



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional

**“Servicio ecosistémico de captura de
contaminantes atmosféricos de los
árboles en el Parque Metropolitano
Bicentenario”**

TESIS

Que para obtener el título de
Licenciada en Ciencias Ambientales

Presenta:

Esther Patricia González Morquecho

Director de tesis:

Lic. en P.T. Francisco Ocaña Chávez



Toluca de Lerdo, Estado de México, agosto de 2023.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
Planteamiento del problema.....	14
CAPÍTULO 1. INMERSIÓN AL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CAPTURA DE CONTAMINANTES DE LOS ÁRBOLES	22
1.1 Servicios ecosistémicos o servicios ambientales: evolución del concepto y clasificación.....	23
1.2 Contaminantes atmosféricos y los efectos en la salud humana.....	43
1.3 Perjuicios y servicios ecosistémicos de los árboles	47
1.4 Cuantificación de servicios ecosistémicos proporcionados por los árboles.....	51
1.5 Áreas naturales protegidas	59
1.6 Servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles y su relación con las ciencias ambientales.....	61
Epílogo	63
CAPÍTULO 2. MATERIA LEGAL Y NORMATIVA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CONTAMINANTES DE LOS ÁRBOLES EN EL PARQUE METROPOLITANO BICENTENARIO.....	66
2.1 Cambio climático y contaminantes.....	67
2.2 Árboles y servicios ecosistémicos	75
2.3 Clasificación de áreas naturales protegidas	79
Epílogo	83
CAPÍTULO 3. CUANTIFICACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CAPTURA DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EL ÁREA NATURAL PROTEGIDA “PARQUE METROPOLITANO BICENTENARIO”	84
3.1 Caracterización del área de estudio.....	85
3.2 Aplicación del método	93
3.2.1 Funcionamiento de i-tree eco.....	101
3.2.2 Ingreso de datos del inventario en i-tree eco.....	104
3.2.3 Resultados	123
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
4.1 Conclusiones.....	130
4.2 Recomendaciones.....	132
Bibliografía.....	133
Anexos	147

ÍNDICE DE ESQUEMAS

INTRODUCCIÓN

Esquema I.1. Metodología detallada	21
--	----

CAPÍTULO 1

Esquema 1.1. Relación entre ecosistemas y sus elementos	37
---	----

Esquema 1.2. Estructura, elementos y procesos de los árboles.....	50
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO 3

Gráfica 3.1. Composición de las especies de árboles en parque metropolitano bicentenario	123
---	-----

Gráfica 3.2. Eliminación anual de la contaminación (puntos) y valor (barras) por árboles urbanos en el PMB	124
---	-----

Gráfica 3.3. Secuestro bruto de carbono anual por especie.....	124
--	-----

Gráfica 3.4. Almacenamiento de carbono por especie.....	125
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Individuos muestreados de la zona 1	94
--	----

Tabla 3.2. Individuos muestreados de la zona 2	95
--	----

Tabla 3.3. Individuos muestreados de la zona 3	96
--	----

Tabla 3.4. Individuos muestreados de la zona 4	97
--	----

Tabla 3.5. Individuos muestreados de la zona 5	98
--	----

Tabla 3.6. Individuos muestreados de la zona 6	99
--	----

Tabla 3.7. Individuos muestreados de la zona 7	100
--	-----

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO 1

Cuadro 1.1. Listado de servicios ecosistémicos	26
--	----

Cuadro 1.2. Categorías de los servicios ecosistémicos	28
Cuadro 1.3. Servicios correspondientes a la categoría de regulación	29
Cuadro 1.4. Servicios correspondientes a la categoría de funciones del hábitat.....	31
Cuadro 1.5. Servicios correspondientes a la categoría de funciones de producción.....	31
Cuadro 1.6. Servicios correspondientes a la categoría de funciones de información.....	32
Cuadro 1.7. Listado de servicios.....	36
Cuadro 1.8. Categoría de servicios ecosistémicos y ejemplos	38
Cuadro 1.9. Propuesta de clasificación de servicios ecosistémicos y sus vínculos con valores humanos, procesos ecosistémicos y bienes naturales	39
Cuadro 1.10. Categoría de servicios ambientales en México	42
Cuadro 1.11. Fuente de contaminantes atmosféricos	43
Cuadro 1.12. Contaminantes de origen	44
Cuadro 1.13. Impactos de los contaminantes en la salud humana	45
Cuadro 1.14. Compuestos orgánicos volátiles	46

CAPÍTULO 2

Cuadro 2.1. Artículos del acuerdo de París.....	67
Cuadro 2.2. Artículos del protocolo de Kyoto.....	68
Cuadro 2.3. Meta del objetivo de desarrollo sustentable 13	69
Cuadro 2.4. Artículo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	70
Cuadro 2.5. Artículos de la ley general de desarrollo forestal sustentable	71
Cuadro 2.6. Concentración límite PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire	71
Cuadro 2.7. Concentración límite de NO₂ en el aire	72
Cuadro 2.8. Concentración límite de SO₂ en el aire.....	72
Cuadro 2.9. Concentración límite de CO en el aire.....	73
Cuadro 2.10. Concentración límite de ozono en el aire.....	73
Cuadro 2.11. Estrategias estatales en materia de aire y cambio climático	74
Cuadro 2.12. Objetivos de la agenda 2030	75
Cuadro 2.13. Artículos de la ley general de desarrollo forestal sustentable	76

Cuadro 2.14. Estrategias estatales sobre materia forestal, árboles y espacios verdes.....	77
Cuadro 2.15. Estrategia estatal del programa Pro Aire	77
Cuadro 2.16. Secciones de la norma técnica estatal ambiental 019	78
Cuadro 2.17. Categorías de áreas naturales protegidas a nivel federal.....	80
Cuadro 2.18. Categorías estatales de áreas naturales protegidas.....	81

CAPÍTULO 3

Cuadro 3.1. Datos y clases de muerte descendente	110
Cuadro 3.2. Labores de mantenimiento recomendado	111
Cuadro 3.3. Razón de derribo.....	111
Cuadro 3.4. Producción de oxígeno por especie.....	125
Cuadro 3.5. Comparación de los servicios ecosistémicos prestados en 2019 y 2022	127

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO 1

Imagen 1.1. Servicios ecosistémicos y su vínculo con el bienestar humano	34
Imagen 1.2. Conexiones entre los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano	35
Imagen 1.3. Estructura externa del árbol.....	48
Imagen 1.4. Transporte de nutrientes en plantas arbóreas jóvenes	49
Imagen 1.5. Estructura interna del árbol	49

CAPÍTULO 3

Imagen 3.1. Formato de registro en campo.....	104
Imagen 3.2. Clinómetro digital.....	105
Imagen 3.3. Funcionamiento de clinómetro digital.....	105
Imagen 3.4. Toma de datos de alturas.....	106
Imagen 3.5. Forcípula forestal	106
Imagen 3.6. Medición del diámetro a la altura del pecho	107
Imagen 3.7. Medición de DAP de árbol con irregularidades	107

Imagen 3.8. Cinta métrica	108
Imagen 3.9. Ilustración del porcentaje de copa faltante.....	108
Imagen 3.10. Ejemplos de porcentaje de copa faltante.....	109
Imagen 3.11. Ejemplo de muerte descendente	109
Imagen 3.12. Exposición a la luz del sol.....	111
Imagen 3.13. Inclinación del fuste	112
Imagen 3.14. Placas en los árboles.....	113
Imagen 3.15. Medición de cobertura de copa y alturas.....	114
Imagen 3.16. Formato Excel para ingresar en I-tree ECO.	115
Imagen 3.17. Página de inicio i-Tree ECO.	115
Imagen 3.18. Tipo de inventario	116
Imagen 3.19. Guardado de proyecto.....	116
Imagen 3.20. Datos básicos de proyecto nuevo	117
Imagen 3.21. Información general del proyecto.....	117
Imagen 3.22. Estaciones meteorológicas en Toluca	118
Imagen 3.23. Opciones de recopilación de datos.....	119
Imagen 3.24. Disponibilidad de información.....	119
Imagen 3.25. Asistente de importación de datos.....	120
Imagen 3.26. Ubicación del formato de Excel	120
Imagen 3.27. Columnas de datos	121
Imagen 3.28. Conteo de datos registrados	121
Imagen 3.29. Ingreso de datos a I-Tree ECO	122
Imagen 3.30. Resultados I Tree ECO	122
Imagen 3.31. Datos de eliminación de contaminantes en 2019	126
Imagen 3.32. Datos de eliminación de contaminantes en 2022.....	126

ÍNDICE DE MAPAS

CAPÍTULO 3

Mapa 3.1. Ubicación del Parque Metropolitano Bicentenario en la Entidad Mexiquense.....	86
Mapa 3.2. Localización del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca.....	87

Mapa 3.3. Zonificación general en el programa de manejo del Parque Metropolitano Bicentenario	89
Mapa 3.4. Zonificación de la infraestructura en el programa de manejo del Parque Metropolitano Bicentenario	90
Mapa 3.5. Zonas de mantenimiento del Parque Metropolitano Bicentenario.	92

ANEXO DOCUMENTAL

FORMATOS CAMPO

SUBZONA 1

Imagen 1. Hoja uno de la subzona uno.....	147
Imagen 2. Hoja dos de la subzona uno.....	149
Imagen 3. Hoja tres de la subzona uno.....	150
Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona uno	151

