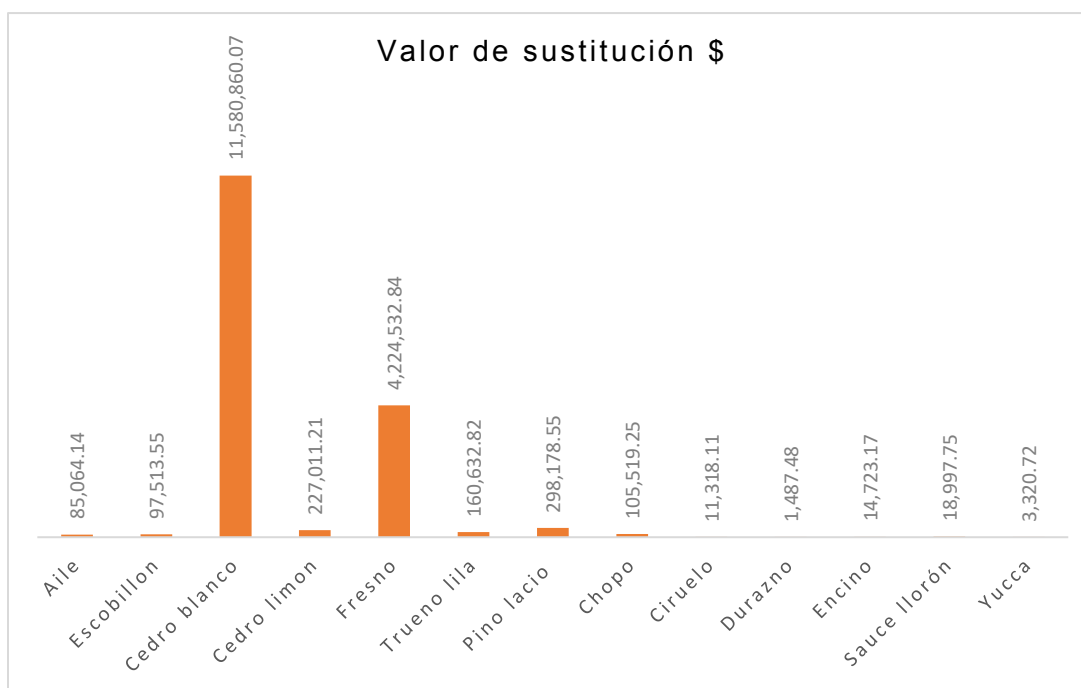
- Valor de sustitución: \$16.8 millón
- Almacenamiento de carbono: \$172,756.44

La especie que resulta más caro sustituirla por otra es cedro blanco, los 73 árboles tienen un costo de 11.5 millones, le sigue fresno (41 árboles) con 4.2 millones, la importancia de estas especies destaca en que son arboles de gran porte, con follaje prominente y buen estado de salud (ver ilustración 15).

Los árboles del área verde tienen los siguientes valores funcionales anuales:

- Secuestro de carbono: \$2,148.47
- Ecurrimiento evitado: \$19,473.87
- Eliminación de la contaminación: \$152,770.22

Ilustración 15. Valores de sustitución por especie de arboles



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Municipal, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Jardín Ignacio Zaragoza

Características del arbolado

En el jardín Zaragoza se realizó un inventario completo, los datos arrojados corresponden a 64 árboles de 12 especies, las más comunes son *Jacaranda mimosifolia* (40.6%), *Cupressus lusitanica* (18.8%) y *Ligustrum lucidum* (15.6%), el valor de importancia es mayor para *Cupressus lusitanica* con 63.7, en segundo lugar, esta *Jacaranda mimosifolia* con 53.2 y en tercer lugar *Ligustrum lucidum* con 36.5. De estas tres especies mencionadas *Cupressus lusitanica* cuenta con una población de 18.8%, es la especie que tiene una biomasa foliar mayor (1.780 ton.), para el caso de *Jacaranda*, esta tiene el porcentaje de población más alto, sin embargo, las toneladas de biomasa foliar son de 0.130, mientras tanto *Magnolia grandiflora* tiene una población de 4.7% y *Quercus crassipes* de 1.6% ambos presentan la biomasa foliar más baja (0.005 ton.), como se ve en la tabla 20.

Tabla 20. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie

Especies		Porcentaje de población	Biomasa foliar (ton)	Valor de importancia
Nombre común	Nombre científico			
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	40.6	0.130	53.2
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	18.8	1.780	63.7
Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	15.6	0.321	36.5
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	4.7	0.055	9.2
Magnolia	<i>Magnolia grandiflora</i>	4.7	0.005	4.9
Pino piñonero	<i>Pinus cembroides</i>	4.7	0.136	13.1
Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	3.1	0.015	4.3
Ciprés italiano	<i>Cupressus sempervirens</i>	1.6	0.029	2.3
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	1.6	0.012	3.1
Pino azul	<i>Pinus maximartinezii</i>	1.6	0.069	3.7
Encino	<i>Quercus crassipes</i>	1.6	0.005	1.9
Palma washingtonia	<i>Washingtonia robusta</i>	1.6	0.062	4.0

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

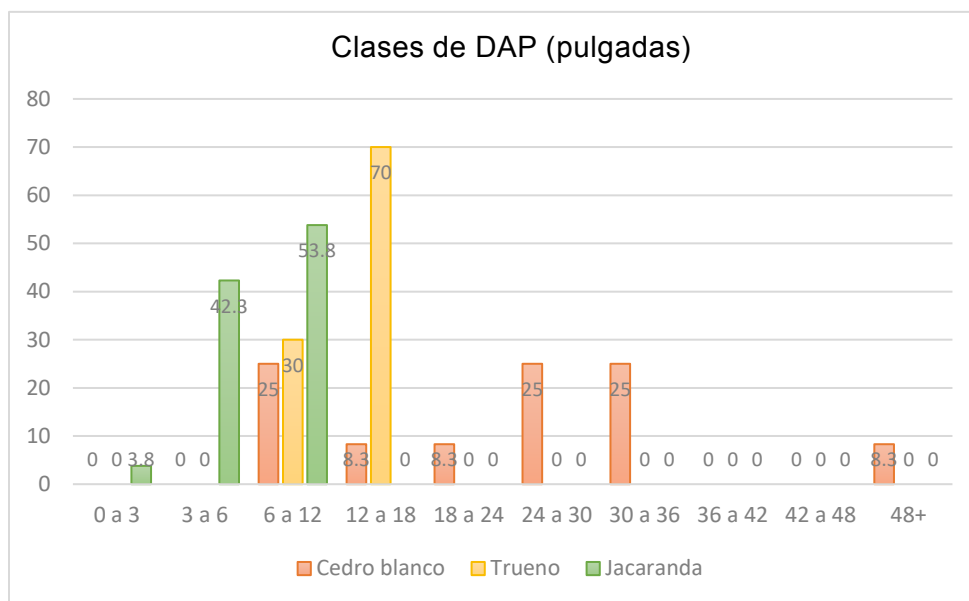
En este mismo tenor, cedro blanco sigue siendo la especie más representativa ya que para el caso de las clases de DAP es el único que tiene árboles de mayor medida, representa el 8.3% en un DAP de 48 y más pulgadas; mientras que trueno y jacaranda tienen el 70.0% y 53.8% en diámetros de 12 a 18 y 6 a 12 pulgadas respectivamente (tabla 21 e ilustración 16).

Tabla 21. Clases de DAP

Clases de DAP		Especie (valores en porcentajes)		
DAP cm.	DAP in.	Cedro blanco	Trueno	Jacaranda
0 a 7.62	0 a 3	0.0	0.0	3.8
7.62 a 15.24	3 a 6	0.0	0.0	42.3
15.24 a 30.48	6 a 12	25.0	30.0	53.8
30.48 a 45.72	12 a 18	8.3	70.0	0.0
45.72 a 60.96	18 a 24	8.3	0.0	0.0
60.96 a 76.2	24 a 30	25.0	0.0	0.0
76.2 a 91.44	30 a 36	25.0	0.0	0.0
91.44 a 106.68	36 a 42	0.0	0.0	0.0
106.68 a 121.92	42 a 48	0.0	0.0	0.0
121.92 +	48+	8.3	0.0	0.0

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Ilustración 16. Clases de DAP por rango



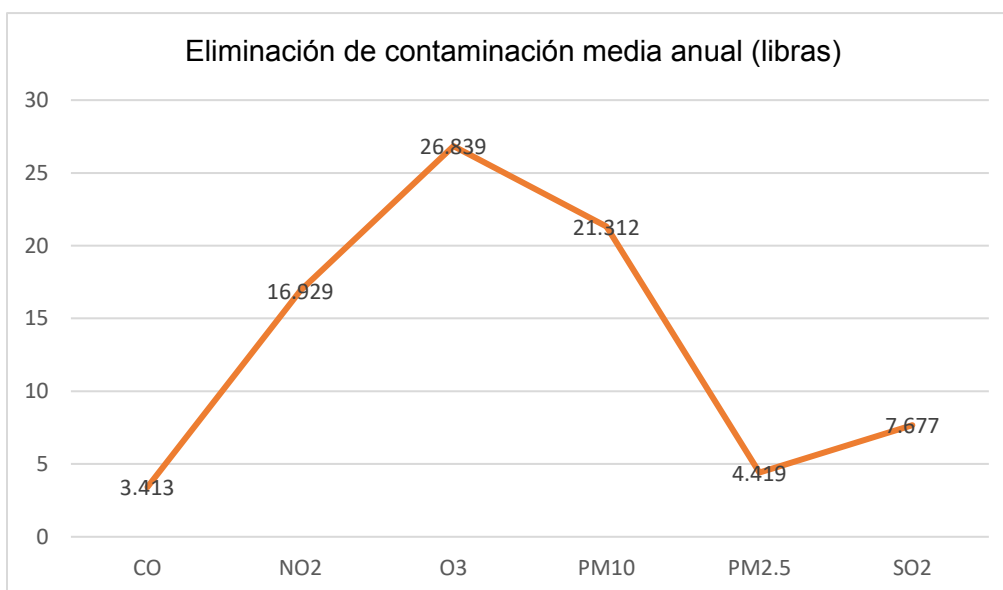
Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

En cuanto a las especies nativas y exóticas del área verde, casi el 39 por ciento de los árboles son especies nativas de Norte América. La mayoría de las especies de árboles exóticos tienen un origen en el Sur de América (41 por ciento de las especies) y de Asia hay 15.6%.

Eliminación de la contaminación

La eliminación de la contaminación del arbolado del jardín Zaragoza fue mayor para ozono con 26.839 libras lo que equivale a 12.17 kg., del que menos se eliminó fue monóxido de carbono con 3.413 libras (1.54 kg.). Se estima que los 64 árboles eliminan al año 80.59 libras (36.55 kg.) de la contaminación del aire como se muestra en la ilustración 17.

Ilustración 17. Eliminación de contaminantes por tipo de gas



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

El arbolado del área verde emite aproximadamente 32.88 libras/año (14.91 kg/año) de los compuestos orgánicos volátiles de los cuales 20.95 libras son de isopreno y 11.94 libras de monoterpenos (9.5 kg/año de isopreno y 5.41 kg/año de monoterpenos). Las emisiones varían entre las especies con base en las características de estas, 80% de las emisiones de COV del bosque urbano fueron de Trueno y Cedro blanco.

Almacenamiento, secuestro de carbono y producción de oxígeno

El secuestro bruto de carbono en el Parque Zaragoza es de 0.87 toneladas por año con un valor asociado de \$689. Las especies que secuestraron más carbono fueron, cedro blanco con 0.33 toneladas, en segundo lugar, trueno con 0.20 toneladas y jacaranda con 0.15 toneladas (ver tabla 22).

En cuanto al almacenamiento de carbono, los 64 árboles acumularon 27.97 toneladas en un año, lo que equivale a \$22 mil. Cedro blanco es el que almacena más carbono (18.79 toneladas), seguido esta trueno y en tercer lugar se encuentra pino piñonero con 1.96 toneladas almacenadas al año. De las especies muestreadas, cedro blanco almacena y secuestra la mayor cantidad de carbono (aproximadamente 67.2% del total de carbono almacenado y 37.5% de todo el carbono secuestrado).

Lo que respecta a la producción de oxígeno, cedro blanco genera más oxígeno, en un año puede fabricar 0.80 toneladas como se aprecia en el Tabla 22. Se calcula que los árboles del Parque Zaragoza producen aproximadamente 2.2 toneladas de oxígeno al año

Tabla 22. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido

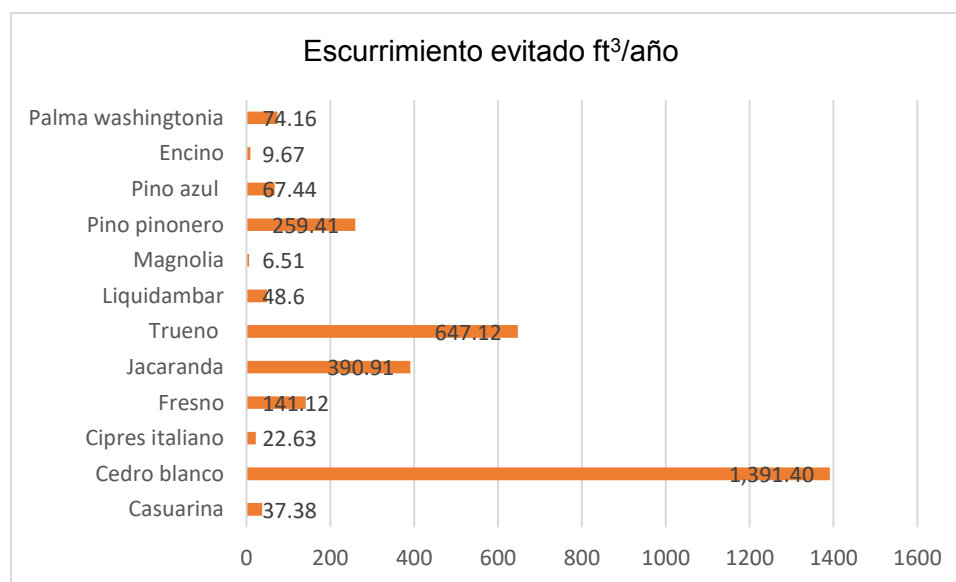
Especie	Número de árboles	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno toneladas
		Toneladas	\$	Toneladas	\$	
Casuarina	2	0.64	507.54	0.06	45.02	0.1381
Cedro blanco	12	18.79	14,811.62	0.33	258.56	0.7936
Ciprés italiano	1	0.08	65.79	0.01	6.74	0.0206
Fresno	3	0.87	685.15	0.06	50.12	0.1538
Jacaranda	26	1.00	789.94	0.15	117.37	0.3602
Trueno	10	3.55	2,798.14	0.20	155.59	0.4775
Liquidámbar	1	0.12	91.51	0.01	6.37	0.0195
Magnolia	3	0.05	42.37	0.01	7.69	0.0235
Pino piñonero	3	1.96	1,547.64	0.03	20.78	0.0637
Pino azul	1	0.29	231.63	0.01	9.41	0.0288
Encino	1	0.07	57.57	0.01	8.19	0.0251
Palma washingtonia	1	0.53	414.11	0.00	3.13	0.0096
Total	64	27.95	22,043.02	0.88	688.97	2.1140

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Esgurrimiento evitado

Los árboles del Parque Zaragoza ayudan a reducir el escurrimiento por casi 3.1 mil pies cúbicos al año (87,782.22 litros al año) con un valor asociado de \$3.9 mil. Cedro blanco (12 árboles) evitó el escurrimiento superficial por 1,391.40 ft³/año (39,400.06 lt/año), trueno (10 árboles) también contribuyo significativamente con 647.12 ft³/año (18,324.39 lt/año), como se muestra en la ilustración 18.

Ilustración 18. Esgurrimiento evitado por especie arbórea



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Valores de sustitución y funcionales

El arbolado del jardín Zaragoza tienen los siguientes valores de sustitución:

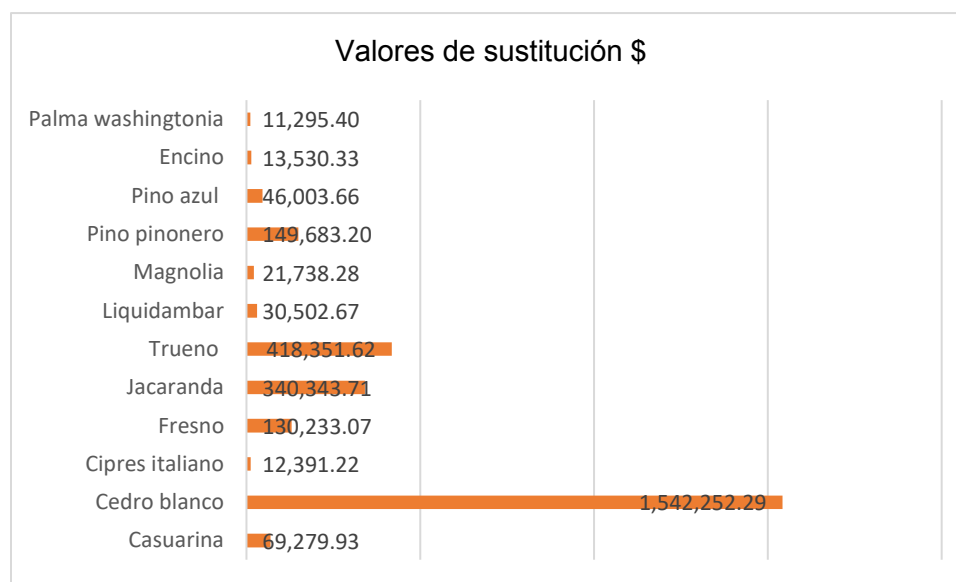
- Valor de sustitución: \$2,785,605.38
- Almacenamiento de carbono: \$22,043.02

La especie que tiene un mayor valor de sustitución es cedro blanco, si se eliminaran los árboles presentes de esta especie en el Parque Zaragoza el costo sería de \$1,542,252.29. como se ve en la ilustración 19, otra especie de importancia es trueno, el valor de sustitución de esta especie es de \$418,351.62.

A su vez el arbolado tiene los siguientes valores funcionales anuales:

- Secuestro de carbono: \$688.95
- Esgurrimiento evitado: \$3,937.60
- Eliminación de la contaminación: \$31,369.48

Ilustración 19. Valores de sustitución por especie de arboles



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Parque Urawa

Características del arbolado

En el Parque Urawa se evaluaron 253 árboles de 25 especies, las más comunes son *Ligustrum lucidum* (25.2%), *Fraxinus uhdei* (11.0 %) y *Liquidambar styraciflua* (10.3 %), los valores de importancia que más destacan y que se relacionan con el porcentaje de la población y el área foliar son para *Ligustrum lucidum*, con un valor de importancia de 40.0 y un área foliar de 5,455.5 (ft²/ac), *Fraxinus uhdei* cuenta con la mayor área foliar de las diferentes especies, a pesar de tener un porcentaje de población de 11.1; *Eucalyptus globulus* está en tercer lugar de área foliar (4,119.1 ft²/ac) aunque tiene una población del 4.0% y un valor de importancia de 15.0, como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie

Especies		Porcentaje de población	Área foliar (ft ² /ac)	Valor de importancia
Nombre común	Nombre científico			
Trueno lila	<i>Ligustrum lucidum</i>	25.3	5,455.5	40.0
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	11.1	8,012.8	32.6
Acacia mimosa	<i>Acacia baileyana</i>	8.7	3,506.5	18.1

Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	10.3	2,499.1	17.0
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	4.0	4,119.1	15.0
Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	3.6	3,300.2	12.4
Álamo plateado	<i>Populus alba</i>	4.0	3,035.0	12.1
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	5.5	1,851.5	10.5
Cedro limón	<i>Cupressus macrocarpa</i>	5.1	1,788.5	9.9
Falso sicomoro	<i>Acer pseudoplatanus</i>	1.2	1,639.4	5.6
Colorín	<i>Erythrina americana</i>	3.6	121.2	3.9
Ciprés italiano	<i>Cupressus sempervirens</i>	3.6	24.7	3.6
Acacia negra	<i>Acacia melanoxylon</i>	2.0	477.7	3.3
Olmo chino	<i>Ulmus parvifolia</i>	2.4	246.3	3.0
Capulín	<i>Prunus serotina subsp. capuli</i>	1.6	230.5	2.2
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	0.8	434.6	2.0
Cedro salado	<i>Tamarix gallica</i>	1.6	125.6	1.9
Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	1.2	117.6	1.5
Pino lacio	<i>Pinus patula</i>	1.2	91.2	1.4
Escobillón rojo	<i>Callistemon citrinus</i>	1.2	36.9	1.3
Yuca	<i>Yucca elephantipes</i>	0.8	3.7	0.8
Pera	<i>Pyrus communis</i>	0.4	73.7	0.6
Pino piñonero	<i>Pinus cembroides</i>	0.4	20.1	0.4
Higo	<i>Ficus carica</i>	0.4	11.5	0.4
Ahuehuete	<i>Taxodium mucronatum</i>	0.4	6.5	0.4

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Mientras tanto, las clases de DAP (ver tabla 24) muestran que eucalipto tiene los DAP de mayor dimensión, el 10% se encuentra en un DAP de 30 a 36 pulgadas y el 30% en un DAP de 24 a 30 pulgadas; fresno se encuentra prácticamente a la mitad de las clases de DAP ya que el 53.6% tiene de 12 a 18 pulgadas de diámetro del fuste, mientras que trueno esta con DAP de menor medida comparado con las otras dos especies, sus diámetros se concentran en clases de 3 a 6 pulgadas hasta 12 a 18 pulgadas (ver ilustración 20).