SUBZONA 2

Imagen 1. Hoja uno de la subzona dos.....	152
Imagen 2. Hoja dos de la subzona dos	153
Imagen 3. Hoja tres de la subzona dos.....	154
Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona dos	155

SUBZONA 3

Imagen 1. Hoja uno de la subzona de tres	156
Imagen 2. Hoja dos de la subzona tres.....	157
Imagen 3. Hoja tres de la subzona tres.....	158
Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona tres	159

SUBZONA 4

Imagen 1. Hoja uno de la subzona cuatro	160
Imagen 2. Hoja dos de la subzona cuatro	161
Imagen 3. Hoja tres de la subzona cuatro	162
Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona cuatro	163

SUBZONA 5

Imagen 1. Hoja uno de la subzona cinco.....	164
Imagen 2. Hoja dos de la subzona cinco.....	165
Imagen 3. Hoja tres de la subzona cinco.....	166

SUBZONA 6

Imagen 1. Hoja uno de la subzona seis.....	167
Imagen 2. Hoja dos de la subzona seis.....	168
Imagen 3. Hoja tres de la subzona seis.....	169
Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona seis.....	170

SUBZONA 7

Imagen 1. Hoja uno de la subzona siete.....	171
Imagen 2. Hoja dos de la subzona siete.....	172
Imagen 3. Hoja tres de la subzona siete.....	173
Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona siete.....	174

FORMATOS DE DATOS SANITARIOS I-TREE ECO

Imagen 1. Evaluación sanitaria en follaje, tronco, ramas y estrés.....	175
Imagen 2. Evaluación sanitaria en tronco, ramas y razón de derribo.....	176

ANEXO FOTOGRÁFICO

Imagen 1. Árbol maduro de fresno.....	177
Imagen 2. Árbol adulto de cedro.....	178
Imagen 3. Árbol adulto de eucalipto.....	179
Imagen 4. Palma canaria adulta.....	180



INTRODUCCIÓN

Introducción

Dentro del planeta tierra los procesos biofísicos han generado emisiones de gases de efecto invernadero, así como de partículas contaminantes hacia la atmósfera generando en ella cambios y repercusiones en el clima desde antes que existiese la humanidad (Olmos et al, 2011).

No obstante, el desarrollo de las civilizaciones, sobre todo en los siglos XIX y XX promovidas por una revolución industrial ha exponenciado no sólo problemas ambientales como lo menciona Sarmiento et al, (2017), también ha influido directa e indirectamente en la salud de la población siendo un claro ejemplo de ello la contaminación atmosférica, problema que ha pasado de presentarse exclusivamente en las grandes ciudades a convertirse en un problema global que causa estragos hasta el rincón más alejado del planeta.

Naciones Unidas, (2023a) mencionó que el 90% de los ciudadanos en el mundo respira aire que no cumple con las normas de seguridad establecidas por la Organización Mundial de la Salud, lo cual provocó en 2016 que alrededor de 4,2 millones de muertes debido a la contaminación atmosférica.

De forma similar sucede en México donde, tan sólo en 2019, se registraron 36 mil 684 muertes tanto de hombres como mujeres atribuidas a la contaminación atmosférica presente en la república (World Health Organization, 2023).

Ante este panorama, dentro de las ciudades ha cobrado fuerza la búsqueda por buscar alternativas en la mitigación de los contaminantes del aire, resultando ser los árboles los más ocupados en sus distintas estructuras verdes como bosque urbano, áreas verdes, corredores verdes, jardines entre otros, como aliados permanentes ante tal situación (Barra, 2019).

En el ámbito tanto internacional como nacional la conceptualización de los servicios ecosistémicos o servicios ambientales entendidos en términos sencillos como aquellos beneficios obtenidos resultantes de procesos biofísicos de la naturaleza,

ha permitido conjugar un marco de investigación en torno a los proporcionados por los árboles en las ciudades.

Sobre estos destacan Nowak et al, (1997) los servicios o beneficios en materia ambiental, social, así como económica como son los siguientes: almacenamiento de bióxido de carbono, remoción de contaminantes, regulación del clima, disminución de estrés, incremento en la valía de la propiedad, entre otros más.

De lo anterior Aguaron & McPherson, (2012) resaltan la creciente demanda por cuantificar la medida en que los árboles realizan dichas aportaciones, dando pauta a la generación numerables herramientas informáticas o aplicación de metodologías para tal fin, sin embargo, ha destacado más recientemente el uso del software denominado i-Tree ECO.

Bajo ese contexto, en el presente documento se expone la valoración del servicio ecosistémico de remoción de contaminantes atmosféricos que proporcionan los árboles dentro del área natural protegida estatal “Parque Metropolitano Bicentenario” perteneciente al municipio de Toluca de Lerdo, Estado de México, bajo los parámetros del software I-Tree ECO versión 6.

Es así que la metodología de esta investigación se estructura en 4 capítulos, en primer lugar, se presenta el desarrollo del marco teórico y conceptual, donde se abordan conceptos relevantes sobre los contaminantes atmosféricos, los servicios ecosistémicos de los árboles y las áreas naturales protegidas para comprender la manera en que los árboles en estas áreas ayudan a mejorar la calidad del aire además del uso del software I-Tree ECO para calcular dicha captura.

En segundo lugar, se expone el marco jurídico y normativo a nivel internacional, nacional y local respecto a contaminantes atmosféricos, cambio climático, así como en tema de árboles.

En tanto el tercer capítulo se caracteriza el área natural protegida Parque Metropolitano Bicentenario, además que se presentan los datos y análisis del trabajo de campo para la observación de los árboles, se exponen los resultados obtenidos de la valoración del servicio ecosistémico de captura de contaminantes y emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

Finalmente, el cuarto capítulo presenta las conclusiones, observaciones generales y propuestas respecto al aporte a la calidad del aire como producto del servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles en el parque.

Planteamiento del problema

Hoy en día las ciudades son el hogar del 54% de la humanidad de acuerdo a (Naciones Unidas, 2023d), es decir un aproximado de 3, 500 millones de personas y se espera que para el 2030 alberguen a 5, 000 millones de personas más (Naciones Unidas, 2023a).

Los procesos en las ciudades derivadas de las actividades humanas como menciona Jayasooriya et al, (2017) han generado presiones sobre la naturaleza que han causado un deterioro cada vez más severo en ella, por ejemplo, cambios de uso de suelo, pérdida de biodiversidad tanto animal como vegetal, cambios en las dinámicas naturales, modificación en la calidad ambiental entre muchos otros, sin embargo la alteración negativa calidad atmosférica es un fenómeno que más ha generado efectos adversos a diferentes escalas.

Internacionalmente la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos por su nombre en inglés United States Environmental Protection Agency, (2022) determina la calidad atmosférica por el cambio en la concentración de seis componentes clave: monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado en micrómetros (PM_{2.5}, PM₁₀), el exceso de estos no sólo afecta la dinámica ambiental como se observa con el cambio climático , sino

que impacta de igual forma en la salud de la población causando múltiples perjuicios.

Los componentes antes mencionados en conjunto con otros elementos como aerosoles o gases precursores del efecto invernadero son mejor conocidos por el término de contaminantes atmosféricos y han mostrado ser la causa principal por la cual el planeta ha aumentado su temperatura media global de manera fugaz a más de 1.4° centígrados en los últimos años generando el fenómeno popular del calentamiento global (NASA-GISS, 2015).

Por otro lado, Nowak et al, (2014a) refieren que la contaminación atmosférica ha demostrado tener efectos nocivos en el debido funcionamiento del organismo humano, teniendo impactos en el sistema pulmonar, cardiovascular y neurológico.

De lo anterior la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2014) estimó que 7 millones de personas en el mundo murieron como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica, es decir 1 de cada 8 personas, el 40% debido a cardiopatía isquémica, 40% por accidentes cerebrovasculares, 11% por neumopatía obstructiva crónica, 6% debido a complicaciones por cáncer de pulmón y 3% por infecciones agudas en vías respiratorias inferiores en niños.

Ante esto los árboles en las ciudades cumplen un rol fundamental, pues derivado de su funcionamiento proporcionan servicios ecosistémicos como la ayuda en la mejora de la calidad atmosférica en las zonas próximas a las que se encuentran ubicados, mejoran la calidad del aire, regulan las temperaturas, aportan a la permeabilidad del suelo frente episodios extremos de lluvias, aportan a la recreación y ocio de las personas, por mencionar algunos (Barra, 2019).

El enfoque de servicios ecosistémicos se utiliza cada vez más internacionalmente por investigadores, defensores, gestores e incluso legisladores para evaluar los beneficios que obtienen las personas por el funcionamiento ecológico de los árboles que impactan ya sea directa o indirectamente en el bienestar humano, por lo cual una parte crucial de este marco de estudio es analizar atribuciones específicas de

los árboles y traducirlas en valores cuantitativos para determinar la manera en la que aportan a la salud de la población como en el ecosistema al que pertenecen (Salmond et al, 2016).

Una herramienta tecnológica reconocida mundialmente por valorar los servicios ecosistémicos y expresarlos en términos cuantitativos es I.Tree ECO; un software desarrollado por el servicio forestal de los Estados Unidos de América en coordinación con Davey Tree Expert Company, el cual ha sido ocupado por supuesto en su país natal así como en España, Hungría, Londres, Irán, Etiopía, Colombia, Chile, Costa Rica, El salvador, entre otros.

En México son contados los casos en los que se ha aplicado el software para valorar cómo los servicios ecosistémicos de árboles aportan a la calidad atmosférica en distintos lugares de la república, pese a que el país está en el top 100 de los países más contaminados por material particulado ocupando el puesto 51 IQAir, (2023) y contribuye con el 1.35% de emisiones de dióxido de carbono equivalente en el mundo (Climate Watch Data, 2019).

Adicionalmente, la Organización Mundial de la Salud o World Health Organization, (2022) estima que en México el 18% de las muertes causadas por accidentes cardiovasculares o cardiopatías isquémicas son causadas por la contaminación atmosférica.

Sin embargo, se observa que en estados como Puebla, Colima, Yucatán se ha aplicado el software I Tree ECO para elaborar sus respectivos inventarios de arbolado total, también se observa su aplicabilidad en la Ciudad de México con estudios aislados.

En tanto, el que destaca menos por la aplicación del programa I-Tree ECO en la cuantificación de servicios ecosistémicos como el de la captura de contaminantes es el Estado de México, pues a pesar de que se ha aplicado en un parque o área verde dentro de los municipios de Texcoco, Metepec y Toluca de Lerdo, estos esfuerzos siguen siendo insuficientes, sobre todo en para la capital de la entidad mexiquense como lo es Toluca.

Respecto al contexto urbano que se vive en el municipio de Toluca destaca Mañón, (2018) las numerosas emisiones de contaminantes por parte de las actividades humanas e industriales que afectan la calidad atmosférica en la zona, sin embargo, la poca documentación e investigación sobre el impacto de los árboles de la región en la provisión de servicios como la captura de contaminantes impide que se reconozca su importancia para evitar perjuicios a la salud de los Toluqueños.

Aunado a lo anterior los árboles pueden impactar de otra manera su entorno, incluso de manera negativa, como lo refiere Nowak, (2002) al considerar que algunas especies de árboles emiten compuestos orgánicos volátiles, que contribuyen a la formación de ozono, así como a la producción de monóxido de carbono, y la tasa de emisión puede variar dependiendo de la especie.

El único estudio sobre la cuantificación de los servicios proporcionados por los árboles, como el de la captura de contaminantes además de perjuicios como la emisión de compuestos orgánicos volátiles mediante I-Tree ECO en Toluca, fue el realizado dentro del Parque Metropolitano Bicentenario (PMB) en 2019 por la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México a través de la Coordinación General de Conservación Ecológica, dando a conocer en conferencia de prensa que los 3 022 árboles en el parque almacenaron 878 toneladas de carbono, removieron mil 142 kilogramos de contaminantes (CO, O₃, NO₂, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀) y emitieron 325 kilogramos de compuestos orgánicos volátiles, sin embargo no existe algún documento oficial ni publicación actual que pueda ser consultada o revisada por la ciudadanía.

Por lo cual se resalta como problema la falta de información actualizada referente a la captura de contaminantes, no sólo en el Parque Metropolitano Bicentenario, sino en las zonas con presencia de árboles en la ciudad, pese a que esta información resulta crucial para tomar decisiones que aporten de buen manera a la calidad atmosférica en Toluca, el tema se nota poco abordado.

En un sentido resolutivo, la presente investigación pretende responder la siguiente cuestión: ¿Cuál es la cantidad actual de contaminantes del aire (ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado menor a

2.5, material particulado menor a 10 micras mayor a 2.5) que capturan los árboles y la que emiten de compuestos orgánicos volátiles en el área natural protegida Parque Metropolitano Bicentenario?

Con la finalidad de apoyar a responder la pregunta de investigación antes presentada se contempla para el trabajo la hipótesis que los árboles dentro del Parque Metropolitano Bicentenario proporcionan el servicio ecosistémico de captura de contaminantes con una captura de 2 mil 284 kilogramos de contaminantes (ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado menor a 2.5, material particulado menor a 10 micras mayor a 2.5) y emiten 650 kilogramos de compuestos orgánicos volátiles.

Por lo anterior, se especula que los árboles en el parque proporcionan el servicio ambiental o ecosistémico de captura de los contaminantes atmosféricos antes mencionados lo cual se prevé que puede ayudar mejorar la calidad del aire de la ciudad.

Derivado de lo anterior, como apoyo a responder los planteamientos anteriores se presenta como objetivo general el valorar en kilogramos el servicio ecosistémico captura de contaminantes, así como las emisiones de compuestos orgánicos volátiles por parte de los árboles dentro del área natural protegida Parque Metropolitano Bicentenario para determinar su influencia en la calidad atmosférica de la ciudad.

Complementariamente, se presentan objetivos específicos que apoyan al cumplimiento del general siendo el primero el conocer los conceptos clave sobre los contaminantes atmosféricos, el servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles, áreas naturales protegidas y el funcionamiento del software i-Tree ECO para ser identificados a lo largo de la investigación.

El segundo objetivo es analizar la normativa acerca de contaminantes atmosféricos, cambio climático, materia forestal, servicios ambientales y áreas naturales protegidas en México para comprender la aplicabilidad de las mismas en el área de estudio.

El tercer objetivo es presentar la valoración del servicio ecosistémico de captura de contaminantes en kilogramos, así como las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de los árboles en el área natural protegida Parque Metropolitano Bicentenario con ayuda del software I-Tree ECO para apoyar numéricamente en respuesta a la pregunta de investigación.

Mientras que el cuarto y último objetivo busca establecer recomendaciones sobre el servicio ecosistémico de los árboles dentro del Parque Metropolitano Bicentenario para aportar mejoras a la medición de este servicio.

El presente trabajo queda justificado dado el contexto que guarda la ciudad de Toluca dado que la contaminación atmosférica en la ciudad ha prevalecido a tal punto que Espinoza, (2020) destacó el preocupante lugar que ocupó en el top de ciudades de provincia más contaminadas de Latinoamérica siendo la número 9; lo anterior se determinó derivado del estudio de los niveles de contaminantes en ese año como el material particulado 2.5, donde no hubo día que no excediera los niveles recomendables, en tanto los niveles de ozono se mantuvieron en el rango regular-malo, mientras que los niveles de dióxidos de azufre, dióxidos de nitrógeno y monóxido de carbono no superaron sino que se mantuvieron en el rango de bueno salvo los días 25, 26 en el mes de Diciembre.¹

Derivado de esto, los árboles en la capital mexiquense han cobrado mayor importancia dado su labor ambiental en la mejora de la calidad atmosférica, específicamente aquellos árboles que se encuentran dentro de las 7 áreas naturales protegidas de la ciudad; de estas la única en la que se ha evaluado la captura de contaminantes y la emisión de compuestos orgánicos volátiles por los árboles es el área antes mencionada Parque Metropolitano Bicentenario.

Esta área natural protegida es reconocida por el papel cultural-ambiental que funge para los Toluqueños dado la accesibilidad, actividades e infraestructura verde, gris y azul con la que cuenta; en suma todo lo anterior le permite proporcionar diversos servicios ambientales así como compensar los efectos adversos del lugar en el que

¹ La información se obtuvo de un ejemplar de revista cultural de la universidad autónoma del Estado de México

se ubica, como los observados en la cercana avenida principal Paseo Tollocan, lugar donde el tráfico de automóviles generan un importante impacto negativo a la calidad del aire de la Ciudad, por ello se toma este parque como área de estudio para la presente investigación.

Sin embargo, se recalca el impacto negativo que pueden llegar a tener los árboles en la emisión de ciertos compuestos o precursores de otros contaminantes, por lo cual la presente pretende conocer el actual aporte de los árboles en esta área natural protegida para capturar contaminantes atmosféricos además de la emisión de los compuestos y con ello conocer la medida en que aportan a la calidad atmosférica de la ciudad.

De lo anterior, se presenta como apoyo metodológico para realizar la investigación el enfoque mixto, dado que contempla en primera instancia la faceta del enfoque cualitativo orientado a explorar con profundidad los elementos teóricos clave presentados en el trabajo y posteriormente se integra la faceta cualitativa que permite medir el fenómeno del servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles.

En general, el enfoque mixto ha permitido abordar la investigación en dos sentidos; deductivamente (de lo general a lo particular) contextualizando el fenómeno e inductivamente (particular a lo general) analizando objetivamente el servicio ecosistémico antes mencionado.²

Para esto la metodología queda respaldada por cuatro momentos clave:

Dentro del primer momento se realizó una investigación documental en fuentes científicas sobre servicios ecosistémicos, árboles, contaminación atmosférica, áreas naturales protegidas, además de la adopción de teoría, así como de conceptos que fueron de utilidad en toda la tesis.