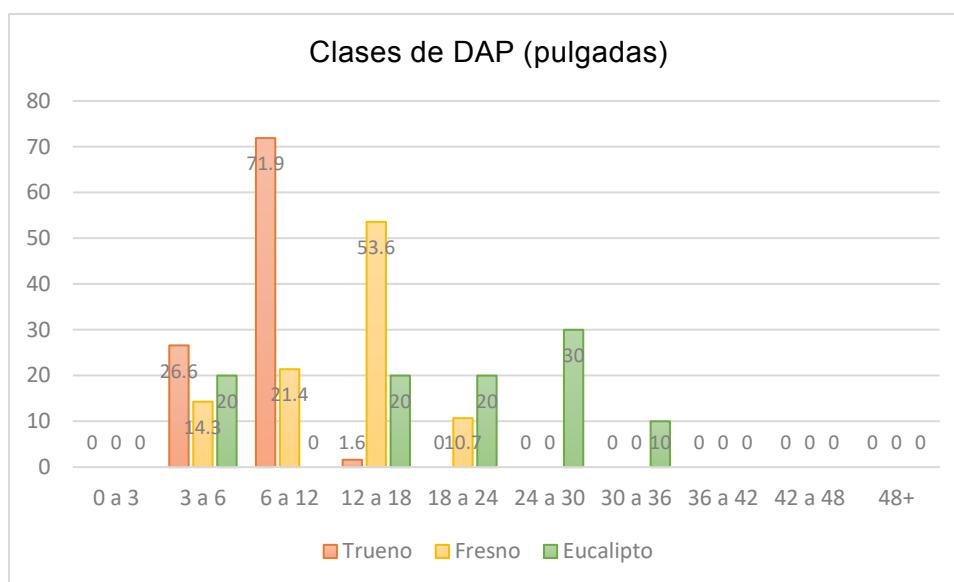
Tabla 24. Clases de DAP

Clases de DAP		Especie (valores en porcentajes)		
DAP cm.	DAP in.	Trueno	Fresno	Eucalipto
0 a 7.62	0 a 3	0.0	0.0	0.0
7.62 a 15.24	3 a 6	26.6	14.3	20.0
15.24 a 30.48	6 a 12	71.9	21.4	0.0
30.48 a 45.72	12 a 18	1.6	53.6	20.0

45.72 a 60.96	18 a 24	0.0	10.7	20.0
20.96 a 76.2	24 a 30	0.0	0.0	30.0
76.2 a 91.44	30 a 36	0.0	0.0	10.0
91.44 a 106.68	36 a 42	0.0	0.0	0.0
106.68 a 121.92	42 a 48	0.0	0.0	0.0
121.92 +	48+	0.0	0.0	0.0

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Ilustración 20. Clases de DAP por rango



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

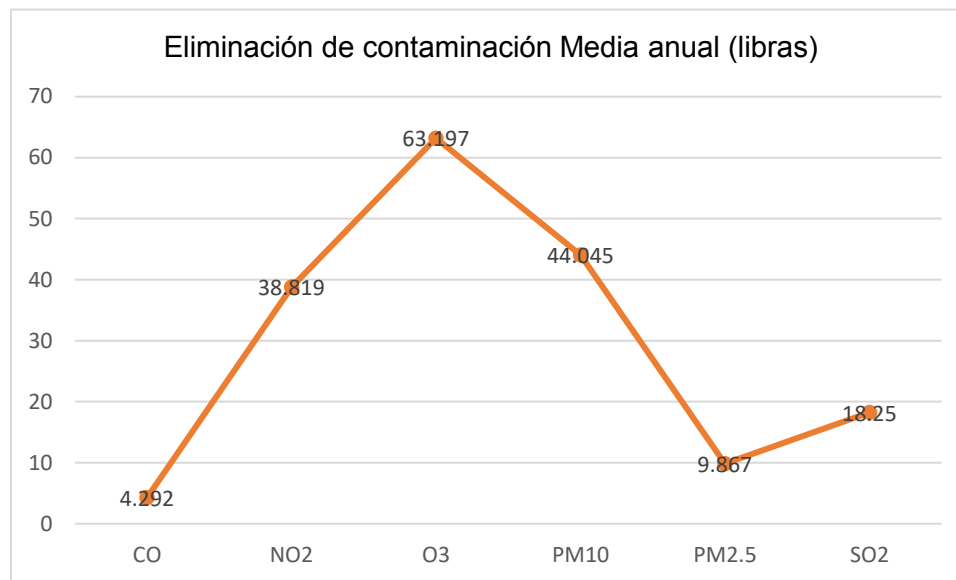
Así mismo, de las especies presentes, casi el 42 por ciento de los árboles son especies nativas de Norte América. La mayoría de las especies de árboles exóticos tienen un origen de Asia (35 por ciento).

Eliminación de la contaminación

En el área verde la eliminación de la contaminación fue mayor para ozono (ver ilustración 21). Se estima que los árboles eliminaron 178.5 libras (0.08 toneladas u 81 kg.). De la contaminación del aire, se eliminó para ozono 28.66 kg., monóxido de carbono 1.95 kg., dióxido de nitrógeno 17.61 kg., material particulado menor a 2.5 micrones 4.47 kg., material particulado menor a 10

micrones y mayor a 2.5 micrones fueron 20 kg., y dióxido de sulfuro 8.3 kg. por año con un valor asociado de \$73,360.75.

Ilustración 21. Eliminación de contaminantes por tipo de gas



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

El arbolado del Parque Urawa emite en un año aproximadamente 97.51 libras (44.23 kg.) de compuestos orgánicos volátiles (35.51 kg. de isopreno y 8.71 kg. de monoterpenos). Las emisiones varían entre las especies con base en las características de estas y la cantidad de biomasa de las hojas, las que emiten más monoterpenos son: eucalipto con 11.3 libras al año (5.12 kg.) y cedro limón con 2.1 libras al año (0.95 kg.), lo que se refiere a isopreno emitió en su mayoría trueno con 39.1 libras al año (17.73 kg.) y eucalipto con 22.3 (10.11kg.). El 75% de las emisiones de COV totales del parque urbano fueron de Trueno y Eucalipto.

Almacenamiento, secuestro de carbono y producción de oxígeno

El secuestro bruto del arbolado en el Parque Urawa es de 2.88 toneladas de carbono por año con un valor asociado de \$2.27 mil. Entre las especies que más carbono secuestran se encuentran, fresno con 0.44 toneladas, seguido de acacia con 0.43 toneladas y en tercer lugar trueno con 0.41 toneladas al año. Respecto al almacenamiento, la cifra es de 42.7 toneladas de carbono con un valor de \$33.6 mil, fresno fue la especie que almacena más carbono. De las especies muestreadas, Fresno almacena y secuestra la mayor cantidad de carbono,

aproximadamente 18% del total de carbono almacenado y 15.4% de todo el carbono secuestrado, a su vez, también fresno es la especie que produce más oxígeno, seguido de acacia azul y trueno (ver tabla 25), en total los 253 árboles producen 7.686 toneladas de oxígeno al año.

Tabla 25. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido

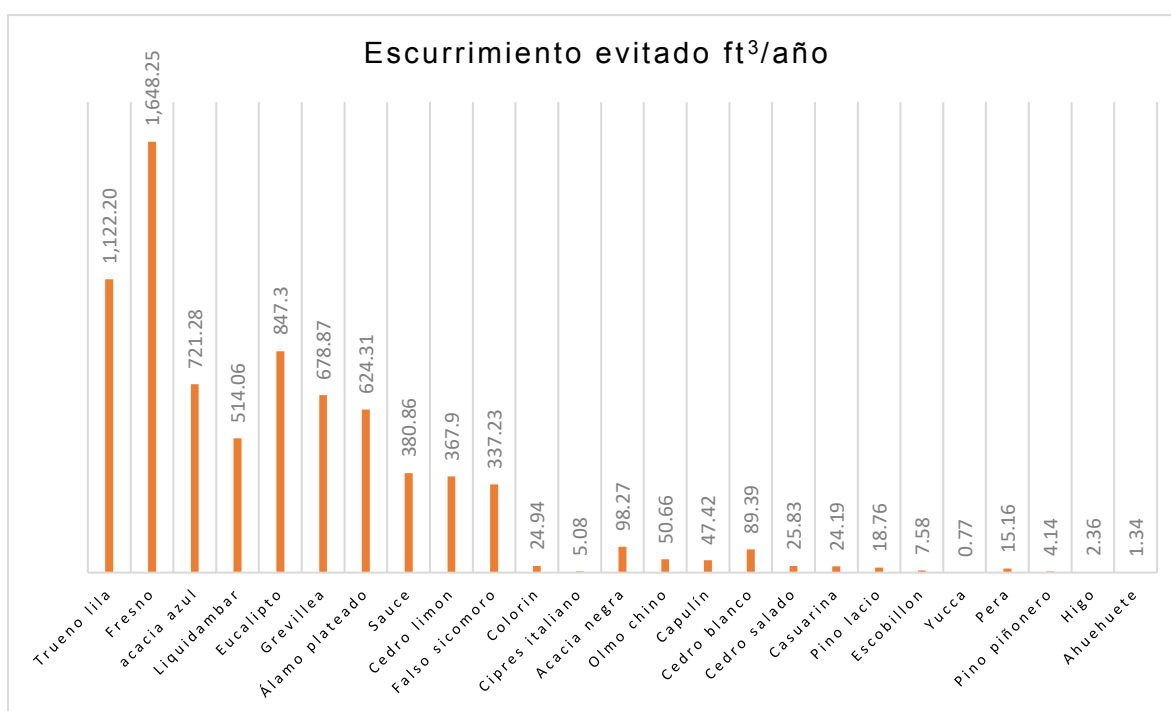
Especie	Número de árboles	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno toneladas
		Toneladas	\$	Toneladas	\$	
Acacia mimosa	22	5.93	4,675.05	0.43	339.06	1.04
Acacia negra	5	0.46	360.80	0.03	27.34	0.08
Falso sicomoro	3	1.25	988.34	0.05	41.61	0.12
Escobillón rojo	3	0.01	9.16	0.00	1.89	
Casuarina	3	0.32	252.93	0.04	27.80	0.08
Cedro blanco	2	0.44	348.07	0.02	14.83	0.04
Cedro limón	13	1.90	1,495.79	0.09	73.14	0.22
Ciprés italiano	9	0.33	263.88	0.05	40.61	0.12
Colorín	9	0.63	499.92	0.08	62.55	0.19
Eucalipto	10	2.71	2,139.33	0.08	61.24	0.19
Higo	1	0.02	14.60	0.01	5.13	
Fresno	28	7.67	6,047.30	0.44	349.26	1.07
Grevillea	9	4.44	3,501.43	0.27	210.02	0.64
Trueno	64	5.96	4,693.40	0.41	319.99	0.98
Liquidámbar	26	1.06	837.94	0.13	104.99	0.32
Pino piñonero	1	0.02	12.89	0.00	2.36	
Pino lacio	3	0.10	78.01	0.01	8.15	0.02
Álamo plateado	10	3.43	2,704.59	0.19	146.39	0.44
Capulín	4	1.16	912.59	0.12	91.83	0.28
Pera	1	0.24	191.85	0.03	22.14	0.06
Sauce llorón	14	4.03	3,173.91	0.31	244.23	0.75
Cedro salado	4	0.29	229.65	0.04	33.27	0.10
Ahuehete	1	0.04	33.40	0.01	6.47	
Olmo chino	6	0.20	158.79	0.04	30.95	0.09
Yuca	2	0.03	26.26	0.01	6.25	
Total	253	42.67	33,649.88	2.88	2,271.51	7.686

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Escurrimiento evitado

Los árboles del Parque Urawa ayudan a reducir el escurrimiento por casi 7.66 mil pies cúbicos al año (216,907 litros) con un valor asociado de \$9,738.80. Las tres especies principales que reducen el escurrimiento son: fresno (28 árboles) con 1648.25 ft³/año (4667324.24 litros), en segundo lugar, esta trueno (64 árboles) y finalmente eucalipto en donde 10 árboles redujeron el escurrimiento con 847.3 ft³/año (23,992.86 litros) liquidámbar y acacia azul con 26 y 22 árboles respectivamente evitaron el escurrimiento superficial en una menor medida comparado con eucalipto, probablemente por el sistema radicular con el que cuenta este último (ver ilustración 22).

Ilustración 22. Escurrimiento evitado por especie arbórea

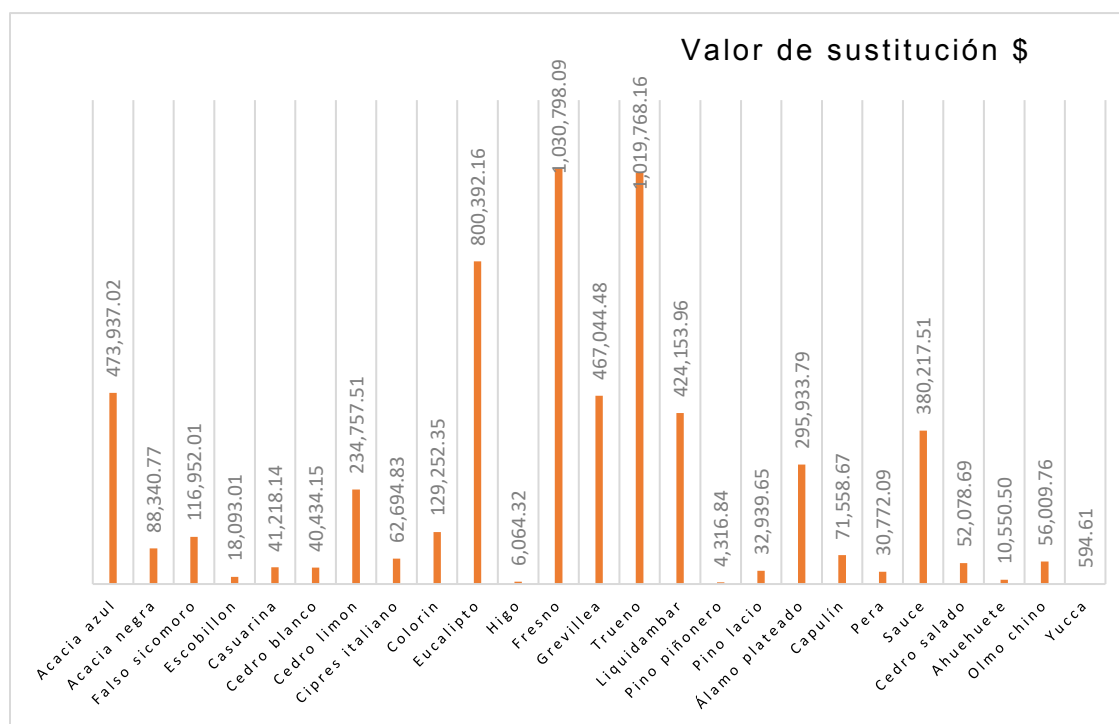


Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Valores de sustitución y funcionales

El valor de sustitución más elevado es para fresno, el costo de tener que reemplazar esta especie por otra sería de \$1,030,798.09, trueno también tiene un valor significativo de \$1,019,768.16, el tercero en la lista es eucalipto con un valor del arbolado de \$800,392.16 (ver ilustración 23).

Ilustración 23. Valores de sustitución por especie de arboles



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano, agosto 2022.

Parque Metropolitano Bicentenario

Características del arbolado

El Parque Metropolitano cuenta con 3030 árboles de 32 especies, de estos 2947 están vivos y 83 están muertos. Las tres especies más comunes son *Cupressus lusitanica* con un 69.7% de la población, un valor de importancia de 153.6, en segundo lugar, se encuentra *Pinus greggii*, tiene un valor de importancia de 8.4, el tercer lugar es para *Pinus montezumae* con un V.I de 6.8 y finalmente *Eucalyptus camaldulensis* tiene un V.I de 5.9, como se puede ver en la tabla 26. De las especies presentes casi el 86% de los árboles son especies nativas de Norte América, la mayoría de las exóticas tienen un origen en Europa y Asia.

Tabla 26. Porcentaje de población, área foliar y valor de importancia por especie

Nombre común	Nombre científico	Porcentaje de población	Área foliar (ha)	Valor de importancia
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	69.7	79.938	153.6

Ocote o pino prieto	<i>Pinus greggii</i>	5.8	2.535	8.4
Pino montezumae	<i>Pinus montezumae</i>	3.3	3.327	6.8
Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2.6	3.101	5.9
Pino llorón	<i>Pinus patula</i>	1.8	1.550	3.4
Ciruelo	<i>Prunus domestica</i>	2.7	0.541	3.3
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	1.8	0.453	2.3
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	0.7	1.013	1.8
Acacia mimosa	<i>Acacia baileyana</i>	1.3	0.396	1.7
Pera	<i>Pyrus communis</i>	1.3	0.288	1.6
Álamo plateado	<i>Populus alba</i>	0.9	0.613	1.6
Capulín	<i>Prunus serotina subsp. capuli</i>	1.1	0.278	1.4
Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	0.6	0.311	1.0
Manzana	<i>Malus domestica</i>	0.4	0.071	0.5
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.4	0.083	0.5
Encino	<i>Quercus rugosa</i>	0.4	0.025	0.5
Cedro limón	<i>Cupressus macrocarpa</i>	0.3	0.061	0.4
Pino	<i>Pinus sp.</i>	0.1	0.183	0.3
Escobillón rojo	<i>Callistemon citrinus</i>	0.3	0.014	0.3
Durazno	<i>Prunus persica</i>	0.2	0.024	0.3
Álamo temblón	<i>Populus tremuloides</i>	0.2	0.073	0.2
Palma canaria	<i>Phoenix canariensis</i>	0.1	0.103	0.2
Oyamel	<i>Abies religiosa</i>	0.2	0.063	0.2
Tejocote	<i>Crataegus mexicana</i>	0.1	0.067	0.2
Yuca	<i>Yucca gigantea</i>	0.1	0.036	0.2
Clavo	<i>Pittosporum tobira</i>	0.1	0.019	0.2
Encino blanco	<i>Quercus laurina</i>	0.1	0.072	0.1
Ocote blanco	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.1	0.018	0.1
Eucalipto dólar	<i>Eucalyptus cinerea</i>	0.1	0.015	0.1
Falso ciprés	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0.1	0.006	0.1
Aguacate	<i>Persea americana</i>	0.0	0.003	0.0
Retama	<i>Senna multiglandulosa</i>	0.0	0.002	0.0

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

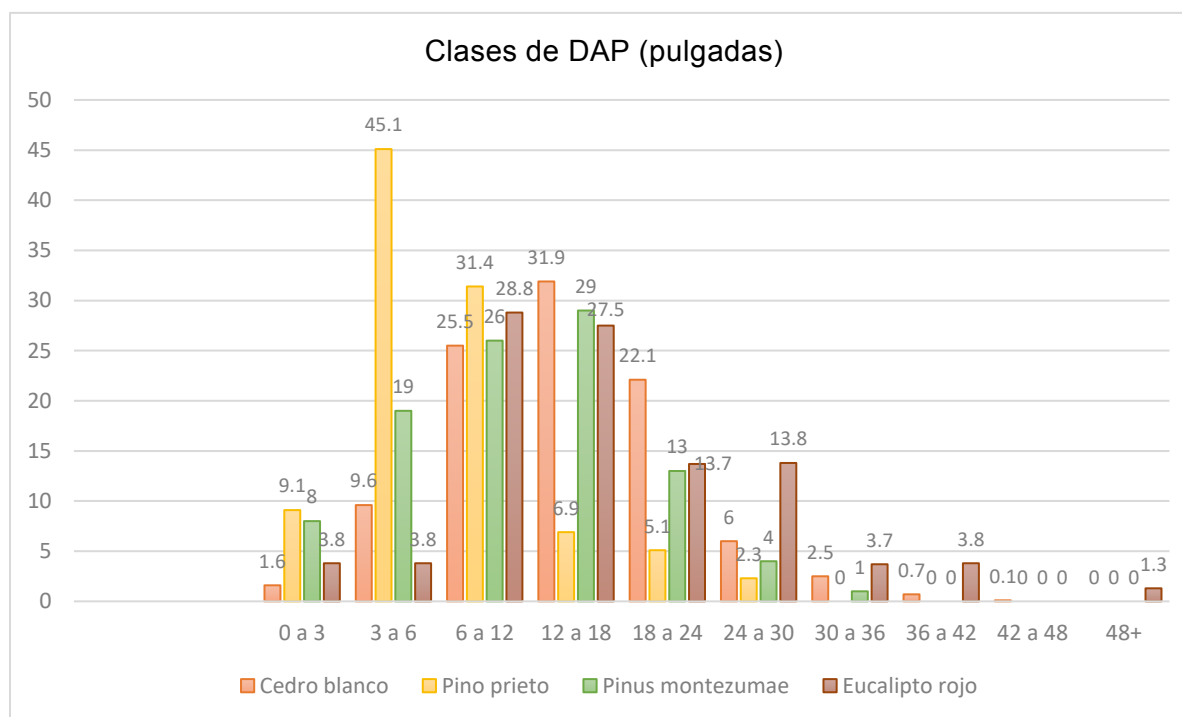
En cuanto al diámetro del fuste de los árboles, de las 32 especies muestreadas los que tuvieron un DAP mayor fueron cedro blanco, pino prieto, ocote y eucalipto rojo, de estos, eucalipto es el que cuenta con árboles de un mayor diámetro del tronco (48 y más pulgadas), pero el porcentaje de individuos con esta medida es bajo con tan solo el 1.3 de su población. El 45.1% de árboles de pino prieto tienen un diámetro de 3 a 6 pulgada; para el caso de cedro blanco el mayor porcentaje de su arbolado tiene un diámetro de 12 a 18 pulgadas y para pino montezumae el mayor porcentaje de su población se encuentra en la clase de 12 a 18 pulgadas. Como se puede apreciar en la tabla 27 e ilustración 24 solamente una especie es la que cuenta con DAP de mayor medida, las otras tres especies concentran sus DAP en las primeras 5 clases de medidas.

Tabla 27. Clases de DAP

Clases de DAP		Especie (valores en porcentajes)			
DAP cm.	DAP in.	Cedro blanco	Pino prieto	Pino montezumae	Eucalipto rojo
0 a 7.62	0 a 3	1.6	9.1	8.0	3.8
7.62 a 15.24	3 a 6	9.6	45.1	19.0	3.8
15.24 a 30.48	6 a 12	25.5	31.4	26.0	28.8
30.48 a 45.72	12 a 18	31.9	6.9	29.0	27.5
45.72 a 60.96	18 a 24	22.1	5.1	13.0	13.7
60.96 a 76.2	24 a 30	6.0	2.3	4.0	13.8
76.2 a 91.44	30 a 36	2.5	0.0	1.0	3.7
91.44 a 106.68	36 a 42	0.7	0.0	0.0	3.8
106.68 a 121.92	42 a 48	0.1	0.0	0.0	0.0
121.92 +	48+	0.0	0.0	0.0	1.3

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Ilustración 24. Clases de DAP por rango

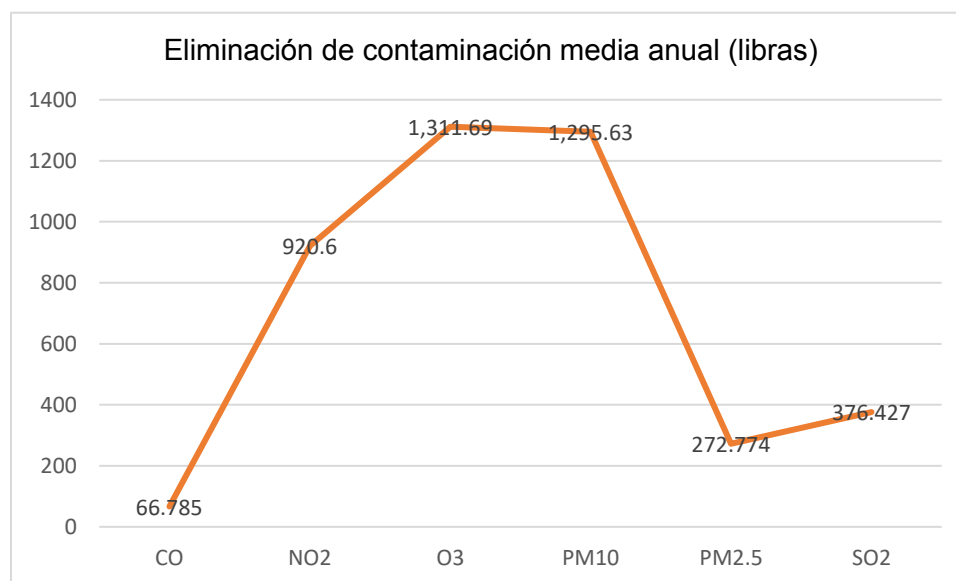


Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Eliminación de la contaminación

Como se muestra en la ilustración 25 la eliminación de la contaminación en el Parque Metropolitano fue mayor para ozono con 1,311.69 libras al año (594.97 kg.), seguido de PM10 con 1,295.63 libras (587.68 kg.). Se estima que los árboles eliminaron 2.122 toneladas de la contaminación del aire por año con un valor asociado de \$1.91 millones

Ilustración 25. Eliminación de contaminantes por tipo de gas



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

El arbolado del área verde emite aproximadamente 1322 libras (599.64 kg.) de compuestos orgánicos volátiles (138.7 libras de isopreno (62.91 kg.) y 1184 libras (537.05 kg.) de monoterpenos), 85% de las emisiones de COV del parque corresponden a cedro blanco con 935.4 lb/año (424.29 kg/año) de monoterpenos y eucalipto rojo con 90.4 lb/año (41.00 kg/año) de monoterpenos y 100.2 lb/año (45.44 kg/año) de isopreno.

Almacenamiento, secuestro de carbono y producción de oxígeno

El secuestro bruto del arbolado del PMB es de 41 toneladas de carbono por año con un valor asociado de \$32.7 mil. La especie que secuestra más carbono fue cedro blanco con 31.73 toneladas al año y un valor de \$25 mil. Lo que se refiere al almacenamiento, el arbolado vivo alojó 1,619 toneladas, sin embargo, como se inventario al arbolado muerto, este también reflejó

valores de almacenamiento, siendo de 49 toneladas, dando un total de 1,668 toneladas de carbono entre arbolado vivo y muerto con un valor de \$1.31 millones, cedro blanco es la especie que almacena más carbono (1,357 ton/año). De las especies muestreadas, Cedro blanco almacena y secuestra la mayor cantidad de carbono (aproximadamente 81.4% del total de carbono almacenado y 76.4% de todo el carbono secuestrado) como se aprecia en la tabla 28.

Respecto a la producción de oxígeno, el arbolado del parque produce 110 toneladas de oxígeno al año, cedro blanco es la especie que genera más oxígeno.

Tabla 28. Almacenamiento, secuestro de carbono y oxígeno producido

Especie	Número de árboles	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno toneladas
		Toneladas	\$	Toneladas	\$	
Oyamel	5	1.31	1,035.68	0.10	81.55	0.28
Acacia mimosa	39	14.26	11,236.57	0.29	229.10	0.78
Escobillón rojo	8	0.07	54.79	0.01	6.50	--
Casuarina	12	4.75	3,740.31	0.25	199.11	0.67
Falso ciprés	2	0.04	33.90	0.01	7.68	--
Tejocote	4	1.32	1,038.61	0.01	10.47	--
Cedro blanco	2113	1,357.51	1,069,886.34	31.73	25,010.02	84.62
Cedro limón	10	0.36	285.84	0.05	41.19	--
Eucalipto rojo	80	16.62	13,096.32	0.54	424.28	1.44
Eucalipto dólar	2	0.03	25.92	0.00	3.56	--
Fresno	22	9.12	7,187.59	0.41	326.77	1.11
Trueno	19	3.70	2,916.10	0.16	126.28	0.43
Manzana	13	1.29	1,018.81	0.06	49.83	0.17
Aguacate	1	0.11	84.36	0.01	11.37	--
Palma canaria	4	0.65	512.02	0.01	11.58	--
Pinus sp	4	2.30	1,812.55	0.09	68.43	0.23
Pino prieto	175	36.46	28,732.21	1.10	867.39	2.93
Pino montezumae	100	57.58	45,377.78	1.79	1,414.24	4.79
Pino llorón	55	9.79	7,718.35	0.43	340.37	1.15
Pino blanco	3	0.41	324.72	0.02	17.30	--
Clavo	4	0.28	222.70	0.02	19.68	--
Álamo plateado	28	11.65	9,182.83	0.54	423.39	1.43
Álamo temblón	5	3.60	2,839.84	0.11	86.16	0.29
Ciruelo	82	16.62	13,096.78	0.72	567.91	1.92
Durazno	7	4.04	3,181.32	0.06	46.48	0.16
Capulín	34	8.56	6,744.59	0.56	440.85	1.49
Pera	40	6.42	5,057.18	0.61	482.43	1.63
Encino blanco	2	0.43	336.39	0.02	13.98	--
Encino prieto	13	6.32	4,982.80	0.07	54.16	0.18
Sauce llorón	56	41.77	32,918.99	1.66	1,308.83	4.43
Retama	1	0.00	0.76	0.00	0.61	--

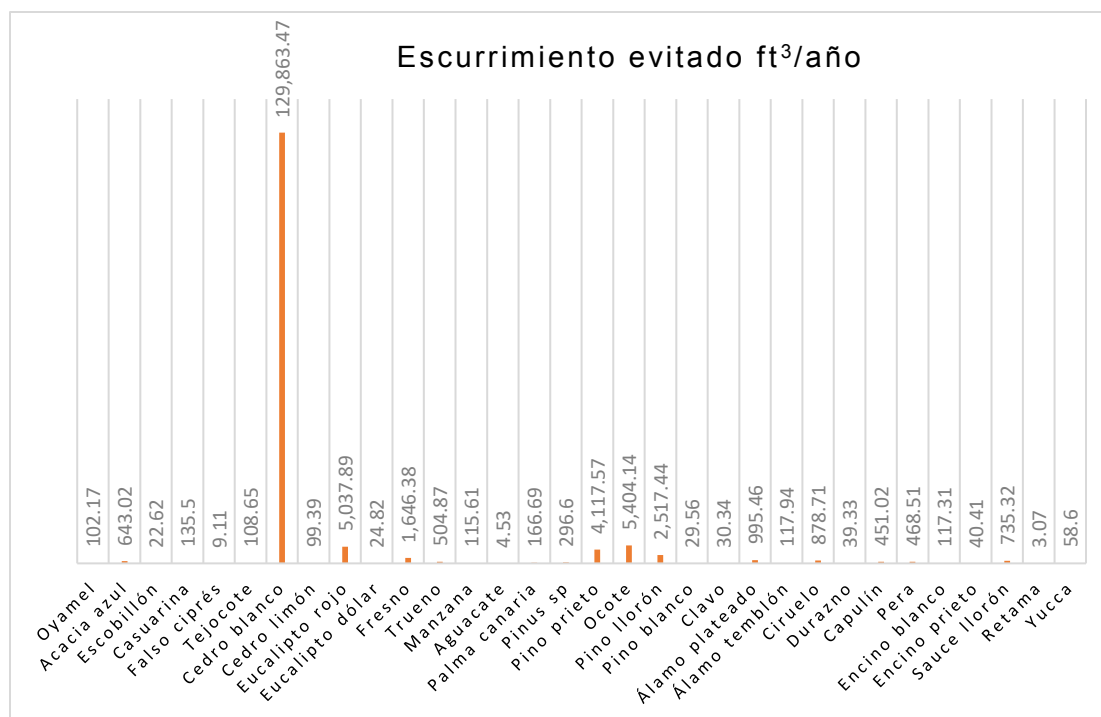
Yuca	4	1.79	1,414.56	0.03	26.82	--
Total arbolado vivo	2947	1619.16	1,276,097.51	41.47	32,718.32	110
Total con arbolado muerto	3,030	1,668.43	1,314,933.31	41.51	32,718.31	--

Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Escurrimiento evitado

Los árboles del parque ayudan a reducir el escurrimiento por casi 155 mil pies cúbicos al año (4,389,111.22 litros al año) con un valor asociado de \$197 mil. Como se ve en la ilustración 26 cedro blanco es la especie que contribuye en su mayoría a reducir el escurrimiento superficial con 129,836 ft³ al año (3,676,546.094 lt/año), le sigue ocote con 5,404 ft³ al año (153,024.24 lt/año) y en tercer lugar esta eucalipto rojo con 5,037 ft³ al año (142,631.96 lt/año), cada especie cuenta con 2113, 100 y 80 árboles respectivamente.

Ilustración 26. Escurrimiento evitado por especie arbórea



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

Valores de sustitución y funcionales

Los árboles del Parque Metropolitano Bicentenario tienen los siguientes valores de sustitución:

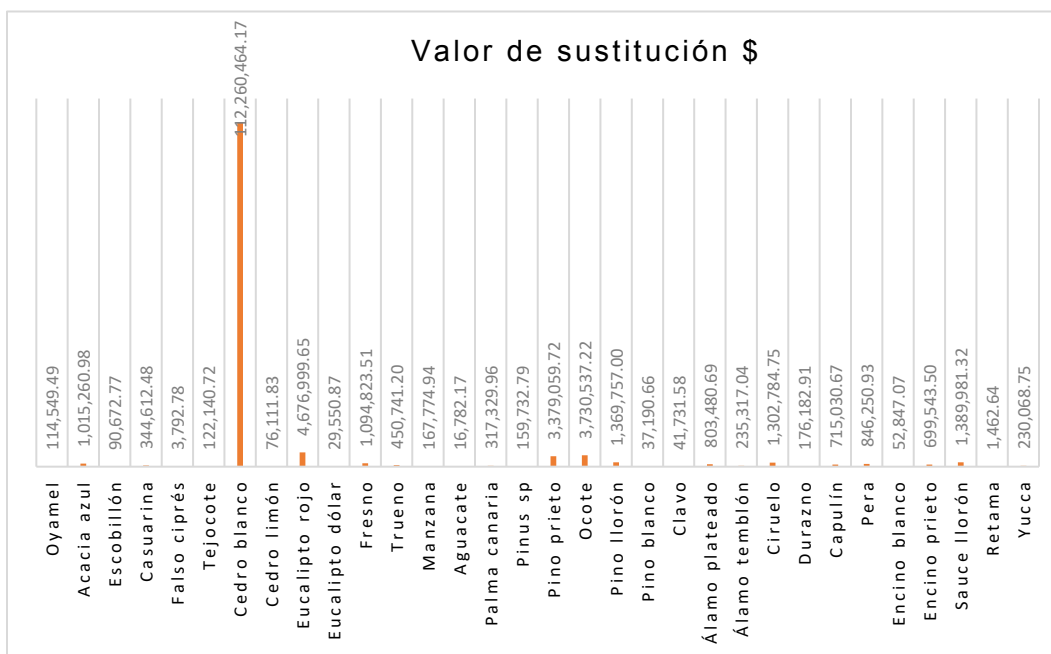
- Valor de sustitución: \$ 135,952,566.75
- Almacenamiento de carbono: \$ 1,314,933.31

Los árboles de cedro blanco tienen un mayor valor de sustitución, esta especie representa un valor de \$112 millones, le sigue eucalipto rojo con un valor de \$4.6 millones, como se ve en la ilustración 27.

El arbolado del PMB tiene los siguientes valores funcionales anuales:

- Secuestro de carbono: \$ 32,718.31
- Escurrimiento evitado: \$ 196,839.40
- Eliminación de la contaminación: \$ 1,914,132.15

Ilustración 27. Valores de sustitución y funcionales



Nota. Elaboración propia con base a I-Tree, análisis del ecosistema Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano, enero 2023.

6.2.2 Análisis Conjunto de los Resultados de i-Tree eco de las Áreas Verdes Evaluadas

En este apartado se hace una recopilación que al igual que en el apartado anterior se analiza la información por área verde pero aquí se hace en conjunto de acuerdo con las diferentes variables evaluadas en las diferentes áreas verdes.

Parque Alameda

En el apartado anterior se mencionó a las especies predominantes y que estas son las que tienen un mayor número de individuos, sin embargo y como se ve en la tabla 29 no necesariamente un mayor número de árboles es sinónimo de generación de más servicios ecosistémicos, tampoco es mayor su valor económico. De las 16 especies evaluadas en el parque Alameda, *Ligustrum lucidum* es el que cuenta con más individuos (39), le sigue *Fraxinus uhdei* con 31 y en tercer lugar está *Cupressus lusitanica* con 14, pero el que tiene un mayor valor de importancia es fresno, cuenta con una mayor área foliar de 33,055.9 ft²/ac. y trueno tan solo de 15,034.1 ft²/ac., probablemente se deba a diversos factores que han afectado el crecimiento de *Ligustrum lucidum*, como condiciones de luz, espacio, suelo, densidad, competencia, estrés, entre otros (López López et al., 2023). Las especies que tienen pocos individuos como *Cupressus sempervirens*, *Jacaranda mimosifolia* o *Washingtonia robusta* presentan una menor área foliar por lo tanto su valor de importancia es bajo, sin embargo, también generan servicios ecosistémicos importantes para la ciudad.

De estas 16 especies arbóreas, las clases del DAP de mayor medida corresponde a *Fraxinus uhdei*, *Cupressus lusitanica* y *Ligustrum lucidum*, la estructura de un árbol está determinada por el tamaño, forma y la fisiología de su copa (Saavedra, 2016 pp. 23 haciendo referencia a Ford, 1985), por lo que un tronco grande junto con el área foliar prominente influye en la cantidad de carbono por almacenar y secuestrar, así como en la producción de oxígeno, además de que la cantidad de carbono secuestrado y almacenado anualmente aumenta con el tamaño y la salud de los árboles, por otro lado, entre las señales de declive de un árbol esta la apariencia de su copa y si esta tiene poco follaje (Saavedra, 2016), si en general la estructura de ese individuo es pobre se puede deducir que la cantidad de carbono almacenado no será significativo, como es el caso del 2.6% de la población de trueno que tienen un diámetro del tronco a la altura del pecho de 3 a 6 pulgadas (7.62 a 15.24 cm), también el 53.8% de los individuos tienen diámetros de 6 a 12 pulgadas (15.24 a 30.48cm.), por el contrario cedro blanco cuenta con el 7.1% de su población con el DAP más alto de 42 a 48 pulgadas (106.68 a 121.92 cm.) y fresno con el 3.2%.

En este contexto, fresno resulta ser la especie más saludable ya que al presentar una mayor área foliar que se relaciona con la buena condición de la copa se puede generar una mayor cantidad de servicios ecosistémicos, como se refleja en la eliminación de la contaminación también fue de las mayores, a su vez, es quien almacena (42.95 toneladas) y secuestra (0.95 toneladas) más carbono, del mismo modo se elevan los costos en estos dos rubros, lo que lo lleva a producir más oxígeno. Cuando la salud de copa es mala la remoción de contaminantes, la escorrentía evitada y el valor económico de los beneficios disminuyen más de un 60% (López *et al.*, 2023), esto se puede ver expresado en zonas en donde hay árboles muy juntos y que la entrada de luz es poca.

En este mismo tenor, la eliminación de contaminantes del aire es mayor para las tres especies predominantes y que a su vez tiene un área foliar más elevada, el ozono es el gas que se elimina en su mayoría, sin embargo, Toluca presenta un gran problema en cuanto a la contaminación por PM 2.5 y es de las que para el caso del arbolado de la Alameda se elimina menos. En cuanto a los COV el parque Alameda generó en un año 82.9 libras o 37.6 kg/año; fresno no generó COV, mientras que Trueno fue la que genera más Compuestos, esto depende de las características de cada especie y el área de las hojas.

Otro punto importante es que las hojas, tronco y el sistema radicular de fresno influye en la reducción de 3,782.18 Ft³/año (107,099.41 lt/año) de escurrimiento superficial, de esta forma se evitó que los encharcamientos en la zona cercana a la Alameda sean pronunciados. Por todo esto, el valor de sustitución de fresno es de \$3.8 millones, este costo refleja lo que implicaría sustituir una especie por otra similar e incrementará en cuanto al número de árboles, tamaño y estado de salud. En la tabla 29 también se muestra que cedro blanco y trueno también generan una parte importante de servicios ecosistémicos, que en conjunto con las demás especies presentes en el parque Alameda son de vital importancia ante la adaptación al cambio climático.

Tabla 29. Beneficios que brinda el arbolado del parque Alameda

Especie	Número de árboles	Valor de importancia	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno Toneladas	COV totales (lb/año)	Escurrimiento evitado		Eliminación de contaminación		Valor de sustitución \$
			Toneladas	\$	Toneladas	\$			Ft³/año	\$	Toneladas	\$	
Casuarina	1	1.5	2.36	1,856.99	0.10	80.31	0.25	1.4	51.13	65.02	0.00	517.99	156,591.15
Falso ciprés	2	2.5	0.32	248.94	0.01	10.60	0.1	0.1	64.96	82.62	0.00	658.17	43,060.43
Cedro blanco	14	32.3	20.84	16,428.18	0.42	327.55	1.0	10.9	1,626.42	2,068.29	0.02	16,477.45	1,754,073.04
Ciprés	1	0.8	0.01	6.36	0.00	1.92	0.01	0.0	0.15	0.20	0.00	1.55	1,208.32
Níspero	1	1.0	0.09	72.16	0.01	5.94	0.020	0.1	13.44	17.09	0.00	136.17	14,825.52
Fresno	31	73.8	42.95	33,853.96	0.95	747.20	2.30	0.0	3,782.18	4,809.75	0.05	38,317.78	3,842,099.59
Jacaranda	1	0.9	0.00	2.96	0.00	1.63	0.01	0.0	1.47	1.87	0.00	14.92	2,106.20
Trueno	39	54.7	11.74	9,249.49	0.53	420.81	1.29	58.5	1,720.16	2,187.51	0.02	17,427.22	1,297,883.52
Liquidámbar	1	1.2	0.02	13.28	0.00	3.42	0.01	0.5	28.35	36.05	0.00	287.20	12,349.70
Magnolia	7	6.3	0.18	142.42	0.04	27.72	0.1	0.8	32.59	41.45	0.00	330.19	77,343.95
Pino piñonero	2	2.5	0.45	351.76	0.02	17.30	0.053	0.7	66.17	84.14	0.00	670.35	47,876.00
Sicomoro	8	10.4	1.41	1,113.30	0.06	50.43	0.2	2.0	288.80	367.26	0.00	2,925.86	255,023.13
Álamo plateado	4	5.8	0.78	612.04	0.06	49.03	0.2	6.3	195.58	248.72	0.00	1,981.45	86,046.76
Pirul	2	2.5	0.54	427.60	0.01	9.55	0.030	1.4	65.31	83.05	0.00	661.62	96,870.85
Palma	1	1.0	0.54	56.46	0.00	1.87	0.01	0.1	11.19	14.23	0.00	113.38	10,292.10
Yuca	3	2.6	0.16	126.17	0.02	13.97	0.043	0.0	5.20	6.61	0.00	52.65	1,309.17
TOTAL	118	--	81.92	64,562.04	2.24	1,769.24	5.626	82.9	7,953.10	10,113.85	0.10	80,573.97	7,698,959.43

Nota. Elaboración propia con base a resultados de I-Tree, análisis del ecosistema Parque Alameda, efectos y valores del bosque urbano.

Camellón Vicente Guerrero

Como se muestra en el tabla 30, *Populus deltoides* es la especie predominante del camellón Vicente Guerrero, como se ve en el apartado anterior de resultados también es quien tienen un área foliar mayor (95,047.0 ft²/ac) y sus DAP se encuentran en distintas clases, desde pequeñas hasta grandes, lo que lo lleva a que su valor de importancia sea el más relevante (90.3) comparado con las demás especies; en este contexto *Populus deltoides* también tiene los valores más elevados en el almacenamiento y secuestro de carbono, producción de oxígeno, escurrimiento superficial evitado y eliminación de contaminantes, todo esto derivado a que su área foliar es de las más elevadas y a que el diámetro y altura de los individuos de esta especie es de los de mayor tamaño.

La eliminación de contaminantes fue significativa para chopo, siendo ozono el gas que más se eliminó, en cuanto a las PM 2.5 ocupó el quinto lugar de seis gases que se eliminaron. Chopo es una especie que, por la cantidad de arbolado presente en el área verde, la altura y su diámetro, así como el área foliar generan prácticamente más de la mitad de los servicios ecosistémicos, incluido su valor monetario elevado, sin embargo, es la especie que del mismo modo genera una parte importante de compuestos orgánicos volátiles, en todo el camellón se emiten 85.36 kg/año de COV y chopo aporta 57.96 kg/año, el resto se distribuye en las otras 15 especies de árboles, los valores de COV que emite chopo pueden representar un riesgo es la formación de ozono lo que significa un riesgo en la calidad del aire.

Como se ha venido mencionado la generación de servicios ecosistémicos y los costos para chopo son representativos en el camellón Vicente Guerrero, por consiguiente, el valor de sustitución de los 100 árboles de la especie ya mencionada es el más elevado, siendo casi de 5 millones de pesos. Las otras dos especies que cuentan con un número más elevado de árboles es liquidámbar y cedro blanco, ambas especies tienen el mismo valor de importancia, con respecto a las clases de DAP, tanto cedro como liquidámbar cuentan con troncos pequeños a medianos, cedro blanco con 57 árboles es la segunda especie que almacena una mayor cantidad de carbono, en tercer lugar esta sauce llorón con tan solo 11 árboles; con respecto al secuestro de carbono, trueno estuvo ligeramente (0.44 ton/año) por encima de liquidámbar y cedro blanco, estas dos especies secuestran 0.43 toneladas al año de carbono; lo que se refiere al escurrimiento evitado y eliminación de contaminantes a cedro blanco le corresponde ser la segunda especie de mayor relevancia seguido de liquidámbar.

Este parque se puede comparar con la ciudad de Moorestown, NJ, ya que esta tiene 62.1 árboles por acre¹ de área de terreno y la densidad general en el Camellón Vicente Guerrero es de 60 árboles por acre, no se está tomando en consideración las diferentes características de los árboles (especie, DAP, área foliar entre otros). El almacenamiento de carbono del arbolado de Moorestown es de 12.4 ton/acre; el secuestro de carbono es de 0.40 ton/acre/año y la eliminación de la contaminación de 25.1 lb/acre/año, mientras que el Camellón Vicente Guerrero almacena 16.35 ton/acre de carbono; secuestra 1.04 ton/acre/año de carbono y la eliminación de contaminantes resulto de 58.65 lb/acre/año. Como se puede ver en ambos sitios, lo que respecta al almacenamiento y secuestro de carbono por acre la diferencia no es tal elevada, sin embargo, para el caso de la eliminación de contaminantes el Camellón Vicente Guerrero presenta valores más altos por acre comparado con Moorestown.