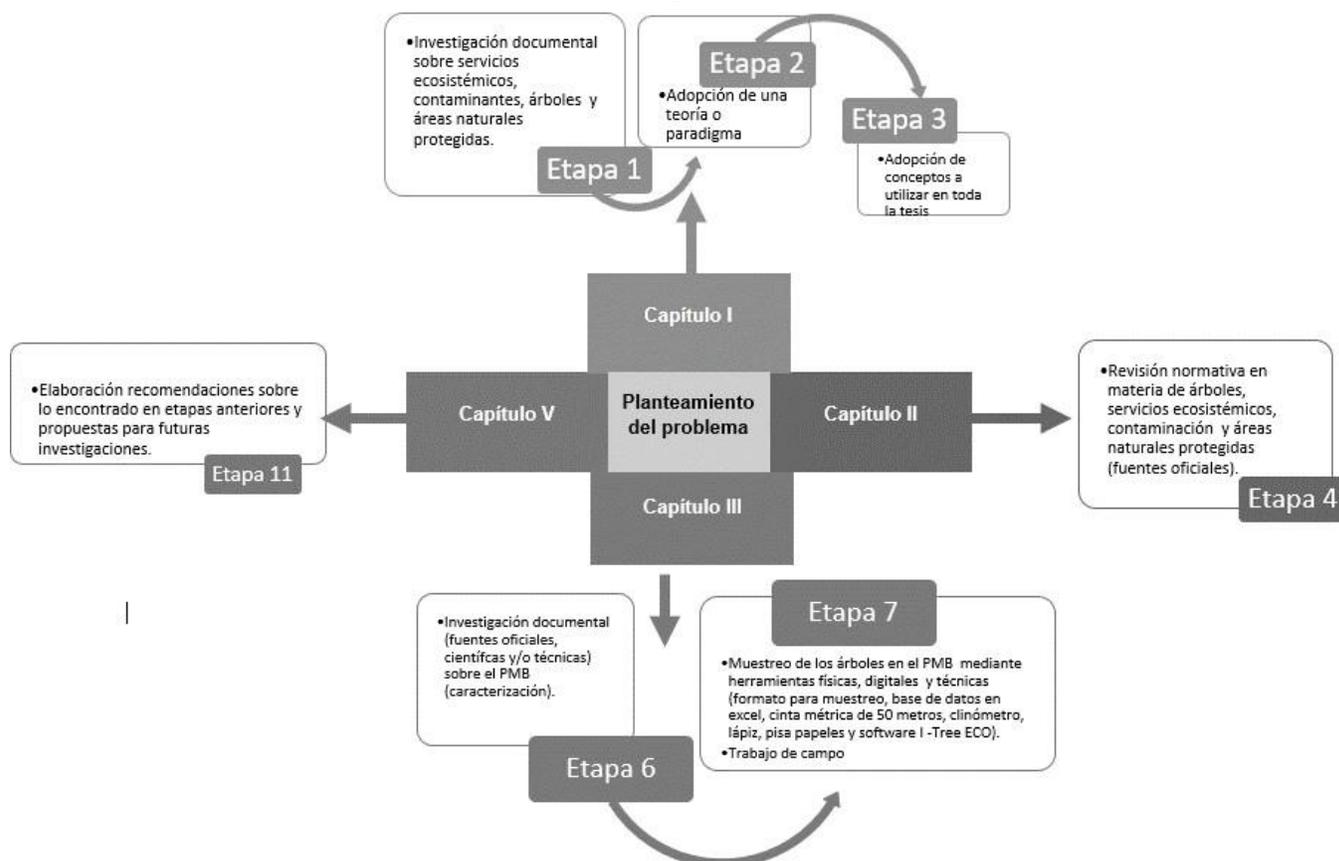
² Se retomaron los enfoques de investigación establecidos por Sampieri (2018) el cual se puede consultar en: Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.

En un segundo momento se revisó en fuentes oficiales la parte normativa en materia de árboles, contaminantes atmosféricos, áreas naturales protegidas, así como servicios ecosistémicos que delinear el estudio del servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles.

En el tercer momento se realizó un muestreo en campo que permitió valorar mediante la herramienta i-Tree ECO el servicio ecosistémico de captura de contaminantes, así como la emisión de compuestos orgánicos volátiles de los árboles presentes dentro del área natural protegida Parque Metropolitano Bicentenario, lo anterior con ayuda de la Coordinación General de Conservación Ecológica.

Finalmente, la investigación concluyó con trabajo de gabinete para generar recomendaciones de las etapas anteriores, como se muestra en el esquema I.1.

Esquema I.1. Metodología detallada



Fuente: Elaboración propia



**CAPÍTULO 1. INMERSIÓN AL SERVICIO
ECOSISTÉMICO DE CAPTURA DE
CONTAMINANTES DE LOS ÁRBOLES**

CAPITULO 1. Inmersión al servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles

En este capítulo inicial se abordan en seis apartados los conceptos clave que se ocupan a lo largo del presente trabajo encontrando en una primera sección el desglose del término servicios ecosistémicos, para el segundo apartado se presentan términos más puntuales sobre la contaminación atmosférica, mientras que el tercer apartado expone tanto los perjuicios como servicios ecosistémicos proporcionados por los árboles, con esto dar pauta al cuarto apartado donde se presenta cómo se ha dado la cuantificación en específico del servicio ecosistémico de los árboles denominado captura de contaminantes, en tanto en el cuarto apartado se desglosa la concepción de las áreas naturales protegidas y por último la sección en donde se relaciona el estudio de este servicio con las ciencias ambientales.

1.1 Servicios ecosistémicos o servicios ambientales: evolución del concepto y clasificación

Internacional

Desde tiempos de Platón se tenían nociones de la influencia humana en el entorno, este mismo intuyó que podían obtenerse tanto impactos positivos como negativos, pero destacó más la degradación del suelo, así como el secado de manantiales de Ática en Atenas era producto de la mano del hombre (Mooney et al, 1997).

Para el siglo XVIII Smith, (1776) fue de los pioneros en destacar la intrínseca relación entre la riqueza de las naciones con sus recursos naturales, poniendo como ejemplo los beneficios de los productos obtenidos de los árboles como la madera en ciertas regiones.

En el siglo XIX, Perkins, (1864) documentó cómo los factores físicos del entorno sustentan la vida del hombre, en específico para la proliferación de grandes civilizaciones (los romanos, los persas, los tártaros, etcétera), derivado del estudio de factores geográficos como la fertilidad de suelos, variedad de productos vegetales, minerales, entre otros.

Entre tanto, el nacimiento de la ecología como campo en dicho siglo se dio gracias a Ernet Haekel quien permitió estudiar con mayor rigurosidad la interdependencia de toda escala de seres vivos o no vivos en relación con el todo es decir su entorno, siendo en un primer momento de ayuda para estudios de todo tipo de organismos exceptuando al ser humano, a pesar de esto, científicos de la época abogaban por el estudio del hombre con su entorno dada la creciente problemática de contaminación derivada de la sociedad industrial (Milián, 2007).

No obstante, fue hasta el siglo XX que la magnitud del deterioro por la contaminación adquirió una dimensión planetaria que se incluyó en el campo de la ecología el estudio del impacto humano, para ello fue de gran ayuda el aporte del concepto de ecosistema introducido por Tansley en 1935 posteriormente desarrollado por Lindeman (1941) quienes lo describen como la suma de distintas comunidades de organismos con el ambiente que ocupan, definición reformulada más tarde por Bertanlaffy con su teoría general de sistemas enfatizando que el todo es más que la suma de sus partes con esto invitando a estudiar las formas de relación entre cada elemento que compone un ecosistema dándole al concepto mayor solidez para su estudio (Milián, 2007).

A partir de lo anterior, surge una obra emblemática sobre la conciencia de los efectos negativos de la contaminación en los ecosistemas conocida como “primavera silenciosa” de Carson, (1962) quien ejemplifica el impacto del hombre sobre los sistemas ecológicos acuáticos, terrestres, biológicos, entre otros, siendo tan trascendental en la época que constituyó el inicio de movimientos denominados ecologistas además de ser parteaguas para generar mayor investigación de las problemáticas ambientales provocadas por el hombre y la importancia del ambiente en la vida humana.

En este sentido, Camacho & Ruiz, (2012) destacan el impulso que dio el reconocer estas afectaciones en el ámbito científico orientando las investigaciones a conocer el papel que juega el estado de los ecosistemas para el bienestar humano siendo el trabajo de Westman, (1977) “¿Cuánto valen los servicios de la naturaleza?” un

primer intento por cuantificar de manera rigurosa los beneficios sociales obtenidos del entorno natural.

Eventualmente surgió la necesidad de marcar límites claros de lo que se considera un servicio ecosistémico siendo el Informe del Estudio de Problemas Ambientales Críticos, por sus siglas en inglés SCEP, una primera demarcación realizada por el instituto Tecnológico de Massachusetts listando los servicios ecosistémicos en los siguientes: control de plagas, polinización de insectos, pesca, regulación del clima, retención del suelo, control de inundaciones, formación del suelo, circulación de la materia y composición de la atmósfera (Suárez, 1976).

Posteriormente, de Groot, (1987) definió las funciones de los ecosistemas como “la capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas, directa o indirectamente”, argumentó que los servicios derivados de las funciones, consideradas en la época como bienes o recursos naturales, son de igual importancia para el bienestar humano como aquellos creados por el hombre por lo que deben incluirse en los procedimientos de contabilidad económica, además sugiere realizar esfuerzos para aumentar la comprensión de los beneficios ecológicos y socioeconómicos de las funciones ambientales para la sociedad humana.

Por otra parte, Daily et al, (1997) definen servicios ecosistémicos como las condiciones o procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los componen, pueden sostener, satisfacer la vida humana, mantener la biodiversidad y la producción de bienes ecosistémicos, la cosecha así como el comercio de estos bienes representan una parte importante de la economía humana pero más allá de esto los servicios fungen como soporte vital, aportan beneficios estéticos y culturales intangibles.