¹ Un acre equivale a 4046.86 m²

Tabla 30. Beneficios que brinda el arbolado del Camellón Vicente Guerrero

Especie	Número de árboles	Valor de importancia	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno Toneladas	COV totales (lb/año)	Esguerrimiento evitado		Eliminación de contaminación		Valor de sustitución
			Toneladas	\$	Toneladas	\$			Ft3/año	\$	Toneladas	\$	\$
Acacia negra	5	2.2	0.63	497.66	0.06	51.13	0.17	1.8	136.54	173.64	0.00	1,406.05	129,896.46
Falso ciprés	6	3.8	0.93	733.72	0.05	41.43	0.14	0.5	331.01	420.95	0.00	3,408.69	136,091.14
Cedro blanco	57	23.7	8.57	6,758.13	0.43	338.14	1.14	9.1	1,317.99	1,676.08	0.01	13,572.33	997,156.25
Cedro limón	17	8.2	3.77	2,970.48	0.20	155.21	0.53	3.8	554.33	704.93	0.01	5,708.29	452,232.09
Colorín	1	0.6	0.02	18.55	0.00	2.57	0.01	0.0	0.93	1.18	0.00	9.53	5,353.59
Fresno	1	0.3	0.04	32.70	0.01	6.40	0.02	0.0	8.24	10.47	0.00	84.82	14,078.59
Trueno	53	18.6	5.11	4,026.93	0.44	349.89	1.18	28.2	712.86	906.54	0.01	7,340.88	925,904.07
Liquidámbar	76	23.7	2.93	2,308.86	0.43	339.16	1.15	7.7	920.60	1,170.71	0.01	9,480.05	1,170,131.41
Palma canaria	27	11.6	4.70	3,703.90	0.11	83.56	0.28	4.9	681.93	867.20	0.01	7,022.34	1,332,607.28
Ocote	1	0.3	0.38	301.84	0.02	12.60	0.04	0.6	56.63	72.02	0.00	583.16	31,323.40
Chopo	100	90.3	66.93	52,752.68	4.11	3,236.64	10.95	127.8	9,580.62	12,183.55	0.11	98,658.53	4,998,365.79
Capulín	3	1.1	1.04	816.27	0.12	96.02	0.32	0.0	49.72	63.22	0.00	511.97	61,296.26
Sauce llorón	11	4.4	5.94	4,680.34	0.39	305.55	1.03	2.3	226.48	288.01	0.00	2,332.23	450,193.73
Ahuehuate	13	4.7	0.75	590.52	0.11	84.95	0.29	1.1	199.37	253.54	0.00	2,053.10	127,685.31
Olmo chino	17	5.4	2.70	2,126.65	0.20	154.49	0.52	0.4	144.36	183.58	0.00	1,486.58	306,803.99
Yucca	4	1.1	0.05	35.47	0.01	8.59	0.03	0.0	1.25	1.59	0.00	12.88	2,003.39
TOTAL	383		104.49	82354.7	6.69	5266.33	17.8	188.2	14,922.86	18,977.21	0.17	153,671.42	11,141,122.73

Nota. Elaboración propia con base a resultados de I-Tree, análisis del ecosistema del Camellón Vicente Guerrero, efectos y valores del bosque urbano.

Parque Municipal Benito Juárez

En el parque Municipal, *Cupressus lusitánica*, *Fraxinus uhdei* y *Cupressus macrocarpa* son las preponderantes por el número de individuos, como se muestra en la tabla 31 *Cupressus lusitánica* es el de mayor frecuencia y también la especie que genera más servicios ecosistémicos, aunado al número de árboles su biomasa foliar (10.3 ton) y sus DAP (hay árboles en todas las clases de diámetros, la dominancia con el 17.8% se encuentra en diámetros de 121 cm. a más) fueron representativos como para almacenar y secuestrar una parte importante de carbono, tan solo en un año almacena 167 toneladas de carbono, secuestra 1.29 toneladas de carbono y genera 3.12 toneladas de oxígeno, prácticamente esta especie genera más de la mitad de estos servicios mientras que las otras 12 especies generan en cuanto a almacenamiento de carbono 51.46 ton/año, para secuestro de carbono fue de 1.44 ton/año y la generación de oxígeno de 3.47 ton/año. Lo que respecta a la eliminación de contaminantes, cedro blanco elimina 0.11 de 0.19 ton/año de gases contaminantes como CO, NO₂, O₃, PM10, PM2.5 y SO₂, de estos, se elimina una mayor cantidad de ozono, siendo las PM2.5 uno de los que menos se elimina. Por lo que el valor de sustitución de esta especie es la más elevada siendo de 11.5 millones de pesos. Por otro lado, cedro blanco también fue la especie que emitió una mayor cantidad de COV con 46.9 lb/año o 21.27 kg/año, el resto del arbolado emitió 14.56 kg/año, estos valores altos y bajos depende de las características de cada especie, de lo que se hablará en el apartado siguiente.

Así mismo, fresno es la segunda especie que genera cantidades elevadas de servicios ecosistémicos, está cuenta con 41 individuos y su V.I. es de 56.50, los diámetros y alturas del arbolado es de los más representativos, almacena 41.49 ton/año de carbono y secuestra 1.05 ton/año de carbono, así mismo genera 2.53 ton/año de oxígeno. A diferencia de cedro blanco, fresno no genera compuestos orgánicos volátiles, esta característica es un factor importante en las ciudades ya que influye en que se forme menos ozono.

En cuanto a Compuestos Orgánicos Volátiles el segundo lugar es ocupado por pino lacio, esta especie y trueno tuvieron cifras muy cercanas en COV a pesar de que ambas cuentan tan solo con 3 ejemplares, también pino lacio es quien ocupa el tercer lugar en almacenamiento de carbón y la especie de chopo con 2 individuos está en el tercer lugar en cuanto al escurrimiento evitado y la eliminación de contaminantes. Los 152 árboles del Parque Municipal Benito Juárez almacenan en un año 219 toneladas de carbono, con un valor de 172 mil pesos; secuestraron 2.73 toneladas de carbono con un valor de \$2,148; el oxígeno generado equivale a 6.58

toneladas en un lapso de un año, con base a la cantidad de servicios ecosistémicos generados en el área verde, el valor de sustitución de todos los árboles equivale a 16.8 millones de pesos.

De acuerdo con lo que se pudo apreciar en el trabajo de campo, la mayoría del arbolado del parque Municipal sobre todo cedro blanco y fresno tienen un buen estado de salud, sus copas son densas, su tronco y altura es prominente, así mismo se ve reflejado en los servicios ecosistémicos que generan, por lo que los árboles sanos grandes ($\varnothing > 76$ cm) eliminan unas 60-70 veces más contaminantes gaseosos anualmente que los árboles pequeños sanos ($\varnothing < 7,6$ cm) (Drénou, 2023).

Este parque se puede comparar con la ciudad de Chicago, IL, ya que esta tiene 24.2 árboles por acre de área de terreno y la densidad general en el Parque Municipal Benito Juárez es de 24 árboles por acre, no se está tomando en consideración las diferentes características de los árboles (especie, DAP, área foliar entre otros). El almacenamiento de carbono del arbolado de Chicago, IL es de 4.8 ton/acre; el secuestro de carbono es de 0.17 ton/acre/año y la eliminación de la contaminación de 12.0 lb/acre/año, mientras que el Parque Municipal almacena 35.24 ton/acre de carbono; secuestra 0.438 ton/acre/año de carbono y la eliminación de contaminantes resulta de 67.34 lb/acre/año.

Tabla 31. Beneficios que brinda el arbolado del Parque Municipal Benito Juárez

Especie	Número de árboles	Valor de importancia	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno Toneladas	COV totales (lb/año)	Ecurrimiento evitado		Eliminación de contaminación		Valor de sustitución \$
			Toneladas	\$	Toneladas	\$			Ft3/año	\$	Toneladas	\$	
Cedro blanco	73	103.70	167.74	132,201.39	1.29	1,016.97	3.12	46.9	8,527.34	10,844.10	0.11	85,070.71	11,580,860.07
Fresno	41	56.50	41.49	32,696.99	1.05	825.52	2.53	0.0	4,525.87	5,755.49	0.06	45,151.13	4,224,532.84
Cedro limón	14	11.90	1.74	1,372.44	0.11	85.60	0.26	2.3	417.36	530.75	0.01	4,163.68	227,011.21
Escobillón	5	4.0	0.13	105.56	0.01	9.06	0.027	0.5	102.48	130.33	0.00	1,022.41	97,513.55
Yuca	4	2.70	1.64	1,291.10	0.07	55.77	0.17	0.0	12.23	15.56	0.00	122.05	3,320.72
Aile	3	3.20	0.21	168.18	0.00	3.82	0.01	1.9	186.21	236.79	0.00	1,857.63	85,064.14
Trueno	3	3.90	2.10	1,658.69	0.05	39.22	0.12	9.2	297.96	378.91	0.00	2,972.54	160,632.82
Pino lacio	3	5.80	2.14	1,687.49	0.05	38.73	0.12	9.9	581.24	739.15	0.01	5,798.55	298,178.55
Chopo	2	5.20	1.61	1,270.26	0.06	50.06	0.15	7.7	592.10	752.96	0.01	5,906.90	105,519.25
Ciruelo	1	0.70	0.04	35.09	0.01	4.80	0.014	0.0	5.00	6.35	0.00	49.84	11,318.11
Durazno	1	0.70	0.01	4.52	0.00	3.03	0.01	0.0	2.19	2.79	0.00	21.85	1,487.48
Encino	1	0.70	0.05	37.67	0.01	6.20	0.02	0.2	12.49	15.89	0.00	124.63	14,723.17
Sauce llorón	1	1.0	0.29	227.07	0.01	9.68	0.03	0.5	50.95	64.79	0.00	508.31	18,997.75
Total	152		219.20	172,756.44	2.73	2,148.47	6.581	79.0	15,313.42	19,473.87	0.19	152,770.22	16,829,159.66

Nota. Elaboración propia con base a resultados de I-Tree, análisis del ecosistema del Parque Municipal Benito Juárez, efectos y valores del bosque urbano.

Jardín Zaragoza

En el Jardín Zaragoza, *Jacaranda mimosifolia* fue la especie en la que se contabilizaron más árboles (26), sin embargo, el valor de importancia más alto es para *Cupressus lusitanica* que cuenta con 12 árboles, esto se debe a que las toneladas de biomasa foliar fue mayor para esta última especie siendo de 1.78 ton/año mientras que para *Jacaranda mimosifolia* fue de 0.13 ton/año; así mismo las alturas y diámetros del fuste de *Cupressus lusitanica* es mayor, por lo que esta especie pudo generar en el transcurso de un año una mayor cantidad de servicios ecosistémicos como se muestra en la tabla 32.

Cedro blanco fue quien almaceno y secuestro más carbono, por lo tanto, produce también una mayor cantidad de oxígeno, 0.793 ton/año. Con respecto al escurrimiento superficial evitado también cedro blanco influyo en mayor medida comparado con las otras especies a evitar encharcamientos en las calles aledañas al área verde, esta especie ayudo a filtrar 39,400.060 lt/año, mientras que el resto de las especies filtraron 48,279.090 lt/año, en total el jardín Zaragoza reduce el escurrimiento superficial con 87,679.15 lt/año. Lo que se refiere a la eliminación de contaminantes los 64 árboles presentes en el área verde erradicaron en un año 40 kg. de gases contaminantes, en mayor proporción fue ozono con 12.17 kg/año, de PM2.5 se eliminó 2.0 kg/año; la especie que elimino más contaminantes fue cedro blanco con 20 kg/año. De acuerdo con todos estos beneficios brindados por esta especie es que su valor de sustitución se refleja en costos económicos de \$1.5 millones.

A su vez, trueno (10 árboles) se encuentra en segundo lugar respecto a la generación de servicios ecosistémicos, esta especie brinda beneficios importantes en cuanto a almacenamiento y secuestro de carbono, producción de oxígeno, escurrimiento evitado y eliminación de contaminantes lo que lo lleva a que su valor de sustitución sea de 418 mil pesos. Con respecto a los COV trueno fue quien emitió una mayor cantidad de estos gases (18.4 lb/año lo que representa 8.34 kg/año), mientras que cedro blanco emitió 8.1 lb/año o 3.67 kg/año. Todo el arbolado del jardín Zaragoza emite 14.92 kg/año de COV.

Para el caso de jacaranda que es la especie con un mayor número de árboles no almacena tanto carbono debido a que su biomasa foliar es menor que la de cedro, trueno y pino piñonero, además que los individuos son de porte pequeño, lo mismo ocurre en cuanto a secuestro de carbono y por tanto la generación de oxígeno, en el lapso de un año secuestra 0.15 toneladas de carbono y genera 0.36 toneladas de oxígeno; mientras que para la eliminación de

contaminantes, los beneficios fueron de 10kg/año y ayuda a reducir el escurrimiento superficial por 11,069.33 lt/año. En total los 64 árboles con todos los servicios ecosistémicos que generan equivalen a \$2,785,605.38 en su valor de sustitución.

Tabla 32. Beneficios que brinda el arbolado del Jardín Zaragoza

Especie	Número de árboles	Valor de importancia	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno Toneladas	COV totales (lb/año)	Escurrimiento evitado		Eliminación de contaminación		Valor de sustitución \$
			Toneladas	\$	Toneladas	\$			Ft ³ /año	\$/año	Ton/año	\$	
Casuarina	2	4.3	0.64	507.54	0.06	45.02	0.140	0.9	37.38	47.54	0.00	378.72	69,279.93
Cedro blanco	12	63.7	18.79	14,811.62	0.33	258.56	0.793	8.1	1,391.40	1,769.43	0.02	14,096.38	1,542,252.29
Ciprés italiano	1	2.3	0.08	65.79	0.01	6.74	0.021	0.1	22.63	28.77	0.00	229.23	12,391.22
Fresno	3	9.2	0.87	685.15	0.06	50.12	0.154	0.0	141.12	179.46	0.00	1,429.69	130,233.07
Jacaranda	26	53.2	1.00	789.94	0.15	117.37	0.360	0.0	390.91	497.12	0.01	3,960.38	340,343.71
Trueno	10	36.5	3.55	2,798.14	0.2	155.59	0.477	18.4	647.12	822.94	0.01	6,556.06	418,351.62
Liquidámbar	1	3.1	0.12	91.51	0.01	6.37	0.020	0.7	48.60	61.81	0.00	492.40	30,502.67
Magnolia	3	4.9	0.05	42.37	0.01	7.69	0.023	0.1	6.51	8.28	0.00	65.94	21,738.28
Pino piñonero	3	13.1	1.96	1,547.64	0.03	20.78	0.064	2.2	259.41	329.89	0.00	2,628.10	149,683.20
Pino azul	1	3.7	0.29	231.63	0.01	9.41	0.03	1.3	67.44	85.77	0.00	683.29	46,003.66
Encino	1	1.9	0.07	57.57	0.01	8.19	0.03	0.4	9.67	12.30	0.00	97.97	13,530.33
Palma washingtonia	1	4.0	0.53	414.11	0.00	3.13	0.01	0.6	74.16	94.31	0.00	751.33	11,295.40
Total	64		27.97	22,043.02	0.87	688.95	2.20	32.9	3,096.36	3,937.60	0.04	31,369.48	2,785,605.38

Nota. Elaboración propia con base a resultados de I-Tree, análisis del ecosistema del Jardín Zaragoza, efectos y valores del bosque urbano.

Parque Urawa

En el parque Urawa se evaluaron 253 árboles de 25 especies, las tres especies predominantes en orden jerárquico son *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus uhdei* y *Liquidambar styraciflua*, *Acacia baileyana* se encuentra en cuarto lugar (de acuerdo con el número de árboles), sin embargo, en cuanto al valor de importancia está en el tercer sitio debido a que su área foliar es mayor que la de *Liquidambar styraciflua*. Como se muestra en la tabla 33, fresno tiene un valor de importancia menor que trueno, pero almacena y secuestra una mayor cantidad de carbono lo que a su vez permite que produzca una mayor cantidad de oxígeno, esto se debe a que a pesar de que trueno cuenta con 64 individuos y fresno con 28, esta última especie presentó un área foliar más elevada y la altura de estos árboles es mayor comparada con trueno, a su vez, trueno y acacia tienen valores muy cercanos en cuanto al almacenamiento y secuestro de carbono, los 64 árboles de trueno almacenan 5.96 toneladas de carbono y los 22 árboles de acacia mimosa almacenan 5.93 toneladas, mientras que para el secuestro de carbono los valores se invierten, acacia mimosa secuestra 0.43 toneladas de carbono en un año y trueno 0.41 toneladas. En cuanto a la emisión de COV, trueno es la especie que genera una mayor emisión 39.1 lb/año o 17.73 kg/año, le sigue eucalipto con 33.7 lb/año (15.28 kg/año) y en tercer sitio está el álamo plateado con 10 lb/año (4.53 kg/año), a pesar de que fresno es de las especies con más frecuencia no genera COV, en total el arbolado muestreado del parque Urawa emite 43.31 kg/año de compuestos orgánicos volátiles. Lo que se refiere al escurrimiento evitado fresno es quien capta una mayor proporción de agua (1,648 ft³/año o 46,666.16 lt/año), trueno se encuentra en segundo lugar y eucalipto también evita un escurrimiento superficial importante de 847.30 ft³/año o 23,992.86 lt/año. Así mismo, para eliminación de contaminantes fresno es quien elimina en un año más gases (20 kg), lo que se representa en los costos, mismos que son de \$15,789.29, trueno le sigue y posteriormente eucalipto, en total los árboles evaluados eliminan 0.09 ton/año o 90 kg/año de contaminantes; la especie de fresno es quien presenta un valor más alto de sustitución de \$1,030,798.09; trueno de \$ 1,019,768.16 y eucalipto de \$ 800,392.16. Los 253 árboles presentan un costo de sustitución de \$5.88 millones.

Tabla 33. Beneficios que brinda el arbolado del Parque Urawa

Especie	Número de árboles	Valor de importancia	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno Toneladas	COV totales (lb/año)	Esguerrimiento evitado		Eliminación de contaminación		Valor de sustitución \$
			Toneladas	\$	Toneladas	\$			Ft3/año	\$/año	Ton/año	\$/año	
Acacia mimosa	22	18.1	5.93	4,675.05	0.43	339.06	1.04	0.8	721.28	917.25	0.01	6,909.47	473,937.02
Acacia negra	5	3.3	0.46	360.80	0.03	27.34	0.08	1.1	98.27	124.97	0.00	941.40	88,340.77
Falso sicomoro	3	5.6	1.25	988.34	0.05	41.61	0.12	0.5	337.23	428.85	0.00	3,230.45	116,952.01
Escobillón rojo	3	1.3	0.01	9.16	0.00	1.89	-	0.0	7.58	9.64	0.00	72.64	18,093.01
Casuarina	3	1.5	0.32	252.93	0.04	27.80	0.08	0.7	24.19	30.76	0.00	231.71	41,218.14
Cedro blanco	2	2.0	0.44	348.07	0.02	14.83	0.04	0.5	89.39	113.68	0.00	856.30	40,434.15
Cedro limón	13	9.9	1.90	1,495.79	0.09	73.14	0.22	2.1	367.90	467.85	0.00	3,524.23	234,757.51
Ciprés italiano	9	3.6	0.33	263.88	0.05	40.61	0.12	0.0	5.08	6.46	0.00	48.67	62,694.83
Colorín	9	3.9	0.63	499.92	0.08	62.55	0.19	0.1	24.94	31.72	0.00	238.91	129,252.35
Eucalipto	10	15.0	2.71	2,139.33	0.08	61.24	0.19	33.7	847.30	1,077.51	0.01	8,116.66	800,392.16
Higo	1	0.4	0.02	14.60	0.01	5.13	-	0.0	2.36	3.01	0.00	22.65	6,064.32
Fresno	28	32.6	7.67	6,047.30	0.44	349.26	1.07	0.0	1,648.25	2,096.06	0.02	15,789.29	1,030,798.09
Grevillea	9	12.4	4.44	3,501.43	0.27	210.02	0.64	0.4	678.87	863.31	0.01	6,503.14	467,044.48
Trueno	64	40.0	5.96	4,693.40	0.41	319.99	0.98	39.1	1,122.20	1,427.09	0.01	10,749.99	1,019,768.16
Liquidámbar	26	17.0	1.06	837.94	0.13	104.99	0.32	4.2	514.06	653.73	0.01	4,924.43	424,153.96
Pino piñonero	1	0.4	0.02	12.89	0.00	2.36	-	0.0	4.14	5.27	0.00	39.69	4,316.84
Pino lacio	3	1.4	0.10	78.01	0.01	8.15	0.02	0.3	18.76	23.85	0.00	179.67	32,939.65
Álamo plateado	10	12.1	3.43	2,704.59	0.19	146.39	0.44	10.0	624.31	793.93	0.01	5,980.55	295,933.79
Capulín	4	2.2	1.16	912.59	0.12	91.83	0.28	0.0	47.42	60.30	0.00	454.26	71,558.67
Pera	1	0.6	0.24	191.85	0.03	22.14	0.06	0.0	15.16	19.28	0.00	145.25	30,772.09

Sauce llorón	14	10.5	4.03	3,173.91	0.31	244.23	0.75	3.8	380.86	484.34	0.00	3,648.45	380,217.51
Cedro salado	4	1.9	0.29	229.65	0.04	33.27	0.10	0.0	25.83	32.85	0.00	247.42	52,078.69
Ahuehuate	1	0.4	0.04	33.40	0.01	6.47	-	0.0	1.34	1.71	0.00	12.86	10,550.50
Olmo chino	6	3.0	0.20	158.79	0.04	30.95	0.09	0.1	50.66	64.43	0.00	485.31	56,009.76
Yuca	2	0.8	0.03	26.26	0.01	6.25	-	0.0	0.77	0.98	0.00	7.37	594.61
Total	253		42.70	33,649.87	2.88	2,271.51	7.686	97.5	7,658.18	9,738.80	0.09	73,360.75	5,888,873.05

Nota. Elaboración propia con base a resultados de I-Tree, análisis del ecosistema del Parque Urawa, efectos y valores del bosque urbano.

Parque Metropolitano Bicentenario

En el PMB se hizo un inventario completo, en total se evaluaron 2,947 árboles de 31 especies, como se ve en el tabla 34 la especie de cedro blanco cuenta con 2,113 árboles, por lo que es quien genera un poco más de tres cuartos de los servicios ecosistémicos, como lo son: almacenamiento de carbono con 1,357.51 ton/año con un costo de \$1,069,886, el secuestro de carbono fue de 31.73 ton/año y un valor de \$25,010, la producción de oxígeno correspondió a 84.62 ton/año, el escurrimiento evitado fue por 129,863.47 ft³/año o 3,677,323.95 lt/año y elimino 1.78 ton/año de contaminantes, esto propicia que el valor de sustitución del arbolado de cedro blanco sea de \$112 millones, mientras que \$23.7 millones corresponde a las otras 30 especies.

Lo que se refiere a los COV también cedro blanco fue quien emitió más con 935.4 lb/año lo que representa 424.29 kg/año, prácticamente casi tres cuartas partes; en mayor generación le sigue eucalipto (80 árboles) con 190.6 lb/año que se convierte en 86.45 kg/año; por su parte pino montezumae con 100 árboles genera 58.3 lb/año o 26.44 kg/año. El arbolado total del PMB emite 599.83 kg/año de compuestos orgánicos volátiles.

Los árboles de Pino montezumae y eucalipto rojo también generan beneficios ambientales importantes, de tal modo que, el valor de sustitución de 80 árboles de eucalipto rojo equivale a \$4.6 millones y Pino montezumae con 100 árboles tiene un valor de sustitución de \$3.7 millones de pesos.

Este parque se puede comparar con la ciudad de Moorestown, NJ, ya que esta tiene 62.1 árboles por acre de área de terreno y la densidad general en el Parque Metropolitano Bicentenario es de 62 árboles por acre, no se está tomando en consideración las diferentes características de los árboles (especie, DAP, área foliar entre otros). El almacenamiento de carbono del arbolado de Moorestown es de 12.4 ton/acre; el secuestro de carbono es de 0.40 ton/acre/año y la eliminación de la contaminación de 25.1 lb/acre/año, mientras que el PMB almacena 34.34 ton/acre de carbono; secuestra 0.85 ton/acre/año de carbono y la eliminación de contaminantes resulto de 96.20 lb/acre/año.

Tabla 34. Beneficios que brinda el arbolado del Parque Metropolitano Bicentenario

Especie	Número de árboles	Valor de importancia	Almacenamiento de carbono		Secuestro de carbono		Oxígeno Toneladas	COV totales (lb/año)	Esguerrimiento evitado		Eliminación de contaminación		Valor de sustitución \$
			Toneladas	\$	Toneladas	\$			Ft3/año	\$/año	Ton/año	\$/año	
Oyamel	5	0.2	1.31	1,035.68	0.10	81.55	0.28	1.6	102.17	129.92	0.00	1,263.41	114,549.49
Acacia mimosa	39	1.7	14.26	11,236.57	0.29	229.10	0.78	13.0	643.02	817.72	0.01	7,951.78	1,015,260.98
Escobillón rojo	8	0.3	0.07	54.79	0.01	6.50	-	0.1	22.62	28.76	0.00	279.68	90,672.77
Casuarina	12	0.5	4.75	3,740.31	0.25	199.11	0.67	2.7	135.50	172.31	0.00	1,675.64	344,612.48
Falso ciprés	2	0.1	0.04	33.90	0.01	7.68	-	0.0	9.11	11.59	0.00	112.68	3,792.78
Tejocote	4	0.2	1.32	1,038.61	0.01	10.47	-	1.3	108.65	138.17	0.00	1,343.63	122,140.72
Cedro blanco	2113	153.6	1,357.51	1,069,886.34	31.73	25,010.02	84.62	935.4	129,863.47	165,145.66	1.78	1,605,931.76	112,260,464.17
Cedro limón	10	0.4	0.36	285.84	0.05	41.19	-	0.7	99.39	126.40	0.00	1,229.11	76,111.83
Eucalipto rojo	80	5.9	16.62	13,096.32	0.54	424.28	1.44	190.6	5,037.89	6,406.62	0.07	62,300.11	4,676,999.65
Eucalipto dólar	2	0.1	0.03	25.92	0.00	3.56	-	0.9	24.82	31.57	0.00	306.98	29,550.87
Fresno	22	1.8	9.12	7,187.59	0.41	326.77	1.11	0.0	1,646.38	2,093.68	0.02	20,359.68	1,094,823.51
Trueno	19	1.0	3.70	2,916.10	0.16	126.28	0.43	12.4	504.87	642.03	0.01	6,243.35	450,741.20
Manzana	13	0.5	1.29	1,018.81	0.06	49.83	0.17	1.4	115.61	147.01	0.00	1,429.62	167,774.94
Aguacate	1	0.0	0.11	84.36	0.01	11.37	-	0.0	4.53	5.76	0.00	56.06	16,782.17
Palma canaria	4	0.2	0.65	512.02	0.01	11.58	-	0.7	166.69	211.97	0.00	2,061.30	317,329.96
Pinus sp	4	0.3	2.30	1,812.55	0.09	68.43	0.23	3.2	296.60	377.18	0.00	3,667.85	159,732.79
Pino prieto	175	8.4	36.46	28,732.21	1.10	867.39	2.93	44.4	4,117.57	5,236.26	0.06	50,919.19	3,379,059.72
Pino montezumae	100	6.8	57.58	45,377.78	1.79	1,414.24	4.79	58.3	5,404.14	6,872.38	0.07	66,829.31	3,730,537.22
Pino llorón	55	3.4	9.79	7,718.35	0.43	340.37	1.15	27.1	2,517.44	3,201.39	0.03	31,131.43	1,369,757.00
Pino blanco	3	0.1	0.41	324.72	0.02	17.30	-	0.3	29.56	37.59	0.00	365.55	37,190.66
Clavo	4	0.2	0.28	222.70	0.02	19.68	-	0.0	30.34	38.58	0.00	375.17	41,731.58

Álamo plateado	28	1.6	11.65	9,182.83	0.54	423.39	1.43	14.3	995.46	1,265.92	0.01	12,310.20	803,480.69
Álamo temblón	5	0.2	3.60	2,839.84	0.11	86.16	0.29	1.5	117.94	149.99	0.00	1,458.52	235,317.04
Ciruelo	82	3.3	16.62	13,096.78	0.72	567.91	1.92	0.3	878.71	1,117.44	0.01	10,866.36	1,302,784.75
Durazno	7	0.3	4.04	3,181.32	0.06	46.48	0.16	0.0	39.33	50.01	0.00	486.33	176,182.91
Capulín	34	1.4	8.56	6,744.59	0.56	440.85	1.49	0.2	451.02	573.56	0.01	5,577.51	715,030.67
Pera	40	1.6	6.42	5,057.18	0.61	482.43	1.63	0.4	468.51	595.80	0.01	5,793.72	846,250.93
Encino blanco	2	0.1	0.43	336.39	0.02	13.98	-	3.2	117.31	149.18	0.00	1,450.68	52,847.07
Encino prieto	13	0.5	6.32	4,982.80	0.07	54.16	0.18	1.9	40.41	51.39	0.00	499.70	699,543.50
Sauce llorón	56	2.3	41.77	32,918.99	1.66	1,308.83	4.43	6.4	735.32	935.10	0.01	9,093.24	1,389,981.32
Retama	1	0.0	0.00	0.76	0.00	0.61	-	0.0	3.07	3.90	0.00	37.92	1,462.64
Yuca	4	0.2	1.79	1,414.56	0.03	26.82	-	0.0	58.60	74.52	0.00	724.68	230,068.75
Total arbolado vivo	2947		1619.16	1,276,097.51	41.47	32,718.32	110	1,322.4	154,786.06	196,839.40	2.12	1,914,132.15	135,952,566.75
Total con arbolado muerto	3,030		1,668.43	1,314,933.31	41.51	32,718.31							

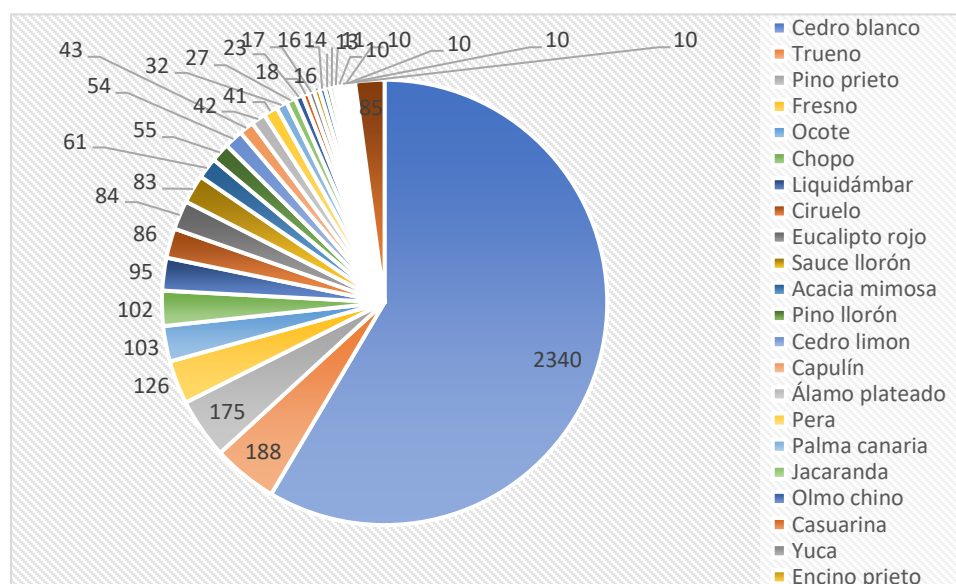
Nota. Elaboración propia con base a resultados de I-Tree, análisis del ecosistema del Parque Metropolitano Bicentenario, efectos y valores del bosque urbano.

6.2.3 Resultados por categoría

Estructura del arbolado

Esta investigación constó de la evaluación de arbolado de 6 áreas verdes urbanas, el diagnóstico se hizo a 4,000 árboles de 53 especies, el parque que presentó una mayor diversidad de árboles fue el Metropolitano Bicentenario con 32 especies; seguido del parque Urawa con 25; el Camellón Vicente Guerrero con 16; el parque Alameda con 16; el parque Municipal con 13 y el jardín Zaragoza con 12. Las especies predominantes resultaron ser, cedro blanco con 2,340 árboles evaluados (el PMB cuenta con la mayoría de los árboles de esta especie 2,113), en segundo lugar, esta trueno con 188 árboles, así mismo, pino prieto cuenta con 175 individuos y fresno con 126. De las especies con menor frecuencia fueron colorín, magnolia, falso ciprés, acacia negra y eucalipto azul como se muestra en la ilustración 28.

Ilustración 28. Cantidad de árboles por especie



Nota. Elaboración propia con base a resultados de I-Tree, análisis del ecosistema.

Existe cierta similitud entre la especie predominante y el valor de importancia, ya que de los 6 parques evaluados 4 presentaron un valor de importancia mayor en las sp predominantes (cedro blanco, trueno, pino prieto y fresno); valores de importancia altos no quieren decir que los árboles deben procurarse necesariamente a futuro; sino que dichas especies dominan actualmente la estructura del bosque urbano (USDA. 2018); por lo que estas especies con valores de importancia elevados podrían no ser las indicadas para las características de la ciudad, como es

el caso de cedro blanco, fresno o eucalipto que llegan a alcanzar alturas hasta de 50 metros, lo que implica que también el área en donde se planten sea la suficiente, representando un problema en las urbes que no han sido planeadas para dar cabida a áreas verdes y como solución a una plantación con especies grandes se realicen podas mal elaboradas y como consecuencia se termine dañando a los árboles e impidiendo su función en la generación de servicios ecosistémicos.

Los valores de importancia se calculan como la suma del porcentaje de la población y porcentaje del área de las hojas, con base a Saavedra-Romero *et al.*, 2016 p. 16 citando a Nowak, (1994), Chow y Roth, (2006), Escobedo y Chacalo, (2008) y Finlayson y Pitts, (1986), altos índices de área foliar tienen mayor influencia en la modificación de ambientes locales reduciendo el efecto “isla de calor” y regulando la temperatura; además, mejoran la calidad del aire al interceptar contaminantes gaseosos y particulados en sus hojas. Por tal motivo las especies con mayor área foliar de las áreas verdes evaluadas, como lo son cedro blanco y fresno presentan valores más altos, por lo tanto, como se vio en los apartados anteriores de resultados también son quienes generan más servicios ecosistémicos; por ende, no se debe permitir el exceso de podas, más bien se debe favorecer que el arbolado urbano cuente con buen estado de salud, esto se logrará colocando las especies correctas en el lugar indicado y con las características necesarias para lograr un desarrollo óptimo, de esta forma las ciudades estarán contribuyendo en el combate ante el cambio climático.

Lo que se puede apreciar en los parques evaluados es que hay una combinación de especies nativas y exóticas, Bernal *et al.*, 2019, que a su vez cita a Spinti, Hilaire y VanLeeuwen, 2004, menciona que las especies exóticas generalmente no se adaptan a las características del lugar conociéndose esto como un paisaje urbano tradicional; de las 53 especies evaluadas, 30 de ellas son exóticas y 23 nativas (ver Apéndice “C” Listado de especies), el parque Municipal Benito Juárez es el que tiene un mayor porcentaje de especies nativas (93%), el Camellón Vicente Guerrero tiene el 70%, por su parte, el Jardín Zaragoza cuenta con menos sp. nativas (39%), en su mayoría son exóticas (61%).

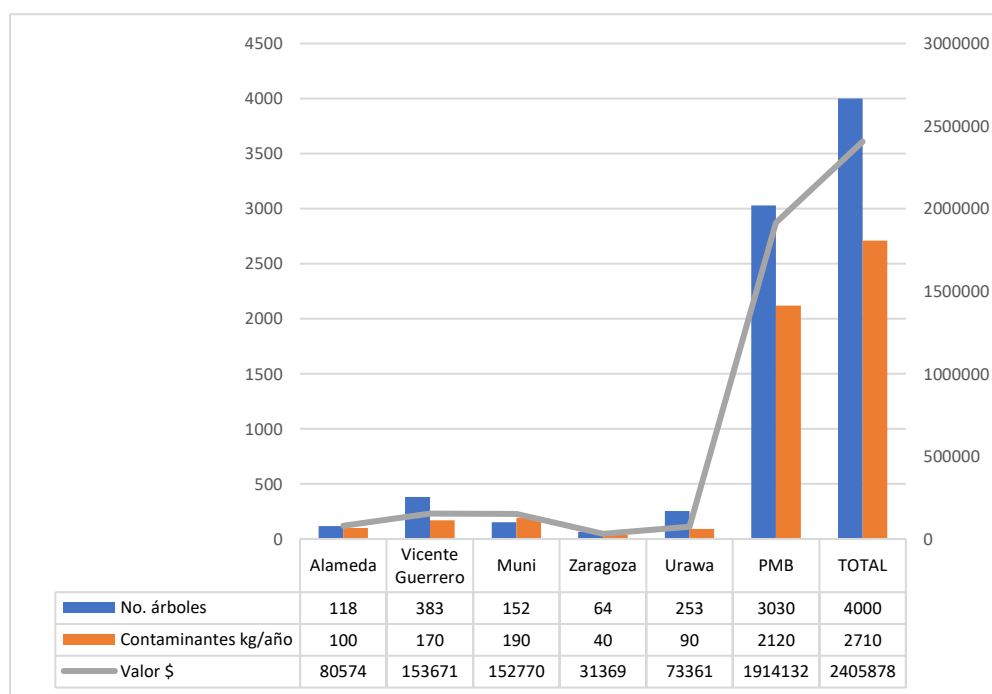
De acuerdo con Mc Kinney, (2002) citado por Rosas *et al.* (2017), refiere que, aunque las zonas urbanas y suburbanas alojan una parte importante de biodiversidad, la realidad es que no son capaces de resistir la permanencia de tantas especies exóticas en comparación con zonas rurales o con menos urbanización. La competitividad entre especies que no son nativas minimiza la abundancia de las especies autóctonas. La prevalencia de especies exóticas provoca que los

hábitats se homogenicen, esto hace que haya un detrimento de los ecosistemas nativos (Rosas *et al.* 2017), en este sentido es que se destaca la importancia de que las especies nativas de cada región prevalezcan en las áreas naturales de tal modo que se incremente la biodiversidad de los sitios y a su vez se generen servicios ecosistémicos.

Eliminación de la contaminación del aire en las áreas verdes evaluadas

La eliminación de contaminantes de las 6 áreas verdes con los 4,000 árboles evaluados de las diferentes especies es de 2.71 ton/año (2,710 kg/año) con un valor asociado de \$2.4 millones (ver ilustración 29); es importante destacar que para el caso del parque Alameda y Urawa el inventario se realizó por medio de una muestra del 25% del total del arbolado, por lo que los valores que se expresan son únicamente de la muestra, mas no de todo el parque, a pesar de ello se reconoce que la cantidad de contaminantes eliminados es significativa, sobre todo por la ubicación de las áreas verdes ya mencionadas.

Ilustración 29. Eliminación de contaminantes por número de árboles y valor monetario



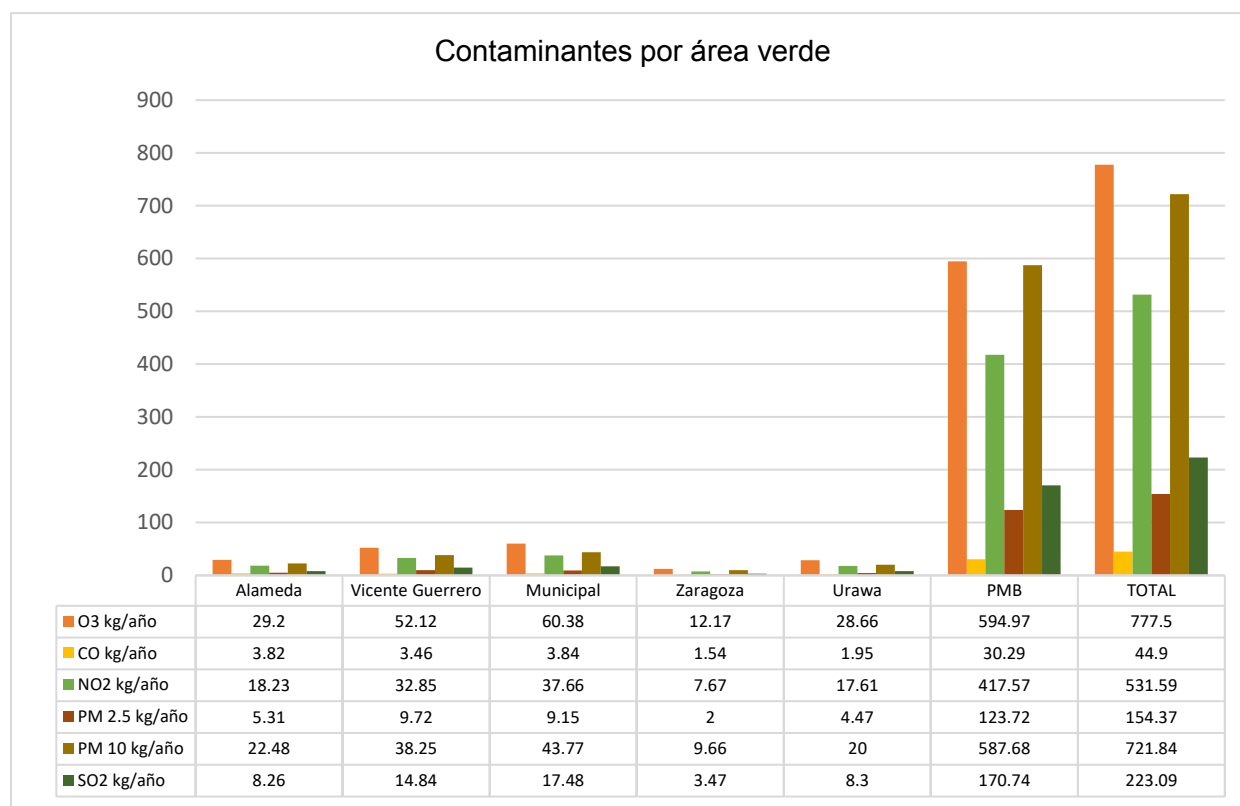
Nota. Elaboración propia con base en resultados de I-tree eco.

En la ilustración 29 se aprecia que el parque que eliminó en su mayoría los contaminantes fue el Metropolitano Bicentenario con 2.12 ton/año y un valor de \$1,914,132.15; así mismo, este parque también es el que cuenta con el área foliar más alta. La cantidad de biomasa de hojas es de

suma importancia en cuanto a la eliminación de la contaminación del aire, ya que, entre mayor sea el área foliar, será mejor la calidad del aire, esto ocurre gracias a que el arbolado intercepta en sus hojas contaminantes gaseosos y partículas (Saavedra 2016 haciendo referencia a Escobedo y Chacalo, 2008; Finlayson y Pitts, 1986), por lo tanto, entre más sea el número de arbolado con buen estado de salud y área foliar extensa, mayor será la cantidad de contaminantes eliminados, aquí radica la importancia de la existencia de zonas arboladas sobre todo en las ciudades que es en donde se concentran diversos gases que causan polución.

Como se muestra en la ilustración 30, los contaminantes eliminados fueron ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, partículas 2.5, partículas 10 y dióxido de azufre. El gas que en su mayoría se eliminó en todas las áreas verdes fue ozono, con base en el Foro Internacional sobre la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (2019) en el año 2017 se rebasó en el 12% de los días el límite normado de Ozono, de acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (2019) en las urbes se puede formar ozono en grandes concentraciones debido a la reacción química entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar. Así mismo, la reacción del dióxido de nitrógeno con sustancias químicas producidas por la luz solar lleva a la formación de ácido nítrico, el principal constituyente de la lluvia ácida (Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, s.f.); el dióxido de nitrógeno fue el tercer gas que más se generó en un año, por lo que se tienen que tomar en cuenta medidas que influyan en minimizar las altas emisiones, como por ejemplo dar mantenimiento constante a los vehículos, implementar el hoy no circula, entre otros.

Ilustración 30. Contaminantes por área verde



Nota. Elaboración propia con base en resultados de I-tree eco.

El segundo contaminante que más se elimina es PM10, con 721.84 kg/año. Para el año 2017 en la ZMVT las concentraciones de PM10 se encontraban por encima de lo que indica la NOM en un 101% y PM2.5 en 263%. (GEM, 2018 pp. 91); lo que respecta a PM2.5 es la segunda que menos se elimina (154.37 kg/año), encontrándose un lugar antes que monóxido de carbono; de acuerdo con Sotomayor, G. (2022) y Valor compartido (2022) la ciudad de Toluca se encuentra entre los primeros lugares de urbes mexicanas por contaminación de PM10 y PM2.5. Un boletín de Calidad del aire y salud en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (2023) muestra que el comportamiento en el mes de enero de 2023 fue que en partículas PM10, hubo 29 días con mala calidad del aire (93.54%) y 2 días de muy mala calidad (6.46%) en los primeros dos días del mes. Para el caso de partículas PM2.5, hubo 26 con mala calidad del aire (83.87%), 3 días de regular calidad del aire (9.67%) y 2 días de calidad extremadamente mala (6.46%); esto muestra que es alarmante los niveles de contaminación en la ciudad y que es de suma importancia la creación de infraestructura verde que ayuden a minimizar los niveles de polución, ya que de continuar con altos niveles de concentración de contaminantes se verá afectada la salud de las personas sobre

todo en el incremento de enfermedades respiratorias, aunado de que las islas de calor se ampliarán y las oportunidades para combatir el cambio climático se reducirán.