En cambio Costanza et al, (1997) denominan los servicios ecosistémicos como aquellos los bienes derivados de las funciones de los ecosistemas que representan un beneficio para la población humana de manera directa o indirecta, este grupo de investigación fue el segundo en proponer un listado de servicios ecosistémicos agrupándolos en 17 categorías principales, las cuales se muestran en el cuadro 1.1 aclarando previamente que en ciertos casos un solo servicio del ecosistema resulta de dos o más funciones del ecosistema resaltando así la interdependencia entre funciones.

Cuadro 1.1. Listado de servicios ecosistémicos

Número	Servicio ecosistémico	Función del ecosistema	Ejemplo
1	Regulación de gas	Regulación de la composición química atmosférica	Equilibrio de CO ₂ /O ₂ , O ₃ para protección UVB y niveles de SO _x
2	Regulación del clima	Regulación de la temperatura global, precipitación y otros procesos climáticos mediados biológicamente a nivel global o local.	Regulación de gases de efecto invernadero, producción de DMS que afecta la formación de nubes
3	Regulación de disturbios	Capacidad, amortiguamiento e integridad de la respuesta del ecosistema a la fluctuación ambiental	Protección contra tormentas, control de inundaciones, recuperación de sequías y otros aspectos de la respuesta del hábitat a la variabilidad ambiental controlada principalmente por la estructura de la vegetación
4	Regulación del agua	Regulación de caudales hidrológicos	Provisión de agua para procesos agrícolas (como riego) o industriales (como molienda) o transporte
5	Suministro de agua	Almacenamiento y retención de agua	Provisión de agua por cuencas, embalses y acuíferos

6	Control de erosión y retención de sedimentos	Control de erosión y retención de sedimentos	Prevención de la pérdida de suelo por viento, escorrentía u otros procesos de eliminación, almacenamiento de zancos en lagos y humedales
7	Formación de suelo	Procesos de formación del suelo	La meteorización de las rocas y la acumulación de materia orgánica
8	Ciclo de nutrientes	Almacenamiento, ciclos internos, procesamiento y adquisición de nutrientes	Fijación de nitrógeno, N, P y otros elementos o nutrientes ciclos
9	Tratamiento de desechos	Recuperación de nutrientes móviles y eliminación o degradación de los nutrientes en exceso o xénicos y compuestos	Tratamiento de residuos, control de la contaminación, desintoxicación
10	Polinización	Movimiento de gametos florales	Aprovisionamiento de polinizadores para la reproducción de plantas poblaciones
11	Control biológico	Regulaciones trófico-dinámicas de las poblaciones	Control de depredadores clave de las especies de presa, reducción de la herbivoría por parte de los principales depredadores
12	Refugio	Hábitat para poblaciones residentes y transitorias	Viveros, hábitat de especies migratorias, regional hábitats para especies capturadas localmente, o hibernación jardines
13	La producción de alimentos	Esa porción de la producción primaria bruta extraíble como alimento	Producción de pescado, caza, cultivos, frutos secos, frutos mediante la caza, la recolección, la agricultura de subsistencia o la pesca
14	Materias primas	Esa porción de la producción primaria bruta extraíbles como materias primas	La producción de madera, combustible o forraje

15	Recursos genéticos	Fuentes de materiales biológicos únicos y productos	Medicina, productos para ciencia de materiales, genes para resistencia a patógenos de plantas y plagas de cultivos, especies ornamentales (mascotas y variedades hortícolas de plantas)
16	Recreación	Proporcionar oportunidades para actividades recreativas	Ecoturismo, pesca deportiva y otras actividades recreativas al aire libre
17	Cultural	Proporcionar oportunidades para usos no comerciales	Estéticos, artísticos, educativos, espirituales y/o valores científicos de los ecosistemas

Fuente: Elaboración propia con base en Costanza, et al (1997).

En el cuadro anterior se puede observar que Costanza, et al (1997) reconocen que diversas funciones de los ecosistemas traen múltiples servicios, sin embargo, en esta clasificación inicial falta especificar de qué ecosistemas en particular se obtienen estos.

Complementariamente de Groot et al, (2002) realizó una categorización más formal de las funciones de los ecosistemas agrupándolos de la siguiente manera en el cuadro 1.2 mostrado a continuación:

Cuadro 1.2. Categorías de los servicios ecosistémicos

N°	Nombre	Descripción
1	Funciones de regulación	Hace referencia a la capacidad de los ecosistemas tanto naturales como seminaturales para regular procesos ecológicos esenciales y sistemas de soporte de vida a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos biosféricos, además de mantener la salud del ecosistema, estas funciones brindan muchos servicios que tienen beneficios directos e indirectos para los humanos como aire, agua, suelos limpios y servicios de control biológico.
2	Funciones del hábitat	Estas funciones los proporcionan los ecosistemas naturales otorgando hábitat de refugio, reproducción de plantas silvestres, animales contribuyendo a la conservación de los recursos biológicos, genéticos diversidad y procesos evolutivos.

3	Funciones de producción	Procesos como la fotosíntesis permite la absorción de nutrientes por parte de organismos que convierten la energía, el dióxido de carbono, el agua en una amplia variedad de estructuras de carbohidratos utilizados después por productores secundarios para crear una variedad aún mayor de biomasa viva, proporcionando al ser humano muchos bienes ecosistémicos desde alimentos, materias primas hasta recursos energéticos y material genético.
4	Funciones de información	Los ecosistemas naturales brindan una 'función de referencia' esencial y contribuyen al mantenimiento de la salud humana al brindar oportunidades para la reflexión, el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la recreación y la experiencia estética.

Fuente: Elaboración propia con base en De Groot, et al (2002).

A diferencia del listado de Constanza et al, (1997), las categorías de de groot, et al (2002) aportan mayor detalle los servicios obtenidos específicamente de las funciones de los ecosistemas naturales, y poniendo ejemplos de estos.

Derivado de las categorías antes presentadas de groot, et al (2002) enlista servicios de los ecosistemas naturales y seminaturales como se presenta a continuación en el cuadro 1.3:

Cuadro 1.3. Servicios correspondientes a la categoría de regulación

N°	Nombre	Procesos y componentes del ecosistema	Bienes y servicios (ejemplos)
1	Regulación de gases	Mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y sistemas de soporte vital Papel de los ecosistemas en los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo, equilibrio CO ₂ /O ₂ , capa de ozono, etc.)	1.1 Protección de rayos UVb por O ₃ (prevención de enfermedades) 1.1 Mantenimiento de la (buena) calidad del aire 1.2 Influencia en el clima
2	Regulación del clima	Influencia de los procesos mediados por la cobertura biológica y del suelo sobre el clima	Mantenimiento de un clima favorable (temperatura, precipitación, etc.), por ejemplo, vivienda humana, salud, cultivo

3	Prevención de perturbaciones	Influencia de la estructura del ecosistema en la amortiguación de las perturbaciones ambientales	3.1 Protección contra tormentas (por ejemplo, por arrecifes de coral) 3.2 Prevención de inundaciones (p. ej., por humedales y bosques)
4	Regulación del agua	Papel de la cubierta terrestre en la regulación de la escorrentía y la descarga de los ríos	4.1 Drenaje y riego natural 4.2 Medio de transporte
5	Suministro de agua	Filtrado, retención y almacenamiento de agua dulce (por ejemplo, en acuíferos)	Provisión de agua para uso consuntivo (por ejemplo, potable, riego y uso industrial)
6	Retención de suelo	Papel de la matriz de raíces de la vegetación y la biota del suelo en la retención del suelo	6.1 Mantenimiento de tierras cultivables. 6.2 Prevención de daños por erosión/sedimentación
7	Formación del suelo	Desgaste de rocas, acumulación de materia orgánica.	7.1 Mantenimiento de la productividad en tierras de cultivo 7.2 Mantenimiento de suelos productivos naturales
8	Regulación de nutrientes	Papel de la biota en el almacenamiento y reciclaje de nutrientes (p. ej., N, P&S)	Mantenimiento de suelos saludables y ecosistemas productivos
9	Tratamiento de desechos	Papel de la vegetación y la biota en la eliminación o degradación de nutrientes y compuestos xénicos	9.1 Control de la contaminación 9.2 Filtrado de partículas de polvo 9.3 Reducción de la contaminación acústica
10	Polinización	Papel de la biota en el movimiento de los gametos florales	10.1 Polinización de especies de plantas silvestres 10.2 Polinización de cultivos
11	Control biológico	Control de la población a través de relaciones trófico-dinámicas	11.1 Control de plagas y enfermedades. 11.2 Reducción de la herbácea (daño a los cultivos)

Fuente: Elaboración propia con base en de Groot et al, (2002).

Los servicios antes enlistados de la categoría de regulación permiten mantener los procesos ecológicos esenciales permitiendo un soporte vital, destacando en esta labor los ecosistemas terrestres, vegetales y bióticos.

Cuadro 1.4. Servicios correspondientes a la categoría de funciones del hábitat

N°	Nombre	Procesos y componentes del ecosistema	Bienes y servicios (ejemplos)
12	Función de refugio	Espacio de vida adecuado para plantas y animales silvestres.	12.1 Mantenimiento de la diversidad biológica y genética (y por lo tanto la base para la mayoría de las otras funciones) 12.2 Mantenimiento de especies explotadas comercialmente
13	Función de cuidado	Hábitat de reproducción adecuado	13.1 Caza, recolección de pescado, caza, frutas, etc. 13.2 Agricultura y acuicultura de subsistencia a pequeña escala

Fuente: Elaboración propia con base en de Groot et al, (2002).