Almacenamiento, secuestro de carbono y producción de oxígeno

En cuanto al almacenamiento y secuestro de carbono de los 4,000 árboles evaluados, el total de toneladas de carbono almacenadas en un año es de 2,144.71 con un costo de \$1,690,299.38, mientras que para secuestro de carbono se genera en un año 56.92 toneladas con un costo de \$44,862.81 (ver tabla 35). Debido a que el PMB es el que cuenta con un mayor número de arbolado, éste es el que almacena y secuestra una mayor cantidad de carbono y también es el que lo refleja en pesos, el segundo parque en cuanto a un mayor almacenamiento de carbono es el Municipal, con tan solo 152 árboles se almacena en un año 219.20 toneladas de carbono que equivalen a \$172,756.44, así mismo, el Camellón Vicente Guerrero es la segunda área verde que secuestra más carbono, éste secuestra 6.69 toneladas al año con un costo de \$5,266.33. Nowak *et al.*, 2022 p.113 refiere que los árboles retienen y almacenan carbono en sus tejidos en cantidades y proporciones diferentes en función de factores como el tamaño en la madurez, la duración de la vida y la tasa de crecimiento, por lo que, aunque el parque Municipal no cuenta con un gran número de árboles, pero si tiene el arbolado con mayor altura, con clases de DAP en mayores rango y en general buen estado de salud puede almacenar cantidades importantes de carbono. En este contexto es que también López *et al.*, 2018 p. 11 citan a Nowak *et al.*, 2002 y señalan que los árboles longevos y de grandes tallas en la madurez, tienen mayor potencial para almacenar carbono que los de corta vida y portes pequeños, por tal motivo el Jardín Zaragoza es el que almacena y secuestra una menor cantidad de carbono.

Tabla 35. Total de almacenamiento y secuestro de carbono

Parque	No. Árboles	Almacenamiento (ton)	Costo \$	Secuestro (ton)	Costo \$	Oxígeno (ton)	E.C. (ton)
Alameda	118	81.92	\$64,562.04	2.24	\$1,769.24	5.98	0.10
Vicente Guerrero	383	104.49	\$82,354.70	6.69	\$5,266.33	17.8	0.17
Municipal	152	219.20	\$172,756.44	2.73	\$2,148.47	7.3	0.19
Zaragoza	64	27.97	\$22,043.02	0.87	\$688.95	2.20	0.04
Urawa	253	42.70	\$33,649.87	2.88	\$2,271.51	7.686	0.09
PMB	3030	1668.43	\$1,314,933.31	41.51	\$32,718.31	110	2.12
TOTAL	4000	2144.71	\$1,690,299.38	56.92	\$44,862.81	150.966	2.71

Nota. Elaboración propia con base en resultados de I-tree eco.

Ligado al secuestro de carbono esta la generación de oxígeno, el arbolado de los parques evaluados genera 150.966 toneladas al año de oxígeno. La cantidad de oxígeno producido se calcula a partir del secuestro de carbono (Nowak, *et al.*, 2007. p.220) y que al mismo tiempo está ligado a la acumulación de biomasa arbórea (Nowak, *et al.*, 2007. p. 220), como se muestra en el Tabla 34 el PMB es el que secuestra más carbono, por lo tanto, también genera una mayor cantidad de oxígeno, el Camellón Vicente Guerrero es la segunda área verde que secuestra más carbono (6.69 ton/año) así mismo también produjo una mayor cantidad de oxígeno (17.8 ton/año).

La generación de oxígeno del arbolado urbano es diferente en cada área verde, este varía de acuerdo con el número de árboles sanos, las tasas de crecimiento y las distribuciones de diámetro (Nowak, *et al.*, 2007. p. 222), para el caso del Jardín Zaragoza que tiene pocos árboles y de un diámetro pequeño necesita más árboles para subsanar el empleo de oxígeno por persona.

A pesar de que la generación de oxígeno de las 6 áreas verdes es mayor que el secuestro de carbono y aún más que de la eliminación de contaminantes, los impactos respectivos del secuestro de carbono y la eliminación de la contaminación son más importantes que la generación de oxígeno; además de que los efectos del arbolado urbano sobre los oligoelementos químicos pueden significar beneficios importantes en la calidad del medio ambiente y en la salud humana (Nowak, *et al.*, 2007). Por lo que el conservar, incrementar y restaurar las áreas verdes ayuda en la adaptación y mitigación al cambio climático, debido a que todo el arbolado está manteniendo entre sus tejidos los contaminantes que si se liberan podrían influir en la elevación local de la temperatura. En este contexto es que la infraestructura verde es un tema obligatorio para los tomadores de decisiones.

COV

En las áreas verdes evaluadas se originan 1,802.9 lb/año o 817.78 kg/año de compuestos orgánicos volátiles, de acuerdo con Nowak *et al.*, 2008; los compuestos orgánicos volátiles pueden contribuir a la formación de O₃ y CO, la mayor o menor generación de COV influye en las especie de árboles, la cantidad de hojas, la temperatura ambiental, entre otros. Los COV pueden brindar beneficios, pero también perjudicar sobre todo en la temperatura del planeta (Gutiérrez, 2021). Las emisiones de COV de la vegetación urbana se combinan con las emisiones antropogénicas produciendo ozono y material particulado, este potencial incrementa con el

aumento de las temperaturas y pueden conducir a severos problemas con la calidad del aire en áreas densamente pobladas durante las olas de calor (Churkina G., *et.al.*, 2017 citada por Gutiérrez, 2021 p.8).

Como ya se mencionó, la cantidad de COV generados en los parques evaluados influyen en la formación de ozono, algunas áreas verdes pueden emitir más COV que otras dependiendo de las especies predominantes, tal es el caso del PMB que tiene el mayor número de arbolado y la especie dominante es cedro blanco con una elevada área foliar, también es el que genera una mayor cantidad de COV, correspondiendo 1,322.40 lb/año o 599.83 kg/año, por otro lado, el parque Municipal es de los que genera menos compuestos orgánicos volátiles, de las trece especies presentes, cuatro no generaron COV, ocho sp. generan entre todas 14.60 kg/ año, la mayor parte de COV emitidos corresponden a cedro blanco (21.27 kg/año), así mismo, este parque tiene un mayor porcentaje de especies endémicas (entre ellos fresno que no emite COV).

De todas las especies arbóreas evaluadas las que generaron una mayor cantidad de COV fueron: cedro blanco, trueno, eucalipto, álamo plateado, chopo y en general la familia *Pinaceae*, lo que significa que la generación de ozono puede incrementarse en las áreas verdes donde predominan dichas especies, como lo es el PMB, el Camellón Vicente Guerrero así como Alameda, y si se atribuye que cada año es más común el incremento de las temperaturas, entonces, la generación de ozono se intensifica, lo que trae consigo aumento de enfermedades pulmonares, respiratorias, entre otras. Por el contrario, las especies que no tuvieron emisiones de compuestos orgánicos volátiles fueron: ciprés italiano, fresno, jacaranda, yuca, colorín, capulín, ciruelo, durazno, escobillón, higo, pera, tamarisco o cedro salado, ahuehuete, falso ciprés, aguacate y retama. Nowak (2000) menciona que el incremento en la copa de los árboles de las ciudades en particular con especies de baja emisión de COV, ayudan a minimizar la acumulación de ozono en las urbes, por lo tanto, es importante que se conozcan las especies arbóreas que se plantan en las metrópolis, para que se evite el incremento de contaminantes formados de manera natural, pero además, cumplan con las características necesarias de acuerdo con el tipo de suelo, clima, espacio disponible para su plantación, tolerancia al estrés que le pueden generar los vehículos, los contaminantes, etc. Si se planifican ciudades con la infraestructura verde incluida, las consecuencias que trae consigo el cambio climático serán menores.

Escurrimiento evitado

El escurrimiento superficial puede ser causa de preocupación en muchas áreas urbanas ya que puede contribuir a la contaminación de arroyos, humedales, ríos, lagos y océanos. Durante los eventos de precipitación, cierta cantidad se ve interceptada por la vegetación mientras que la otra alcanza el suelo. La cantidad de la precipitación que llega al suelo y no se filtra se vuelve escurrimiento superficial (USDA. 2018 citando a Hirabayashi 2012). En las áreas urbanas, la gran extensión de superficies impermeables aumenta la cantidad de escurrimiento superficial. Sin embargo, los árboles urbanos son benéficos al reducir el escurrimiento superficial. Los árboles interceptan la precipitación, mientras que sus sistemas de raíces promueven la infiltración y el almacenamiento en el suelo. Los 4,000 árboles evaluados de las diferentes áreas verdes ayudan a reducir el escurrimiento por 203,729.98 Ft³/año (5,768,990.59 litros al año) con un valor asociado de \$259,080.73. El parque que evito en su mayoría el escurrimiento superficial es el Metropolitano Bicentenario (154,786.06 Ft³/año o 4,383,053.1156 litros al año) que es el que cuenta con un mayor número de arbolado, seguido está el Parque Municipal, que, si bien no es de los que tiene más árboles, si cuenta con ejemplares de gran tamaño, de los 153 árboles evaluados 81 tienen alturas mayores a 20 metros llegando hasta 51 mts. (altura máxima), por lo que es notorio que más de la mitad del arbolado esta por arriba del promedio de altura, esta área verde intercepto 15,313.42 Ft³/año o 433,627.764 litros de agua al año. El resto de los parques ayudaron a evitar el escurrimiento superficial por 33,630.50 Ft³/año lo que equivale a 952,309.709 lt/año.

El escurrimiento evitado es un servicio ecosistémico de gran importancia debido a que mucha del agua interceptada por los árboles se dirige a los mantos acuíferos y posteriormente es bombeada para uso humano. Entre mayor sea la presencia de áreas vegetativas con buena salud mayor será el agua que se infiltre y menores serán las inundaciones o encharcamientos y también menores serán los costos monetarios que traen consigo los desazolves.

Valores de sustitución y funcionales

El arbolado urbano tiene un valor de sustitución basado en los mismos árboles (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar); también tienen valores funcionales (ya sea positivos o negativos) basados en las funciones que desempeñan los árboles. El valor de sustitución del arbolado tiende a subir cuando aumenta el número y tamaño de los árboles saludables (Nowak *et al.*, 2002a citado por USDA. 2018). Los valores funcionales anuales

también tienden a aumentar con un mayor número y tamaño de árboles saludables. A través de un manejo adecuado, los valores de los árboles pueden aumentarse; sin embargo, los valores y los beneficios también pueden disminuir conforme la cantidad de cobertura de árboles saludables se reduce (USDA. 2018). Como se muestra en el tabla 36 los árboles evaluados en las 6 áreas verdes presentan valores de sustitución de \$180 millones, el costo que se refleja por el almacenamiento de carbono es de \$1.69 millones, los parques que representan un mayor valor económico y que resultaría sumamente elevado la sustitución del arbolado son el Metropolitano Bicentenario y el Municipal. Lo que se refiere a los valores funcionales, para secuestro bruto de carbono el costo de este beneficio es de \$44,862.82, escurrimiento evitado es de \$259 mil y eliminación de contaminantes \$2.4 millones. El PMB es el que tiene los valores más elevados, para el caso de la eliminación de contaminantes los valores del Parque Municipal y Camellón Vicente Guerrero se encuentran cercanos a pesar de que el primero tiene menos árboles que el segundo.

Tabla 36. Valores de sustitución y funcionales

Parque	No. Árbol	Valores de sustitución (año)		Valores funcionales (año)		
		Valor de sustitución	Almacenamiento de carbono	Secuestro bruto de carbono	Escurrimiento evitado	Eliminación de la contaminación
Alameda	118	7,698,959.43	64,562.04	1,769.24	10,113.85	80,573.97
Vicente Guerrero	383	11,141,122.73	82,354.71	5,266.34	18,977.21	153,671.42
Municipal	152	16,829,159.66	172,756.44	2,148.47	19,473.87	152,770.22
Zaragoza	64	2,785,605.38	22,043.02	688.95	3,937.60	31,369.48
Urawa	253	5,888,873.05	33,649.87	2,271.51	9,738.80	73,360.75
Metropolitano	3030	135,952,566.75	1,314,933.31	32,718.31	196,839.40	1,914,132.15
TOTAL	4000	\$180,296,287.00	\$1,690,299.39	\$44,862.82	\$259,080.73	\$2,405,877.99

Nota. Elaboración propia con base en resultados de I-tree eco

De acuerdo con los resultados expuestos en la tabla 36 se puede apreciar que es importante que el arbolado urbano tenga un buen estado de salud para que pueda generar el mayor número de servicios ecosistémicos, así mismo su valor monetario también es más representativo, lo anterior se logrará plantando las especies correctas, conociéndolas e indagando en las necesidades de cada una; si solo se persigue plantar el mayor número de árboles y la cantidad puede más que la calidad los beneficios que nos pueden brindar los árboles se minimizarán.

6.3 Análisis de la Percepción Socioambiental de las Personas que Visitan Áreas Verdes

Con respecto a los resultados de la encuesta de percepción social cabe mencionar que se realizó una publicación en la revista “Procesos Urbanos” 9 (2) de julio-diciembre de 2022, donde se retoman los resultados y conclusiones del artículo del “Análisis de la Percepción Social del Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca, México”. Esto marca, a partir de la muestra del parque mencionado, el punto de referencia de la extrapolación de percepción de los demás parques estudiados. Así mismo se muestran los registros del comportamiento de las categorías que incluyeron la percepción de la sociedad. Al respecto se incorporó; el conjunto de categorías de beneficios a la salud; seguridad; belleza escénica; beneficios ambientales; beneficios sociales; así como del sentir de la población antes y después de visitar el parque (Esquivel, *et. al.* 2022 pp: 4-8)

6.3.1 Categoría en la Encuesta de Beneficios en la Salud

En la tabla 37 se muestra que, de las 116 personas encuestadas, los resultados exponen que la gente cree que es importante estar en contacto con la naturaleza. Al respecto, el 94%, (110 personas), están Totalmente De Acuerdo en que estar en contacto con la naturaleza es importante, y el 6% está De Acuerdo. La pregunta 2 fue; Me siento relajado cuando estoy en el parque. El 64.7% (76 personas) dijo estar Totalmente De Acuerdo en sentirse relajados cuando están en el parque, el 27. 6% (32 personas) De Acuerdo, Indiferente o Neutro 6.9% y En Desacuerdo 0.9%. La pregunta 3 se refirió a; Mejoró mi estado de ánimo cuando estoy en contacto con la naturaleza. El 75.9% dijo estar Totalmente De Acuerdo en que su estado de ánimo mejora cuando están en contacto con la naturaleza (89 personas) y. El 24.1% estar De Acuerdo. La pregunta 4 fue; Creo que debe haber un área verde cerca de mi casa. El 88.8% estuvo Totalmente De Acuerdo en que debe haber un área verde cerca de su casa. El 10.3% De Acuerdo y el 0.9% fue Indiferente o Neutro. La mayoría de las personas está Totalmente De Acuerdo que el estar en contacto con la naturaleza tiene beneficios en su salud.

Tabla 37. Respuestas beneficios en la salud

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indiferente o neutro	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Números en porcentaje					
Creo que el estar en contacto con la naturaleza es importante.	94	6	0	0	0

Me siento relajado cuando estoy en el parque.	64.7	27.6	6.9	0.9	0
Mejora mi estado de ánimo cuando estoy en contacto con la naturaleza.	75.9	24.1	0	0	0
Creo que debe haber un área verde cerca de mi casa.	88.8	10.3	0.9	0	0

Nota. Elaboración propia con base a encuesta aplicada en google forms (2022).

6.3.2 Categoría en la Encuesta de Seguridad

En el tópico Seguridad, se plantearon 4 preguntas (modo afirmativo), como se ve en la tabla 38. El 40.2% de las personas estuvo De Acuerdo en que se sienten seguras cuando visitan el parque; este campo representó la mayoría con 47 respuestas, referente a si el personal de seguridad hace sentir segura a gente durante su estancia. El 45.3% dijo estar De Acuerdo (53 respuestas), Por otro lado, lo que respecta a que la gente considera que la presencia de áreas verdes influye en que exista menor delincuencia en la ciudad. El 27.4% dijo estar Totalmente De Acuerdo y el 28.2% De Acuerdo. Finalmente, en la última respuesta con relación al tema de Seguridad, el 34.2 % de las personas (40 respuestas) estuvo Indiferente o Neutra, mientras que el 26.5 % En Desacuerdo.

Tabla 38. Respuestas tópico seguridad

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indiferente o neutro	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Números en porcentaje					
Me siento seguro cuando visito el parque.	34.2	40.2	15.4	10.3	-
El personal de seguridad que labora en el parque me hace sentir seguro (a) durante mi estancia.	23.1	45.3	22.2	6.8	2.6
Creo que la presencia de áreas verdes influye en que haya menor delincuencia en la ciudad.	27.4	28.2	20.5	18.8	5.1
Considero que en donde hay áreas verdes o parques hay más seguridad.	12.8	23.9	34.2	26.5	2.6

Nota. Elaboración propia con base a encuesta aplicada en google forms (2022).

6.3.3 Categoría en la Encuesta de Belleza Escénica

En el tópico Belleza Escénica, los cuestionamientos se hacen para saber qué tanto influye la presencia de flora y fauna en el valor que le da la gente al parque. En la tabla 39 se muestra que el 69.8% de las personas están Totalmente De Acuerdo en que los árboles y plantas resaltan la belleza del parque, mientras que el 26.7 % están De Acuerdo en esta aseveración (esto represento 113 respuestas). El 67.8% de los visitantes están Totalmente De Acuerdo en que el color de las plantas y árboles es mucho más atractivo para la gente y el 75.7% de la gente cree que la presencia de fauna en el parque representa un valor añadido para el área verde.

Tabla 39. Belleza escénica

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indiferente o neutro	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Números en porcentaje					
Considero que los árboles y plantas resaltan la belleza del parque.	69.8	26.7	3.4	0	0
Considero que el colorido de las plantas y árboles del parque es atractivo para la gente.	67.8	28.7	3.5	0	0
Considero que la presencia de fauna (por ejemplo, aves) favorece la belleza del parque.	75.7	21.7	2.6	0	0

Nota. Elaboración propia con base a encuesta aplicada en *Google forms* (2022).

6.3.4 Categoría de la Encuesta en Beneficios Ambientales

En el tema medioambiental se elaboraron 8 preguntas en las que la mayoría de las personas encuestadas estuvo Totalmente De Acuerdo con las distintas afirmaciones, como se ve en la tabla 40. El 88.9% (104 personas) considera que en la ciudad deben existir más áreas verdes. El 82.9% de los encuestados también estuvo Totalmente De Acuerdo en que la presencia de las áreas verdes en las ciudades puede ayudar a minimizar los efectos del cambio climático y, a su vez, también es importante la permanencia de flora y fauna para sentir menos calor (94 personas respondieron estar Totalmente De Acuerdo). Por otra parte, el 68.1% consideró que la presencia de fauna en el parque ayuda a mantener un equilibrio ambiental y el 79.5% de las personas están Totalmente De Acuerdo que la vegetación influye para que exista aire limpio. Con respecto a las 2 preguntas sobre la percepción de las personas sobre el mantenimiento que se le da al parque

y el trabajo que hacen los administradores de éste, menos de la mitad dijo estar Totalmente De Acuerdo o De Acuerdo. Finalmente, la mitad de los encuestados están dispuestos a contribuir en jornadas para mejorar el estado del área verde.

Tabla 40. Respuestas tópico ambiental

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indiferente o neutro	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Números en porcentaje					
Creo que en las ciudades deben existir áreas verdes	88.9	11.1			
Creo que la existencia de áreas verdes o parques urbanos puedan ayudar a minimizar los efectos del cambio climático.	82.9	15.4	0.9	0.9	
Creo que la presencia de fauna en el parque ayuda a mantener un equilibrio ambiental.	68.1	28.4	2.6	0.9	
Creo que la permanencia de plantas y árboles en el parque influyen para sentir menos calor	81	15.5	2.6	0.9	
Creo que la vegetación en el parque influye para que tengamos un aire limpio.	79.5	18.8	0.9	0.9	
Creo que el mantenimiento y cuidado (limpieza, poda de árboles, poda de plantas, deshierbe, corte de pasto) es adecuado.	41.9	43.6	8.5	5.1	0.9
Considero que los administradores del parque están haciendo un buen trabajo	29.9	41.9	18.8	7.7	1.7
Podría contribuir en alguna jornada de limpieza o reforestación en el parque	50.9	36.2	8.6	4.3	

Nota. Elaboración propia con base a encuesta aplicada en google forms (2022).

6.3.5 Categoría de la Encuesta en Beneficios Sociales

Para conocer que tan a gusto están los visitantes del parque con las actividades de esparcimiento se realizaron 4 preguntas (ver tabla 41) en donde el 69% de los encuestados dijo estar Totalmente De Acuerdo en que en el parque se pueden desarrollar diversas actividades culturales. El 70.7%

también estuvo Totalmente De Acuerdo en que pueden realizar diversas actividades deportivas, mientras que el 46.6% y 44.8% dijo estar Totalmente De Acuerdo y De Acuerdo, respectivamente, en que el parque es un lugar en el que les gusta pasar el tiempo. El 47% está De Acuerdo en que en el parque se siente como en casa y el 7.8% está En Desacuerdo.

Tabla 41. Respuestas tópico social

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indiferente o neutro	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Números en porcentaje					
En el parque se pueden desarrollar actividades culturales diversas.	69	27.6		1.7	
En el parque se pueden desarrollar actividades deportivas diversas.	70.7	27.6	1.7		
El parque es un lugar en el que me gusta pasar mi tiempo.	46.6	44.8	6.0	2.6	
En el parque me puedo sentir tan cómodo como si estuviera en casa.	24.3	47.0	20	7.8	0.9

Nota. Elaboración propia con base a encuesta aplicada en google forms (2022).

6.3.6 Antes y Después de Visitar el Área Verde

Al finalizar, en la encuesta se preguntó a los participantes cómo se sentían antes y después de visitar el parque. Los resultados arrojaron que antes de visitar el parque más de la mitad de las personas se sienten estresadas y cuando salen del parque casi el 100% se siente relajado. En cuanto al estado de humor, gran parte de la gente no se siente enojada antes de visitar, pero si mejora su estado de ánimo al salir del parque. El 41.2% de los encuestados se siente con ansiedad antes de visitar el parque y al salir casi todos se sienten llenos de energía. Más de la mitad de las personas al visitar el parque les encuentran solución a sus problemas y casi el 100% de la gente después de visitar el parque se siente bien físicamente (ver tabla 42).

En el estudio también se realizó una valoración de las variables sociales y ambientales, a través de la prueba estadística Coeficiente Gamma de Goodman y Kruskal (Siegel, S., 1972), la cual permitió conocer la asociación de variables en escala de medición ordinal. Para el caso de la variable ambiental se tomaron en consideración 3 preguntas de la encuesta: Creo que la existencia de áreas verdes o parques urbanos puedan ayudar a minimizar los efectos del cambio

climático Creo que la permanencia de plantas y árboles en el parque influyen para sentir menos calor. Creo que la vegetación en el parque influye para que tengamos un aire limpio. El coeficiente gamma fue igual y reporta una asociación positiva. Indica que existe una reducción proporcional de error mínima. Las categorías elegidas en la opinión de la gente (116 muestreados) con respecto a los servicios ecosistémicos, particularmente la percepción ambiental, permite concluir que las variables son dependientes. Por lo tanto, existe concordancia entre las variables. Lo que respecta al tópico social se tomaron en consideración 3 preguntas aplicadas en la encuesta como se muestra en seguida: Creo que el estar en contacto con la naturaleza es importante. Me siento relajado cuando estoy en el parque. Mejora mi estado de ánimo cuando estoy en contacto con la naturaleza. La prueba de significación gamma reporta una asociación positiva. El resultado de la prueba de significación permite concluir que las variables si son dependientes. Por lo tanto, existe concordancia entre los 116 entrevistados de la muestra en cómo se sienten cuando visitan el parque.

Tabla 42. Antes y después de visitar el parque

Como se siente la gente			
Antes de visitar el parque		Después de visitar el parque	
Me siento estresado		Me siento relajado	
Si = 52.6%	No = 47.4%	Si = 99.1%	No = 0.9%
Me siento enojado		Me siento de buen humor	
Si = 22.4%	No = 77.6%	Si = 98.3%	No = 1.7%
Me siento con ansiedad		Me siento con energía	
Si = 41.2%	No = 58.8%	Si = 94%	No = 6.0%
Me siento confundido		Le encuentro solución a mis problemas	
Si = 28.4%	No = 71.6%	Si = 57.9%	No = 42.1%
Me siento con algún dolor físico		Me siento bien físicamente	
Si = 21.1%	No = 78.9%	Si = 98.3%	No = 1.7%

Nota. Elaboración propia con base a encuesta aplicada en *google forms* (2022).

7. Discusión

La creación de áreas verdes como parte de la infraestructura verde en la ciudad de Toluca es de suma importancia, el dotar de espacios verdes a las urbes ha resultado ser una necesidad cada vez mayor, sobre todo si en la actualidad, aproximadamente 4,400 millones de personas viven en metrópolis, esto es el 56% de la población mundial. Se espera que este crecimiento continúe, de tal manera que la gente que viva en las ciudades crecerá a más del doble para el año 2050 y casi 7 de cada 10 personas vivirán en urbes, pero conforme crecen también incrementa el riesgo a fenómenos climáticos, lo que influye en que las metrópolis desempeñen funciones importantes en el combate del cambio climático (Banco Mundial, 2022). Para el caso de la capital del Estado ha sido evidente el crecimiento y sus niveles de contaminación, a pesar de ello la cantidad de áreas verdes no ha incrementado y tan solo se cuenta con 0.14 m²/habitante en la zona urbana y con población solamente urbana (Ayuntamiento de Toluca. 2019), lo que significa que se está quedando a deber una parte importante de espacios verdes a cada persona y se les limita en el goce de los beneficios que brinda la naturaleza, del mismo modo acrecienta el peligro a fenómenos climáticos

En este contexto, resulta transcendental que las ciudades sean resilientes frente al cambio climático y que puedan adoptar soluciones basadas en la naturaleza, por lo que las estrategias de Infraestructura verde buscan crear sinergia entre los pilares de la sustentabilidad; por ejemplo, los parques urbanos proporcionan diversos servicios ecosistémicos, tales como la eliminación de contaminantes, el almacén y secuestro de carbono, la reducción de escorrentías, disminuir las islas de calor, refugio de fauna, entre otros; pero también tienen beneficios sociales reflejados en la salud física y mental. Martínez *et al.* (2016), señalan que, generalmente, los problemas sociales acontecen con mayor frecuencia en los grandes núcleos urbanos. Los bajos niveles de contacto con la naturaleza pueden incidir en una mayor presencia de patologías sociales y de salud. La presencia de la naturaleza puede marcar la diferencia entre el bienestar físico y el mental entre los habitantes de las ciudades. En cuanto a los beneficios económicos, estos son directos e indirectos, la presencia de árboles en buenas condiciones en lotes o terrenos y bienes inmuebles puede incrementar el valor de la propiedad hasta en un 20% y de forma indirecta existe disminución de los gastos de atención médica y hospitalización. (López *et al.*, 2018), en esto destaca la importancia de conocer el valor social, ambiental y económico del arbolado en las ciudades.

Por lo que los resultados de este TTG muestran que las áreas verdes generan servicios ecosistémicos significativos; si se quiere disminuir los efectos del cambio climático se deben tomar manos a la obra para que los espacios arbolados influyan en la mitigación y adaptación de este. López *et al.* (2018) p.3 que a su vez retoma a Nowak, Stevens, Sisinni y Luley, (2002); Escobedo, Varela, Zhao, Wagner y Zipperer, (2010); Timilsina *et al.* (2014). refieren que para incrementar la capacidad de mitigación del calentamiento global deberá conocerse cómo la estructura y la composición de especies del arbolado urbano influyen en su potencial para capturar y almacenar CO².

Los resultados arrojados por el software i-Tree eco y el análisis de la información dejan ver que los árboles con copas más grandes o con áreas foliares mayores, así como árboles altos secuestran y almacenan una mayor cantidad de carbono, también eliminan un gran número de contaminantes y producen más oxígeno, generalmente estos árboles de gran porte se pudieron ver en el parque Municipal Benito Juárez, en este sitio cuentan con el espacio suficiente para desarrollarse y que la luz toque cada una de sus caras, por ejemplo, los árboles más altos fueron de cedro blanco, estos llegaron a alcanzar alturas de 51 metros con diámetros del tronco de 168 cm., para el caso de solo un individuo con esta medidas se puede almacenar en un año 6,924.36 kg de carbono, la eliminación de contaminación es de 3.27 kg/año y un valor de sustitución de \$470,368.22.

Otra especie que también tuvo valores de importancia altos fue fresno, hubo individuos que llegaron a medir 39 metros de altura y el diámetro del tronco de 138 cm., un árbol de fresno almacena 5,292.42 kg/año de carbono, elimina 4.31 kg/año de contaminantes y un valor de sustitución de \$397,040.48. Estos son ejemplos de árboles que crecieron en el lugar y condiciones correctas; por lo tanto, su estado de salud es el óptimo y pueden generar servicios ecosistémicos importantes para la ciudad; así mismo, estas dos especies son endémicas de México, sin embargo, fresno no emite COV esto ayuda en que no exista generación de ozono y partículas, por su parte cedro blanco es de las especies más generadoras de COV. La problemática en la generación de compuestos orgánicos volátiles se ve intensificada por el aumento de las temperaturas algo que cada vez es más cotidiano en la ciudad de Toluca. En este contexto, se puede notar que la vegetación de las ciudades puede influir directa o indirectamente en la calidad del aire al modificar el ambiente de la atmósfera urbana (Nowak 1995), del mismo modo se ha demostrado que el aumento en la copa de los árboles urbanos, sobre todo de especies que emiten bajas cantidades de COV ayudan en minimizar la acumulación de ozono en las ciudades (Nowak 2000). Es importante que se conozcan las

especies arbóreas que se plantan en las metrópolis, para que se evite el incremento de contaminantes formados de manera natural, pero, además, cumplan con las características necesarias. Debido a que en las ciudades existe una competencia entre la infraestructura verde y la infraestructura gris, se debe de pensar en que la selección de especies para forestación o reforestación sean de acuerdo con los espacios disponibles, no se puede plantar un árbol de grandes tallas como lo es el cedro blanco, fresno o chopo americano en espacios reducidos; lo que resulta más importante es la calidad y no la cantidad de árboles, el que se siembren muchos árboles juntos no influirá en que se generen mayores beneficios, sino más bien estos competirán todo el tiempo para poder crecer sin importar que su estructura sea pobre. Si se planifican ciudades con la infraestructura verde incluida, las consecuencias que trae consigo el cambio climático serán menores.

Es así como puede resultar importante que en las ciudades se implemente la fórmula 3-30-300 de Cecil Konijnendijk, la cual consiste en que cada habitante pueda ver al menos 3 árboles desde su hogar y vivir en una delegación, vecindario o colonia con al menos un 30% de cobertura de árboles, con el espacio verde público más cercano a no más de 300 metros de su puerta (Boeri. 2023). Si se llevara a cabo esta fórmula con las especies arbóreas indicadas para las ciudades y que puedan soportar el estrés por los altos niveles de contaminación habrá mayores beneficios sociales, ambientales y económicos.

A pesar de la importancia de la infraestructura verde, aún no existe legislación al respecto en donde se obligue a los municipios a su implementación, aún se siguen realizando técnicas de poda o derribo de árboles en donde prácticamente se elimina por completo la copa del árbol, ya sea porque obstruye en el cableado, en la vista, está dañando banquetas, etc., al realizar esto no se está permitiendo que el árbol genere servicios ecosistémicos y generalmente ocurre cuando se elige la especie equivocada para el lugar no indicado; por ende, es pertinente que para el caso del Estado de México, los Municipios implementen de manera correcta las Normas referentes a áreas verdes urbanas. El desarrollo de infraestructura verde en las ciudades debe implicar esfuerzos por parte de gobierno y ciudadanía para que sea una estrategia de planificación que ayude en la toma de decisiones como medida de mitigación y adaptación al cambio climático y de esta forma se pueda mejorar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades.

8. Conclusiones y recomendaciones

Este TTG pretendió destacar y de la misma forma se comprobó la importancia de la infraestructura verde en la ciudad de Toluca, sobre todo los servicios ecosistémicos de seis áreas verdes y sus aportes en la adaptación y mitigación al cambio climático. Los aportes en cuanto a la mitigación se refieren a que los servicios ecosistémicos de las seis áreas verdes de las que se ha venido hablando influyen en la reducción de los daños causados por fenómenos hidrometeorológicos que son parte del cambio climático, del mismo modo si se conocen cuantitativamente los beneficios que brinda el arbolado se pueden recuperar los hábitats de las áreas verdes urbanas, también se pueden reducir los gases de efecto invernadero e incrementar la absorción de dióxido de carbono. En cuanto a los aportes dirigidos a la adaptación al cambio climático, se refieren en general a que los servicios ecosistémicos ayudan a las ciudades a incrementar las expectativas de habitabilidad, por su lado las áreas verdes permiten que haya una prevención de riesgos hidrometeorológicos debido a que se pueden evitar o minimizar las inundaciones pluviales gracias a que el arbolado infiltra el agua al subsuelo, a su vez, los árboles ayudan a minimizar las olas de calor y reducen el efecto de islas de calor, por lo que se hace a los espacios verdes más confortables y de esta forma se incrementa el bienestar físico y psicológico.

Lo que respecta a la investigación documental y conceptual en conjunto con la metodología facilitó el cumplimiento del objetivo general que se centra en realizar una valoración de los servicios ecosistémicos que generan seis áreas verdes de la Ciudad de Toluca y que son parte de la infraestructura verde del Municipio, a través de la realización de inventarios del arbolado para la toma de decisiones en cuanto a la mitigación y adaptación al cambio climático. La muestra de áreas verdes elegidas fue la pertinente porque abarcó seis puntos cardinales del Municipio, además de que, se procuró elegir áreas verdes representativas en cuanto a su ubicación, número de visitantes, antigüedad y superficie; del mismo modo se decidió realizar el inventario del parque Alameda y Urawa a partir de una muestra representativa del 25% debido a la cantidad de árboles presentes en estas áreas.

A la par, es importante señalar el alcance del software utilizado, este es de fácil utilización, sin embargo, se debe procurar ser lo más precisos en la información tomada de campo, del mismo modo las brigadas que realizan las evaluaciones deben tener el mismo criterio de valoración del arbolado, ya que si existen incongruencias I-Tree eco no realizará las ecuaciones marcando errores o en su caso el modelo utilizará varios métodos para completar los huecos de las

variables faltantes. Algunos de estos métodos usan un valor por defecto, lo que quiere decir que a todos los árboles se les asigna el mismo valor, por lo tanto, la información resultante no podría ser confiable.

Si bien, se sabe que el arbolado genera diversos beneficios y que el impacto de estos es positivo para los ecosistemas y para las personas, no se conocía realmente su valor ya que este se ha tomado de manera cualitativa, por tal, la ponderación de cada beneficio es importante para la conservación, recuperación y mantenimiento de la vegetación, así como para la toma de decisiones acorde a cada lugar, en este sentido es que utilizando el software I-Tree eco se pudo cuantificar los servicios ecosistémicos que generan seis áreas verdes de Toluca y así se pudo identificar el valor ambiental, social y económico del arbolado reflejando su valor monetario.

En este contexto, resulta trascendental que los tomadores de decisiones consideren las siguientes recomendaciones:

- a) Cada área verde funciona de manera distinta; dependiendo su ubicación, la cantidad de emisiones contaminantes a su alrededor, las temperaturas mínimas y máximas, la cantidad de precipitación y el espacio disponible es que se puede decidir el tipo de vegetación indicada para el área verde. Si se plantan las especies correctas la salud del arbolado será el indicado y los servicios ecosistémicos serán mayores incluido el valor monetario.
- b) Para forestaciones o reforestaciones urbanas se deben elegir especies de árboles o arbustos indicados para la ciudad, de deben dejar de plantar árboles prominentes que necesitan grandes espacios para desarrollarse, es mejor pensar en la calidad del arbolado que se pretende tener.
- c) Es preferible plantar especies arbóreas que tengan amplias áreas foliares, con bajas o nulas emisiones de compuestos orgánicos volátiles para que de esta forma se evite la formación de ozono, partículas o monóxido de carbono. Hay que recordar que la formación de estos contaminantes se da por las emisiones de COV de la vegetación al combinarlas con emisiones antropogénicas y el incremento de las temperaturas.
- d) Las áreas verdes deben tener una conexión de vegetación para que de esta forma se incremente la biodiversidad en flora y fauna. Para este punto es importante crear un plan de conectividad de áreas verdes.
- e) Debido a que Toluca es una de las ciudades que se encuentra entre los primeros lugares en contaminación, se recomienda implementar el “Programa hoy no circula”.

- f) Gobierno Federal o Estatal puede emitir bonos ambientales por cantidad de servicios ecosistémicos que generan las áreas verdes, de modo que se incentiven los cuidados hacia estas zonas.
- g) Capacitación de funcionarios responsables de las áreas verdes para que ejecuten idóneamente la normatividad correspondiente a áreas verdes urbanas y su mantenimiento, de modo que se eviten podas mal elaboradas y que provoquen que el arbolado no pueda generar los servicios ecosistémicos correspondientes a su estructura original.
- h) Sensibilizar a los tomadores de decisiones de la importancia de conocer el comportamiento de las especies a forestar o reforestar en las áreas verdes de acuerdo con la especie, tamaño que alcanzarán en la madurez, servicios ecosistémicos que proporcionarán y condiciones del lugar.
- i) Incluir servicios sociales y prácticas profesionales de expertos de las universidades para la constante evaluación y consecuente cuidado de las áreas verdes.
- j) Realizar constantemente talleres de educación ambiental dirigidos a la ciudadanía en donde se aborde la importancia de las especies vegetales y los servicios ecosistémicos que proporcionan.
- k) Elaborar una estrategia Estatal y Municipal de infraestructura verde en donde se consideren todos los componentes que permitan su viabilidad, para que de esta forma sea una medida ante el cambio climático.
- l) Incluir en la legislación Estatal y Municipal la importancia de la infraestructura verde.

Glosario

Adaptación. El IPCC (2007) la define como ajustes en los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

Cambio climático. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992), se entiende por cambio de clima al atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la inestabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

Compuestos Orgánicos Volátiles. Una gran parte de los compuestos orgánicos volátiles presentes en la atmósfera provienen de las emisiones de las plantas. Los COVs son producidos en muchos tejidos vegetales diferentes y mediante diversos procesos fisiológicos. En algunas plantas, los COVs son acumulados en órganos especializados en hojas y tallos y pueden ser desprendidos como detergentes contra patógenos y herbívoros, o pueden ayudar en la cicatrización después del daño que estos organismos han producido. En otras plantas, aunque no sean almacenados, sí pueden ser emitidos, sirven como compuestos químicos de información para atraer a los polinizadores y a los depredadores de los herbívoros, y para comunicarse con otras plantas y otros organismos. Los COVs biogénicos contribuyen a la carga de hidrocarburos de la atmósfera y afectan significativamente la química atmosférica, a través de la formación de ozono y aerosoles, la oxidación del metano, o el balance del monóxido de carbono. Algunas evidencias han revelado que la producción y emisión de los COVs (como el isopreno y los monoterpenos, los cuales constituyen la mayor fracción de los COVs) podrían conferir protección a las plantas frente a las elevadas temperaturas (ej. Shulaev et al., 1997, Pichersky y Gershenzon, 2002 citados por Peñuelas *et al.* 2003).

Dióxido de nitrógeno. El NO₂ es un gas generado principalmente por la producción de electricidad, industria y fuentes móviles. La evidencia más reciente sugiere que de manera independiente puede incrementar los síntomas de bronquitis y asma, así como llevar al desarrollo de infecciones respiratorias y reducción del crecimiento de la función pulmonar. (OMS, 2018 citado por GEM, 2018).

Dióxido de sulfuro o azufre. El SO₂ es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles como el carbón, combustóleo o diésel, ciertas actividades industriales, así como por la

actividad volcánica. La exposición a SO₂ afecta el sistema respiratorio y la función de los pulmones, y causa irritación de ojos. Además, la inflamación del tracto respiratorio por SO₂ puede agravar casos de asma y bronquitis crónica, así como incrementar el riesgo de infecciones, lo que puede conducir a un aumento en admisiones hospitalarias y visitas a urgencias (OMS, 2006).

Mitigación. Intervención antropogénica para reducir la alteración humana del sistema climático. Ésta incluye estrategias para reducir las fuentes y las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la remoción o el secuestro de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007).

Monóxido de carbono. El CO es un gas producido principalmente por la combustión incompleta de combustibles, especialmente de tipo sólidos, como el carbón o la biomasa. El CO es tóxico para el cuerpo debido a que compite con la absorción de oxígeno por parte de la hemoglobina. Dependiendo de la duración y concentración de la exposición se pueden dar diferentes grados de envenenamiento. Los síntomas incluyen dolores de cabeza, mareos, debilidad, náusea, vómito y, finalmente, pérdida de conciencia. (GhoraniAzam, *et al.*, 2016 citado por GEM, 2018)

Ozono. El O₃ troposférico es un componente del denominado smog fotoquímico que se forma por la reacción del monóxido de carbono, metano y otros Compuestos Orgánicos Volátiles, que son oxidados en presencia de Óxidos de Nitrógeno y radiación solar. Sus principales afectaciones a la salud están vinculadas con problemas de respiración, asma, reducción de la función pulmonar y enfermedades respiratorias (GEM, 2018).

Partículas suspendidas. Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM₁₀ por metro cúbico de aire. Las mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM expresadas en microgramos (μ)/m³. Cuando se dispone de instrumentos de medición suficientemente sensibles, se notifican también las concentraciones de partículas finas (PM_{2.5} o más pequeñas). Las partículas más dañinas para la salud son las de 10 micrómetros de diámetro, o menos (\leq PM₁₀), que pueden penetrar y alojarse en el interior profundo de los pulmones. La exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón. Las partículas de menor diámetro, como las PM_{2.5}, y menores, son las que presentan un mayor riesgo a la salud, debido que tienen la capacidad de penetrar a regiones más profundas de los pulmones y del sistema circulatorio. Las partículas presentan un amplio panorama de síntomas con intensidad variable, desde estornudos, tos y boca seca hasta

la limitación de actividades por problemas de respiración (Protección Contra Riesgos Sanitarios, S.F.)

Servicios ecosistémicos. Capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente (De Groot *et al.*, 2002)

Vulnerabilidad. es la suma de los factores biofísicos y socioeconómicos involucrados en la construcción del riesgo (las causas de este), la exposición a éstos, y la capacidad para resistirlos (Delgado 2015).

REFERENCIAS

- AD Noticias (2021, 8 septiembre). Toluca se resigna a ser la ciudad más contaminada de México. AD Noticias. <https://adnoticias.mx/toluca-se-resigna-a-ser-la-ciudad-mas-contaminada-de-mexico/>
- Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (s.f.). ToxFAQs™ Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.) (Nitrogen Oxides). Consultado el 18 junio de 2023. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html
- Asociación Europea Parques Periurbanos. (2014). *Infraestructuras verdes urbanas y periurbanas*. Recuperado 4 de agosto de 2022, de http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/GTs%202014/4_final.pdf
- Ayuntamiento de Mérida 2021-2024. (s.f.). Plan Municipal de Infraestructura Verde Mérida. <https://www.merida.gob.mx/sustentable/contenidos/doc/PlanInfraestructuraVerde.pdf>
- Ayuntamiento de Toluca. (2019 a, 15 diciembre). *Índice de biodiversidad urbana, 2019*. <https://www2.toluca.gob.mx/ibu/>
- Ayuntamiento de Toluca & Dirección General de Medio Ambiente. (2019 b, 15 junio). Foro Internacional Sobre la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. <https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2019/09/TOL-PDF-FIA2019-EJE.pdf>
- Ayuntamiento de Toluca & Dirección General de Medio Ambiente. (2021, 20 febrero). Plan de Acción Climática Municipal Toluca 2030. <https://www2.toluca.gob.mx/dgmatol/>
- Ayuntamiento de Toluca. (2022, 3 marzo). Bando Municipal de Toluca 2022. https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2022/06/tol-pdf-bando_municipal-2022.pdf
- Ayuntamiento de Toluca. (2022, 21 diciembre). Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2022-2024. https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2022/04/tol-pdf-Plan_de_Desarrollo_Municipal-2022-2024.pdf
- Ayuntamiento de Hermosillo & Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo. (s.f.). *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para Municipios Mexicanos*.