Los servicios mostrados en el cuadro 1.4 son de la categoría de funciones de hábitat, estos destacan por proporcionar un espacio vital óptimo para el desarrollo de los organismos o formas de vida como especies de plantas y animales silvestres.

Cuadro 1.5. Servicios correspondientes a la categoría de funciones de producción

N°	Nombre	Procesos y componentes del ecosistema	Bienes y servicios (ejemplos)
14	Comida	Conversión de la energía solar en plantas y animales comestibles	14.1 Construcción y fabricación (p. ej., madera, pieles). 14.2 Combustible y energía (p. ej. leña, combustible orgánico asunto). 14.3 Forraje y fertilizante (por ejemplo, krill, hojas, lecho).

15	Materias primas	Conversión de energía solar en biomasa para la construcción humana y otros usos	15.1 Mejorar la resistencia de los cultivos a patógenos y plagas. 15.2 Otras aplicaciones (por ejemplo, atención médica)
16	Recursos genéticos	Material genético y evolución en plantas y animales silvestres	16.1 Productos farmacéuticos 16.2 Modelos químicos y herramientas 16.3 Organismos de prueba y ensayo
17	Recursos medicinales	Variedad de sustancias (bio)químicas y otros usos medicinales de la biota natural	Recursos para moda, artesanía, joyería, mascotas, adoración, decoración y souvenirs (por ejemplo, pieles, plumas, marfil, orquídeas, mariposas, peces de acuario, conchas, etc.)
18	Recursos ornamentales	Variedad de biota en ecosistemas naturales con (potencial) uso ornamental	

Fuente: Elaboración propia con base en de Groot et al, (2002).

Los servicios de la categoría de funciones de producción, vistos en el cuadro 1.5, destacan por su característica de ser fuentes o provisiones para el ser humano, es decir que apoya mediante recursos de tipo alimentario, medicinal, ornamental o genético que se ocupan en la vida diaria que además pueden ser trasladados a procesos más moderno e industriales para obtener mayor beneficio de estos.

Cuadro 1.6. Servicios correspondientes a la categoría de funciones de información

N°	Nombre	Componentes del ecosistema	Bienes y servicios (ejemplos)
19	Información estética	Características atractivas del paisaje	Disfrute del paisaje (carreteras escénicas, vivienda, etc.)
20	Recreación	Variedad en características naturales con valor cultural y artístico.	Viajes a ecosistemas naturales para ecoturismo, deportes al aire libre, etc.
21	Cine cultural y artístico, pintura, información	Variedad en características naturales con valor cultural y artístico.	Uso de la naturaleza como motivo en libros, cine cultural y artístico, pintura, folklore, símbolos patrios, arquitectura, publicidad, etc.

22	Información espiritual e histórica	Variedad en características naturales con valor espiritual e histórico.	Uso de la naturaleza con fines religiosos o históricos (es decir, valor patrimonial de los ecosistemas y características naturales)
23	Ciencia y educación	Variedad en la naturaleza con valor científico y educativo	Uso de sistemas naturales para excursiones escolares, etc. Uso de la naturaleza para investigación científica

Fuente: Elaboración propia con base en de Groot et al, (2002).

Los servicios de la categoría de funciones de información antes vistas en el cuadro 1.6 proporcionan oportunidades para el desarrollo cognitivo, educativo, intelectual, espiritual, cultural del ser humano, aportando a su desarrollo.

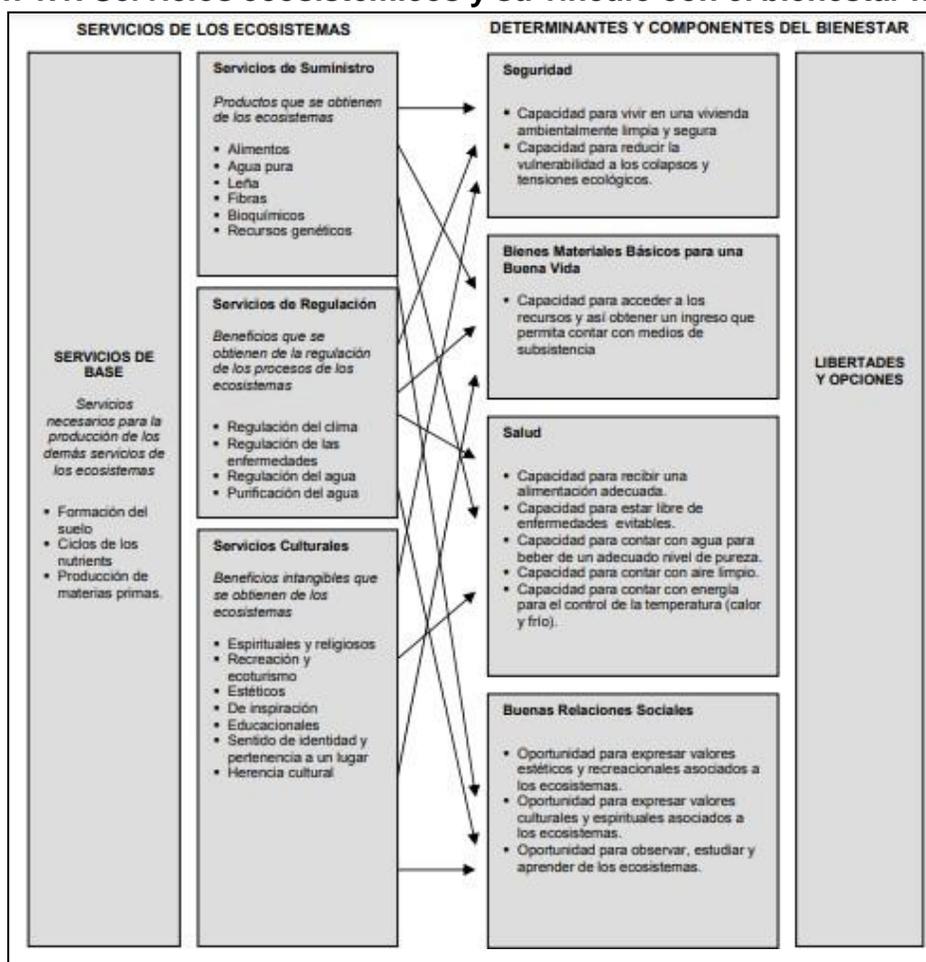
En la naturaleza las categorías de estos beneficios o servicios no se observan por separado, es decir que los elementos en la naturaleza no sólo aportan con un solo beneficio exclusivo de una categoría, sino que permiten integrar beneficios de las cuatro categorías, para comprenderlo mejor se refiere como ejemplo a un árbol, que gracias su funcionamiento genera estructuras o frutos de los el ser humano como los animales o los elementos bióticos se benefician; de la categoría de regulación aportan en procesos bioquímicos en los ecosistemas, en la categoría de hábitat fungen como refugio para múltiples seres vivos, de la categoría producción generan materias primas valiosas para la humanidad mientras que en la categoría de información aportan a múltiples aristas como la recreación, la estética, la espiritualidad y sobre todo a la parte científica-educativa.

Para el siglo XXI las aportaciones conceptuales antes presentadas por los diferentes grupos de investigadores generó en el sector gubernamental a nivel global el interés por comprender los cambios que han tenido los ecosistemas, saber lo que provocó dichos cambios, además de evaluar cómo todo esto ha repercutido en el bienestar de la población, esto llevó al grupo de Naciones Unidas a convocar científicos, grupos de la sociedad civil, pueblos indígenas entre otros expertos provenientes de diversos países a conformar cuatro grupos de trabajo (condición-tendencias, escenarios, respuestas, trabajo subglobal) bajo el nombre de grupo de evaluación de los ecosistemas del milenio o mejor conocido por su nombre en inglés millennium ecosystem assessment (MEA) con el propósito de evaluar las consecuencias de los

cambios en los ecosistemas para el bienestar humano a escala planetaria, así como proponer con bases científicas acciones necesarias para mejorar la conservación y el uso sostenible de los mismos (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Para ello en un primer intento dicho grupo definió los servicios que prestan los ecosistemas como aquellos beneficios que obtienen las personas de estos, agrupándolos como se muestra a continuación:

Imagen 1.1. Servicios ecosistémicos y su vínculo con el bienestar humano



Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, (2003).

La imagen 1.1 presenta la clasificación de los servicios ecosistémicos partiendo de tres servicios base (formación del suelo, ciclo de los nutrientes, producción de materias primas) de los cuales se derivan tres subcategorías; la primera se refiere a los servicios de suministro como alimentos, agua, leña, fibras, bioquímicos, recursos genéticos; la segunda se refiere a los servicios de regulación de clima,

enfermedades, agua; la tercera se refiere a los servicios culturales como la espiritualidad, la religión, ecoturismo, la estética, de inspiración, educacionales, sentido de identidad o pertenencia a un lugar, herencia cultural, todo lo anterior vinculándose con aspectos indispensables para el bienestar humano en materia de seguridad, insumos básicos para vivir, salud y relaciones sociales.

Posteriormente, Millennium Ecosystem Assessment, (2005) modifica el nombre de los servicios base por el nombre de los servicios de apoyo además de agregar una ponderación cualitativa al potencial de los servicios ecosistémicos de mediar en factores socioeconómicos en alto, medio y bajo, así como la intensidad de conexión de estos servicios y el bienestar humano como se presenta a continuación:

Imagen 1.2. Conexiones entre los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano



Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, (2005).