Consultado el 13 febrero de 2022. http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual_IV3.pdf

Ayuntamiento de Hermosillo 2015-2018 & Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo (s.f.). *Programa de Drenaje Pluvial e Infraestructura verde del centro de población de Hermosillo 2018*. Consultado el 13 febrero de 2022.
<https://www.hermosillo.gob.mx/descargas/PRESENTACION-PDPiV-HMO-2018.pdf>

Ayuntamiento de Zaragoza. (2017, noviembre). *Una Infraestructura Verde para Zaragoza*. [ponencia]. Plan director de la infraestructura verde de Zaragoza. Documento de divulgación.
https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/pivz/IVZ_doc_divulgacion.pdf

Avendaño, R. (2019, 8 noviembre). Oaxtepec, el primer jardín etnobotánico en América. *Crónica*. https://www.cronica.com.mx/notas-oaxtepec_el_primer_jardin__etnobotanico_en_america-1136727-2019.html

Banco Mundial. (2022, 6 octubre). *Desarrollo Urbano. Panorama general*.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#>

Bernal-Grijalva, M. M., Navarro-Navarro, L. A., & Moreno-Vázquez, J. L. (2019). Adopción de especies nativas en la gestión de espacios verdes públicos sostenibles: El caso de Hermosillo. *Frontera norte*, 31 (1). 1-27. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2049>

Boeri, S. (2023, 17 de mayo). Los bosques urbanos en el centro de atención del primer episodio del podcast forestal de la ONU [1]. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa Unidad de Información (UNECE).
<https://unece.org/media/press/379768>

Cacciari, M. (2010). *La ciudad*. Barcelona: Gustavo Gili.

Cámara de Diputados (2023). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Recuperado el 04 de enero de 2023 de
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1983, 5 de enero). Ley de Planeación. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPlan.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2016, 28 de noviembre). Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_010621.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1988, 28 de enero). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Calvente, A. (2007). *Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana. <http://sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/cs/UAIS-CS-200-003%20-%20Resiliencia.pdf>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (1992). *Artículo 1, Definiciones*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Consejo Estatal de la Población. (2010). *Diagnóstico Sociodemográfico del Municipio de Toluca*. www.ipomex.org.mx/ipo/archivos/downloadAttach/85636.web
- Coordinación General de Conservación Ecológica. (2022). *Guía rápida de apoyo para el inventario de árboles de alineación en zonas urbanas*.
- Dávila Newman, G. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*. 12(Ext), 180-205. <https://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem function, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- De la Reza, G. (2001). Teoría de sistemas: reconstrucción de un paradigma. *México: Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco/Miguel Ángel. Porrúa*. p 179.
- Delgado, R., De Luca, Z. & Vázquez, Z. (2015). *Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). (2019). *Implementación de infraestructura verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en ciudades mexicanas*, hoja de ruta, México.
<https://ciudadesytransporte.mx/wp-content/uploads/2021/06/Hoja-de-Ruta-de-Infraestructura-Verde.pdf>
- Drénou, C. & Institut pour le Développement Forestier, Toulouse France. (2023, 24 de abril). *El arbolado urbano: Elemento clave para elevar la calidad de vida de las ciudades* [sesión de conferencia]. I Congreso Mexicano de Arboricultura y Dasonomía Urbana. México.
- Esquivel, D. A. L., Torres, G. L. & Cruz, R. M. V. (2022). Análisis de la Percepción Social del Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca, México. *Procesos Urbanos*. 9(2):e575.
<https://doi.org/10.21892/2422085X.575>
- Espinoza, R. 2020. (2021, 27 octubre). *Toluca, noveno lugar en contaminación del aire en América Latina*. Ciencias.
<https://revistauniversitaria.uaemex.mx/article/view/13875/10650>
- Fadigas L. (2009). La estructura verde en el proceso de planificación urbana. *Revista ciudades* 12. Pp. 33-47.
- García, C. (1995). Notas sobre la teoría general de sistemas. *Revista General de Información y Documentación*. 5 (1): 197-214. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=903087>
- González. D.C. (2002). *Beneficios del Arbolado Urbano, Ensayo doctoral*.
<https://bit.ly/3nTCyGL>
- Gobierno del Estado de México. (2018). *Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023*.
<https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/PDEM%202017-2023%20web.pdf>
- Gobierno del Estado de México. (2022, 02 de marzo). Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México. Publicada en el Periódico Oficial Gaceta del Gobierno el 10, 14 y 17 de noviembre de 1917.
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig001.pdf>

- Gobierno del Estado de México & Secretaría del Medio Ambiente (s.f.). *Áreas Naturales Protegidas*. https://sma.edomex.gob.mx/parque_metropolitano_bicentenario
- Gobierno del Estado de México & Secretaría del Medio Ambiente (2018). *Impactos sobre la salud*. En ProAire 2018-2030 (pp. 169–209).
https://proaire.edomex.gob.mx/proaire_edomex
- Gobierno del Estado de México. (2022, 02 de marzo). Código para la Biodiversidad del Estado de México. Publicada en el Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno” el 3 de mayo de 2006.
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/cod/vig/codvig009.pdf>
- Gobierno del Estado de México. (2013, 19 de diciembre). Ley de Cambio Climático del Estado de México. Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno”.
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig202.pdf>
- Gobierno del Estado de México. (2001, 21 de diciembre). Ley de Planeación del Estado de México y Municipios. Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno”.
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig087.pdf>
- Gobierno del Estado de México. (1993, 2 de marzo). Ley Orgánica Municipal del Estado de México. Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno”
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig022.pdf>
- Gobierno del Estado de México. (2018a, 7 de febrero). Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-018-SeMAGEM-DS-2017. Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno”.
<http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/65/2022/ago/EdoMex-20220805.pdf>
- Gobierno del Estado de México. (2018b, 7 de febrero). Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-019-SeMAGEM-DS-2017. Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno”.
<http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/65/2022/ago/EdoMex-20220805.pdf>

- Gobierno de México & Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2017, 31 diciembre). *Efectos a la salud por la contaminación del aire ambiente*.
<https://acortar.link/xqJeOW>
- Gobierno de la Republica. Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. (2013, junio). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>
- Google. (2022). [Indicaciones de Google Earth Pro de áreas verdes de Toluca].
- Gutiérrez, R. G. (2021). *El aporte de los árboles en la contaminación con ozono en las ciudades de Campana y Zárate, Buenos Aires* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Nacional]. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/10329>
- Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático. (2020). *Programa Estatal de Cambio Climático*.
https://ieecc.edomex.gob.mx/sites/ieecc.edomex.gob.mx/files/files/Herramientas%20y%20Datos/5_PEACC/PEACC%202022.pdf
- Instituto Municipal de Planeación de León, Guanajuato. (2020, septiembre). *Manual para la gestión de la infraestructura verde en la ciudad de León, Guanajuato*.
<https://www.implan.gob.mx/pdf/thumb/manual-de-infraestructura-verde.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2021). *Censo de Población y Vivienda (2020)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2023, 15 de febrero). *Cuéntame de México. Población Rural y urbana*.
https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P#:~:text=En%201950%2C%20en%20M%C3%A9xico%2043,es%20de%2079%20por%20ciento
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf

- Jiménez, H.L. (2016). *Hacia ciudades y territorios inteligentes, resilientes y sostenibles. Gestión y gobernanza para la gran transición urbana*
https://www.academia.edu/40330657/Hacia_ciudades_y_territorios_inteligentes_resilientes_y_sostenibles
- Johansen Bertoglio, O. (1993). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*, editorial Limusa S.A. de C.V., México.
- Kristie, D. & Naciones Unidas. (s. f.). *Objetivo 11 Las ciudades desempeñarán un papel importante en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/es/chronicle/article/objetivo-11-las-ciudades-desempenaran-un-papel-importante-en-la-consecucion-de-los-objetivos-de>
- Leal, D.C. (2010). *Ecourbanismo, ciudad, medio ambiente y sostenibilidad*. Bogotá: Ecoe Ediciones. <https://urbanitasite.files.wordpress.com/2020/01/leal-ecourbanismo.-ciudad-medio-ambiente-y-sostenibilidad.pdf>
- López, L. (2018). *Taller de capacitación de i-Tree Eco. Parque Ecológico Xochitla, Tepetzotlán, Estado de México* [presentación de diapositivas].
- López-López, S. F., Martínez-Trinidad, T., Benavides-Meza, H. M., García-Nieto, M., & Ángeles-Pérez, G. (2018). Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. *Madera y Bosques*, 24(3).
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431620>
- López, L., Gazca, G. & Carrillo, N. (2023, 25 abril). *Relación diámetro/altura en especies arbóreas de clima templado y estimación de servicios ecosistémicos bajo diferentes condiciones de salud*. I Congreso Mexicano de Arboricultura y Dasonomía Urbana, Toluca, México.
- Luhmann, N. (1988). *Teoría de sistemas: nuevos paradigmas*. (FLACSO, ed.). Santiago de Chile, p. 55.
- Martínez-Soto, J., Montero y López-Lena, M. & De la Roca Chiapas, J. M. (2016). Efectos psicoambientales de las áreas verdes en la salud mental. *Revista Interamericana de*

- Psicología/Interamerican Journal of Psychology*, 50(2), 204-2014.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28447010004>
- Martinez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., & Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 12(67).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Matas, A. (2018). Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 20(1), 38-47.
<https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1347>
- MXCity. (2022, 7 agosto). *Texcotzingo, el primer jardín botánico del mundo creado por Netzahualcóyotl*. MXCity | Guía de la Ciudad de México.
<https://mxcity.mx/2022/03/texcotzingo-el-primer-jardin-botanico-del-mundo-creado-por-netzahualcoyotl>
- Naciones Unidas. (2018a). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Naciones Unidas. (s. f.b). *Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático*.
<https://www.un.org/es/climatechange/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=Las%20ciudades%20son%20uno%20de,la%20superficie%20de%20la%20Tierra>
- Nowak, D.J. (1994). Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G.; Nowak, D.J.; Rowntree, R.A., eds. *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.
- Nowak, David. (2000). The interactions between urban forests and global climate change. *Global Climate Change and the Urban Forest*. 31-44.
https://www.researchgate.net/publication/288254909_The_interactions_between_urban_forests_and_global_climate_change

- Nowak, David & Stevens, J.C. & Sisinni, S.M. & Luley, C.J. (2002). Effects of Urban Tree Management and Species Selection on Atmospheric Carbon Dioxide. *Journal of Arboriculture*. 28. 113-122. [10.48044/jauf.2002.017](https://doi.org/10.48044/jauf.2002.017).
- Nowak, D. J., Hoehn, R. E., & Crane, D. A. (2007). Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture and Urban Forestry*, 33(3), 220-226. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.026>
- Nowak, D. J., Crane, D. A., Stevens, J., Hoehn, R. E., Walton, J. H., & Bond, J. (2008). A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(6), 347-358. <https://doi.org/10.48044/jauf.2008.048>
- Organización de las Naciones Unidas-Habitat. (2020, 2 septiembre). *Día Mundial de las Ciudades 2020*. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/dia-mundial-de-las-ciudades-2020>
- Palma, F. (2016, 18 julio). *Alameda central de Toluca, primer parque de la capital mexicana*. Criterio Noticias. <https://criterionoticias.wordpress.com/2016/07/18/alameda-central-de-toluca-primer-parque-de-la-capital-mexicana/>
- Peñuelas, J., & Llusià, J. (2003). Emisiones biogénicas de COVs y cambio global ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático? *Ecosistemas*, XII (1), 1-7. <https://www.redalyc.org/comocitar.ou?id=54012106>
- Plataforma Urbana y de Ciudades de América Latina y el Caribe. (s. f.). Estadísticas urbanas regionales. <https://plataformaurbana.cepal.org/es/estadisticas-urbanas-regionales> consultado el 12 de diciembre de 2022.
- Rodríguez-Jiménez, A., & Pérez-Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (82), 1-26. <https://www.redalyc.org/comocitar.ou?id=20652069006>
- Rosas-Lusett, M. A., & Bartorila, M. Á. (2017). Aportaciones de la forestación a la sostenibilidad urbana en ciudades tropicales. Humedal Nuevo Amanecer, Ciudad Madero, México. *Nova Scientia*, 9 (2) (19). <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v9n19/2007-0705-ns-9-19-00528.pdf>

- Saavedra-Romero, L. L., Alvarado-Rosales, D., Hernández-De la Rosa, P., Martínez-Trinidad, T., Mora-Aguilera, G. & Villa-Castillo, J. (2016). Condición de copa, indicador de salud en árboles urbanos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Madera y bosques*, 22(2), 15-27. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221321>
- Sánchez, S. H. (2020). *Apoyo al diseño de un Sistema Municipal de Áreas Verdes con Valor Ambiental para el municipio de Morelia (SMAVA)*. Sistema Municipal de Planeación de Morelia. <https://acortar.link/4wUDsF>
- Servicio Forestal de los Estados Unidos de América. (2017). *I-Tree Eco* (versión. 6.0). [software]. descargable en www.itreetools.org
- Siegel, S. & Castellan, N. J. (1972). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta* (Vol. 4). Distrito Federal, México: Trillas.
- Sotomayor, G. (2022, 29 julio). Salud en riesgo por contaminación en Toluca, *La Laguna*, CDMX. Proceso. <https://www.proceso.com.mx/reportajes/2022/7/29/salud-en-riesgo-por-contaminacion-en-toluca-la-laguna-cdmx-290503.html>
- Suárez, A., Camarena, P., Herrera, I. & Lot, A. (2011). *Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: ecología urbana del sur de la Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. http://centro.paot.org.mx/documentos/unam/infraestructura_verde.pdf
- United State Department of Agriculture-Forest Service (USDA). 2018. i-Tree Eco Field guide V6.0. <https://www.itreetools.org/documents/274/EcoV6.FieldManual.2020.07.23.pdf>
- Valor Compartido. (2022, 15 diciembre). *Monterrey, Toluca y Salamanca: las ciudades más contaminadas de México*. Valor compartido. <https://valor-compartido.com/monterrey-toluca-y-salamanca-las-ciudades-mas-contaminadas-de-mexico>
- Vásquez, Alexis E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 63-86. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100005>

Von Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de Sistemas*. (Almela, J. trad.). Fondo de Cultura Económica. (original publicado en 1968). p. 311.

Apéndice B. Encuesta

Con esta encuesta se pretende conocer la opinión que tienen las personas que visitan el Parque Metropolitano Bicentenario, ubicado en Toluca, por lo que se pide elegir la opción que se acerque a su respuesta.

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indiferente o neutro	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
La distancia de su casa al parque es de 10 a 15 minutos caminando o máximo 30 minutos en coche.					
Beneficios en la salud					
Creo que el estar en contacto con la naturaleza es importante.					
Me siento relajado cuando estoy en el parque.					
Mejora mi estado de ánimo cuando estoy en contacto con la naturaleza.					
Creo que debe haber un área verde cerca de mi casa.					
Seguridad					
Me siento seguro cuando visito el parque.					
El personal de seguridad que labora en el parque me hace sentir seguro (a) durante mi estancia.					
Creo que la presencia de áreas verdes influye en que haya menor delincuencia en la ciudad.					
Considero que en donde hay áreas verdes o parques hay más seguridad.					
Belleza escénica					
Creo que las plantas del parque resaltan su belleza.					
Creo que los árboles están bien cuidados.					
Considero que los árboles y plantas resaltan la belleza del parque.					
Considero que el colorido de las plantas y árboles del parque es atractivo para la gente.					
Considero que la presencia de fauna (por ejemplo, aves) favorece la belleza del parque.					
Ambiental					
Creo que en las ciudades deben existir áreas verdes					
Creo que la existencia de áreas verdes o parques urbanos puedan ayudar a minimizar los efectos del cambio climático.					
Creo que la presencia de fauna en el parque ayuda a mantener un equilibrio ambiental.					
Creo que la permanencia de plantas y árboles en el parque influyen para sentir menos calor					
Creo que la vegetación en el parque influye para que tengamos un aire limpio.					
Creo que el mantenimiento y cuidado (limpieza, poda de árboles, poda de plantas, deshierbe, corte de pasto) es adecuado.					
Considero que los administradores del parque están haciendo un buen trabajo					
Podría contribuir en alguna jornada de limpieza o reforestación en el parque					

Social					
En el parque se pueden desarrollar actividades culturales diversas.					
En el parque se pueden desarrollar actividades deportivas diversas.					
El parque es un lugar en el que me gusta pasar mi tiempo.					
En el parque me puedo sentir tan cómodo como si estuviera en casa.					

Contesta de acuerdo con cómo te sientes antes y después de visitar el Parque Metropolitano Bicentenario.

Antes de visitar un parque o área verde	Si (1)	No (0)
Me siento estresado		
Me siento enojado		
Me siento con ansiedad		
Me siento preocupado		
Me siento confundido		
Me siento con algún dolor físico		
Después de visitar un parque o área verde	Si (1)	No (0)
Me siento relajado		
Me siento de buen humor		
Me siento con energía		
Le encuentro solución a mis problemas		
Me siento bien físicamente		

Apéndice C. Listado de especies

Nombre común	Nombre científico	Número de árboles	Origen	Lugar
Acacia mimosa	<i>Acacia baileyana</i>	61	Exótica	Sur de Nueva Gales del Sur
Acacia negra	<i>Acacia melanoxylon</i>	10	Exótica	Australia
Aguacate	<i>Persea americana</i>	1	Nativa	México
Ahuehuete	<i>Taxodium mucronatum</i>	14	Nativa	México
Aile	<i>Alnus jorullensis</i>	3	Nativa	México, América Central del Sur
Álamo plateado	<i>Populus alba</i>	42	Exótica	Península Ibérica y Marruecos hasta Asia Central
Álamo temblón	<i>Populus tremula</i>	5	Exótica	Europa y Asia
Capulín	<i>Prunus serotina subsp. Capuli</i>	43	Nativa	Originaria de América. Se extiende actualmente desde Canadá hasta Guatemala
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	18	Exótica	Australia, Malasia y Polinesia.
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	2340	Nativa	México y Centroamérica:
Cedro limón	<i>Cupressus macrocarpa</i>	54	Exótica	Sudoeste de los EE. UU.
Cedro salado	<i>Tamarix gallica</i>	4	Exótica	Europa
Chopo	<i>Populus deltoides</i>	102	Nativa	Norteamérica
Ciprés	<i>Cupressus sempervirens</i>	11	Exótica	Región del Mediterráneo, Líbano, Siria, sur de Grecia, Túnez y Marruecos
Ciruelo	<i>Prunus domestica</i>	86	Exótica	Europa y Asia
Clavo	<i>Pittosporum tobira</i>	4	Exótica	Este de Asia
Colorín	<i>Erythrina coralloides</i>	10	Nativa	México, EE. UU., y Centroamérica.
Duraznero	<i>Prunus persica</i>	8	Exótica	Afganistán, China e Irán
Encino blanco	<i>Quercus laurina</i>	2	Nativa	México
Encino prieto	<i>Quercus rugosa</i>	16	Nativa	México
Escobillón rojo	<i>Callistemon citrinus</i>	16	Exótica	Australia
Eucalipto azul	<i>Eucalyptus globulus</i>	10	Exótica	Sureste de Australia y Tasmania
Eucalipto dólar	<i>Eucalyptus cinerea</i>	2	Exótica	Australia

Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	84	Exótica	Australia
Falso ciprés	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	10	Exótica	Sudoeste de Oregón, Estados Unidos
Falso sicomoro	<i>Acer pseudoplatanus</i>	3	Exótica	Centro y sur de Europa
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	126	Nativa	México
Gravilia	<i>Grevillea robusta</i>	9	Exótica	Australia
Higo	<i>Ficus carica</i>	1	Exótica	Asia sudoccidental
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	27	Exótica	Sudamérica
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	95	Nativa	México
Magnolia	<i>Magnolia grandiflora</i>	10	Exótica	Sureste de los Estados Unidos
Manzano	<i>Malus domestica</i>	13	Exótica	Asía Central
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	1	Exótica	Sudeste de China
Ocote	<i>Pinus montezumae</i>	103	Nativa	México
Olmo chino	<i>Ulmus parvifolia</i>	23	Exótica	China, Japón, Corea del Norte del Sur y Vietnam
Oyamel	<i>Abies religiosa</i>	5	Nativa	México
Palma abanico	<i>Washingtonia robusta</i>	2	Nativa	Península de Baja California, México
Palma canaria	<i>Phoenix canariensis</i>	32	Exótica	Islas Canarias
Pera	<i>Pyrus communis</i>	41	Exótica	Europa oriental y Asia Menor
Pino	<i>Pinus sp.</i>	4	Nativa	México
Pino azul	<i>Pinus maximartinezii</i>	1	Nativa	México
Pino blanco	<i>Pinus pseudostrabus</i>	3	Nativa	México
Pino llorón	<i>Pinus patula</i>	61	Nativa	México
Pino piñonero	<i>Pinus cembroides</i>	6	Nativa	México
Pino prieto	<i>Pinus greggii</i>	175	Nativa	México
Pirul	<i>Schinus molle</i>	2	Exótica	Sudamericano
Retama	<i>Senna multiglandulosa</i>	1	Nativa	México
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	83	Exótica	Este de Asia
Sicomoro	<i>Platanus x hispanica</i>	8	Exótica	Europa
Tejocote	<i>Crataegus mexicana</i>	4	Nativa	México

Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	188	Exótica	Sur de China
Yuca	<i>Yucca elephantipes</i>	17	Nativa	Norteamérica
TOTAL		4000	Nativas 23 y Exóticas 30	

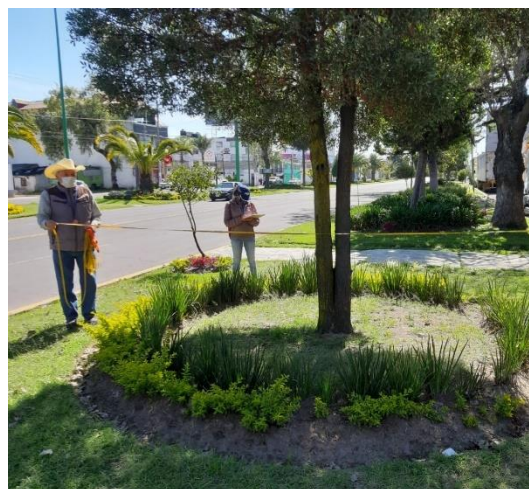
Apéndice D. Imágenes de áreas verdes evaluadas

En cada imagen se muestra cada área verde y el trabajo de campo que se realizó para la evaluación del arbolado para posteriormente poder conocer los servicios ecosistémicos que genera cada zona.

Parque Alameda



Camellón Vicente Guerrero



Parque Municipal Benito Juárez



Jardín Zaragoza



Parque Urawa



Parque Metropolitano Bicentenario