La imagen 1.2, en comparación a las clasificaciones previamente expuestas, sintetiza de mejor manera cómo las formas de vida sobre la Tierra, así como los diferentes interacciones entre sistemas, apoyan a la formación de elementos bases para la vida que proporcionan beneficios los cuales se agrupan en tres principales categorías: aprovisionamiento, regulación y culturales, además se muestra la relación con aspectos del bienestar humano en la cual aportan y la magnitud en la que lo hacen.

En adición a lo anterior, se creó un listado de servicios ecosistémicos considerando los tipos de servicios que se mostraron previamente, visto a continuación en el cuadro 1.7:

Cuadro 1.7. Listado de servicios

Tipo de servicio	Servicios
Aprovisionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Alimento • Fibra • Recursos genéticos • Productos bioquímicos, medicinas naturales, productos farmacéuticos • Agua
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> • De calidad del aire • Del clima • Del agua • De la erosión • Purificación del agua y tratamiento de aguas de desecho • De enfermedades • Pestes • Polinización • Desastres naturales
Culturales	<ul style="list-style-type: none"> • Valores espirituales y religiosos • Valores estéticos • Recreación y ecoturismo

Fuente: Elaboración propia con base en Millennium Ecosystem Assessment, (2005).

La anterior clasificación para Wallace, (2007) no era tan eficaz a la hora de ponerla en práctica en las labores de valoración de los servicios obtenidos, pues se

confundían los procesos para lograr los servicios con los productos obtenidos de estos limitando así las decisiones respecto a los recursos naturales, por esto fue que propuso una clasificación para los servicios ecosistémicos, para ello remarcó en un primer momento la diferencia así como la relación entre los ecosistemas y sus procesos como se muestra a continuación:

Esquema 1.1. Relación entre ecosistemas y sus elementos



Fuente: Elaboración propia con base en Wallace, (2007).

Como se observó en el esquema 1.1, el autor recalca que lo que se estudia de los ecosistemas en su mayoría son las nuevas estructuras o formas que se derivan de los procesos, mismos de los que se obtienen los servicios ecosistémicos, para ello propuso mejoras a la categorización del grupo de evaluación del milenio como se muestra a continuación en el cuadro 1.8:

Cuadro 1.8. Categoría de servicios ecosistémicos y ejemplos

Tipo de servicio	Servicio
Aprovisionamiento	Alimentos Fibra Recursos genéticos, bioquímicos, médicos, etcétera Ornamentales Agua fresca
Regulación	De la calidad del aire Del clima De la erosión Del agua De plagas De enfermedades Polinización
Cultural	Diversidad cultural Valores espirituales y religiosos Recreación, ecoturismo Valores estéticos Valores cognitivos o de conocimiento Valores educativos
Soporte	Formador de suelo Fotosíntesis Producción primaria Ciclo de nutrientes Ciclo del agua

Fuente: Elaboración propia con base en Wallace, (2007).

El cuadro anterior ejemplifica de mejor manera los tipos de servicios que se pueden encontrar en los ecosistemas de acuerdo al autor, así como varios ejemplos de estos mismos, sin embargo, esta recategorización fue antesala al desarrollo de una nueva propuesta de esquema de vinculación entre los aspectos humanos, los procesos de los ecosistemas y sus servicios misma que se observa a continuación.

Cuadro 1.9. Propuesta de clasificación de servicios ecosistémicos y sus vínculos con valores humanos, procesos ecosistémicos y bienes naturales

Categoría de valor humano	Servicios ecosistémicos experimentados desde el nivel humano	Ejemplos de procesos y activos que deben gestionarse para prestar servicios ecosistémicos
<p>Recursos adecuados</p> <p>Protección de depredadores, enfermedades y parásitos</p> <p>Ambiente físico y químico</p> <p>Cumplimiento socio-cultural</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comida (de la energía de organismos, estructura o de reacciones químicas) • Oxígeno • Agua potable • Energía (para cocinar o como elemento de calentamiento físico o químico) • Auxiliares de dispersión • Protección de depredadores • Protección contra enfermedades y parásitos • Temperatura (uso de fuego) • Humedad • Luz (regulación del ritmo circadiano) • Químicos <p>ACCESO A RECURSOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espirituales/psicológicos • Inclusión a un grupo social (acceso a compañeros o a ser amado) • Recreación/ocio • Ocupación significativa • Estética • Valores de oportunidad • Capacidad de evolución cultural y biológica • Conocimiento 	<p>PROCESOS DE LOS ECOSISTEMAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación biológica • Regulación del clima • Regímenes de perturbación, incluidos incendios forestales, ciclones, inundaciones • Regulación de gases • Gestión de la “belleza” a escala local y de paisaje. • Manejo de tierras para recreación • Regulación de nutrientes • Polinización • Producción de materias primas para ropa, alimentos, construcción, etc. • Producción de materias primas para energía, como leña • Producción de medicinas • Interacciones socioculturales • Formación del suelo • Suelo retención • Regulación y suministro de residuos • Procesos económicos <p>LOS PROCESOS SE GESTIONAN PARA PROPORCIONAR UNA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA PARTICULAR DE LOS ELEMENTOS DEL ECOSISTEMA. LOS ELEMENTOS PUEDEN DESCRIBIRSE COMO ACTIVOS DE RECURSOS NATURALES, POR EJEMPLO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Activos de biodiversidad • Activos de tierra (suelo/geomorfología) • Activos hídricos • Activos aéreos • Activos energéticos

Fuente: Elaboración propia con base en Wallace, (2007).

Con la propuesta mostrada en el cuadro 1.9, se comprenden de mejor manera los activos o procesos que generan los servicios, además vislumbrar con claridad a qué nivel aportan en la calidad de vida del humano.

Las anteriores clasificaciones fueron trasladadas a otros países, pero destacándose en países latinos como se verá a continuación.

Latinoamérica

En Latinoamérica se observan dos contextos en los países que integran la región, por un lado, están los que adoptaron el concepto del grupo de evaluación de ecosistemas del milenio dentro de su margen de actuación legal o gubernamental mientras que por el otro lado hubo países que desarrollaron su propio concepto o que realizaron mejoras a la clasificación antes mencionada para así establecer qué servicios consideran, sin embargo, en cualquier país de la región son mejor identificados estos como servicios ambientales.

En el caso de Argentina, Batista et al, (2019) describen que el país se ha visto influenciado políticamente por conceptos transnacionales y el caso de los servicios ambientales no es la excepción, sin embargo puntualizan los autores que hay un momento clave en la participación del país en eventos internacionales que denota la adopción del concepto de servicios ambientales, como lo fue la participación en el Convenio sobre diversidad biológica en 1992, que si bien este concepto no está escrito tal cual en el mismo , hace referencia a que los ecosistemas tienen una valía por los beneficios proporcionados, traduciéndose en servicios.

Aunado a esto, sólo hay una ley en el país que define los servicios ambientales sólo para el contexto de pago por los mismos en el ámbito forestal, siendo la ley 26.331 en donde se definen como aquellos servicios tangibles e intangibles que abonan los ecosistemas de boscosos de carácter nativo, mismos que se consideran indispensables para la supervivencia tanto natural como biológica siendo que beneficia esto a los habitantes del país (Honorable Congreso de la Nación Argentina, 2007).

En cambio el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, (2014) retoma marcos conceptuales internacionales sobre servicios ecosistémicos para entenderlos como las contribuciones de los ecosistemas tanto directas como indirectas que impactan en el bienestar de la humanidad, puntualizando que a diferencia de lo concebido internacionalmente donde se entienden servicios y beneficios como lo mismo, toma el ministerio el elemento clave de contribución y no como un beneficio perse, esto

derivado del entendimiento que los procesos e interacciones que hay en los ecosistemas contribuyen a generar un conjunto de beneficios para la sociedad.

De forma similar, en Colombia el primer precedente enfocado a servicios ambientales fue el decreto 870 por el Ministro de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2017) que se estableció el pago por estos servicios y otros incentivos de conservación, pero no definió explícitamente los servicios ambientales, pero los reconoció en los aportes intangibles culturales, así como espirituales de sistemas silvopastoriles, forestales, terrenos indígenas, reservas campesinas por mencionar algunos.

Años más tarde en la región colombiana, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2021) hizo pública la adopción del concepto del grupo de evaluación de ecosistemas del milenio sobre los servicios ecosistémicos en el programa nacional de pago por servicios ecosistémicos viéndolos como los beneficios obtenidos de la naturaleza y clasificándolos en 4 pilares: sostenimiento (actividades primarias, formación de suelos, ciclo de nutrientes), de provisión (maderas y materias primas, agua potable, alimentos), de regulación (control de plagas y enfermedades, inundaciones, erosión, clima y calidad del aire) y culturales (recreación, ecoturismo, espirituales, religiosos, valores estéticos).

En el caso de Paraguay el Congreso de la Nación emitió la Ley N° 3001 de valoración y retribución de los servicios ambientales, (2006) que da entendimiento a los servicios ambientales como aquellas derivadas de las actividades humanas en términos de manejo, conservación y recuperación de las funciones del ecosistema que benefician tanto directa como indirecta a la sociedad.

En cambio en la nación Mexicana hay diversos instrumentos tanto políticos como legales respecto a los servicios ambientales, sin embargo en esta primer etapa conceptual no se abordarán estos sino hasta la segunda etapa del presente trabajo, pero se presenta en este caso la definición que proporciona Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, (2020) mejor conocida como CONABIO sobre los servicios ambientales viéndolos como la gama de servicios gratuitos que provienen de los procesos de los ecosistemas naturales que son indispensables

para la humanidad como lo son: mantenimiento de la calidad atmosférica que repercute en el clima, control del ciclo del agua que ayuda a reducir las probabilidades de inundaciones o sequías, generación de suelos fértiles, cuidado de arrecifes, polinización de cultivos, entre muchos otros.

Como se observa anteriormente, CONABIO entiende todos estos servicios como un conjunto, a diferencia de otros países o clasificaciones en las que se separan los procesos en los ecosistemas, los beneficios, los productos, los impactos y la categoría de los mismos, cosa que el Gobierno de México & Secretaría de Educación Pública, (2022) al menos tienen presente pues entienden los servicios ambientales son beneficios resultantes del funcionamiento de los ecosistemas que aportan recursos o provisiones a la humanidad además de aportar en la regulación de los funcionamientos de los ecosistemas así como al soporte de la vida en el planeta como se observa a continuación en el cuadro 1.10:

Cuadro 1.10. Categoría de servicios ambientales en México

CATEGORÍA	EJEMPLOS
Soporte o apoyo	Formación de suelos Fotosíntesis Ciclo del agua
Regulatorios	Reducción del dióxido de carbono Purificación del agua Regulación del clima
Provisorios	Alimentos Agua dulce
Culturales	Apreciación natural Paisajismo

Fuente: Gobierno de México y Secretaría de Educación Pública (2022).

Una vez visto la evolución de los servicios ecosistémicos o ambientales, que para efecto de la investigación se toman como iguales, hay que entender otro concepto clave para el presente trabajo; los contaminantes atmosféricos, mismos que se abordan en el siguiente apartado.

1.2 Contaminantes atmosféricos y los efectos en la salud humana

Para comenzar a hablar de los impactos de los contaminantes en la atmósfera y su relación con la salud humana primero se debe tener claro qué consideramos como contaminante y contaminación.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2019) describe en términos sencillos un contaminante como toda materia, sustancia, compuesto o combinaciones de estos que al integrarse ya sea en el agua, el suelo, la atmósfera, vegetación, fauna o algún elemento del ambiente altera su composición, su debido funcionamiento o sanidad, sin embargo, este término se confunde mucho con contaminación que no es más que el cumulo de efectos no deseables en el ambiente por los contaminantes debido a su ubicación o cantidad.

Por lo anterior se logra entre ver la diversidad de contaminantes que puede haber, las amplias procedencias de estos, así como los efectos múltiples de ellos, no obstante, se consideran en esta investigación sólo los contaminantes atmosféricos.

Para entender la procedencia de este tipo de contaminantes Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2018) los analiza por su fuente de la siguiente manera en el cuadro:

Cuadro 1.11. Fuente de contaminantes atmosféricos

Tipo de fuente	Definición	Ejemplo
Puntuales	Son aquellas que no tienen movilidad y están en un punto fijo.	Fábricas, plantas de energía, refinerías de petróleo.
Móviles	Provenientes de todas las formas de transporte.	Automóviles, autobuses, motocicletas.
De área	Actividades que afectan conjuntamente la calidad del aire.	Actividades agrícolas, tintorerías.
Naturales o biogénicas	Producto de los procesos naturales.	Emisión de volcanes o erosión de suelo.

Fuente: Elaboración propia con base en Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018).

El cuadro 1.11 explica el proceder en este caso las fuentes de donde provienen los contaminantes atmosféricos siendo de cuatro tipos, puntuales también reconocidas como aquellas fijas, móviles como aquellas de fuentes que se desplazan como automóviles, transporte público etcétera, de área siendo provenientes de alguna actividad económica como agrícola y naturales proviniendo de cualquier entorno natural, ecosistémicos o biológico.

En el siguiente cuadro se muestran los contaminantes de acuerdo a su origen:

Cuadro 1.12. Contaminantes de origen

Tipo de origen	Definición	Ejemplo
Primarios	Se encuentran en las fuentes que emiten este tipo de contaminantes	Como plomo, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y material particulado.
Secundarios	Resultado de la combinación de uno o más contaminantes primarios por reacción de ellos.	Ozonos, sulfatos, nitratos

Fuente: Elaboración propia con base en la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2018).

Del cuadro 1.12 se comprende que el origen de los contaminantes tiene dos tipos de origen: primario que se refiere a que viene de alguna fuente puntual mostrados anteriormente o bien secundario siendo el producto de la mezcla de contaminantes de dos o más fuentes.

Como se mencionó inicialmente, los contaminantes dependiendo de su ubicación o cantidad pueden afectar negativamente la salud humana, en caso específico de los contaminantes atmosféricos la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, (2017) reconoce ciertos contaminantes que tienen un límite permitido con el fin de proteger sus efectos en la salud, a estos se les conoce como contaminantes criterio los cuales son el ozono, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, partículas en suspensión de tamaño (PM_{2.5}, PM₁₀), plomo, dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles.

La exposición a los contaminantes criterio antes referidos, genera efectos adversos en la salud humana; estos han sido reconocidos por la Organización Mundial de la Salud, (2023) como se observa a continuación en el siguiente cuadro 1.13:

Cuadro 1.13. Impactos de los contaminantes en la salud humana

Contaminante	Impacto en la salud humana	Origen
PM 2.5 y 10	Por su tamaño se infiltran en el torrente sanguíneo causando un desbalance cardiovascular con cardiopatías isquémicas, accidentes cerebrovasculares, dificultades respiratorias y a largo plazo puede provocar el desarrollo de cáncer de pulmón.	Estas partículas pueden provenir de forma natural como el polen, rocío marino o polvo resultado de la erosión. También provienen de procesos urbanos y antrópicos como por procesos de combustión, generación de energía, industriales, o de reacciones químicas como las presentes en el hogar por calentadores, estufas, etcétera.
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	Afectación e irritación respiratoria, estrechamente relacionado en la aparición del asma además de agravar complicaciones respiratorias y ser el precursor del contaminante ozono.	Proviene tanto de procesos industriales como domésticos derivados de la combustión presentes en la calefacción, transporte, industria y generación de energía.
Ozono (O₃)	La exposición excesiva puede causar problemas respiratorios, desencadenar asma, reducir la capacidad pulmonar, o provocar enfermedades de tipo respiratorio.	Se forma del producto de reacciones químicas de otros contaminantes provenientes de equipos domésticos como purificadores de aire portátiles.
Monóxido de carbono	Dificulta el traslado de oxígeno en el cuerpo afectando tejidos y células. Puede causar dificultades para respirar, agotamiento, mareos, así como generar síntomas parecidos a la gripe además de	Derivados de la combustión incompleta de combustibles con estructura basada en carbón como la madera, gasolina, de dispositivos como chimeneas, hornos, pero principalmente de vehículos motorizados.

	que en niveles excesivos puede causar la muerte.	
Dióxidos de azufre	Se relaciona a los ingresos hospitalarios por asma o ingresos a la sección de emergencia.	Proveniente de procesos de combustión en el hogar, en las industrias o al generar energía.

Fuente: Elaboración propia con base en Organización Mundial de la salud, (2023).

Por otra parte, otro tipo de contaminación son los compuestos orgánicos volátiles los cuales describe la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, (2023) como aquellos gases provenientes tanto de líquidos como sólidos que corto o largo plazo puede tener efectos adversos en la salud como se muestra a continuación.

Cuadro 1.14. Compuestos orgánicos volátiles

Fuentes	Efectos en la salud	Recomendaciones para reducir exposición
<p>Domésticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pesticidas • Lavado en seco • Combustibles y productos automovilísticos • Limpiadores o desinfectantes • Aerosoles • Conservantes de madera <p>Otros productos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiales de construcción inmobiliaria • Equipos de oficina como copadoras • Materiales gráficos de artesanía, pegamento, adhesivos, rotuladores permanentes. 	<p>Corto plazo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Irritación conjuntival • Molestia en nariz o garganta • Dolor de cabeza • Reacción alérgica cutánea • Disnea (falta de aire) • Nausea • Emesis (vómito) • Epistaxis (sangrado por vía nasal) • Fatiga • Mareos <p>Largo plazo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Daños en el hígado, riñones o sistema nervioso central • Causa de cáncer en animales y posibilidad en humanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplir indicaciones de etiqueta en productos • Aumentar ventilación • Desecho seguro de envases

Fuente: Elaboración propia con base en Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, (2023).

Del cuadro 1.14 se comprende que los compuestos orgánicos volátiles provienen de dos principales fuentes: domésticas por el uso de productos o artefactos ocupados en el hogar así como de otros productos fuera de este entorno como los

ocupados en la construcción, oficinas o como materiales para uso gráfico; estos a su vez generan impactos tanto a corto como a largo plazo en la salud humana provocando desde dolores de cabeza leves, vómito hasta ocasionar daños mayores en riñones, sistema nervioso además de ser otra causa de cáncer.

Sin embargo, las anteriores fuentes de compuestos orgánicos volátiles no son exclusivas de productos varios, en el ambiente también se emiten este tipo de compuestos por elementos naturales como los árboles como se mostrará en breve en el siguiente apartado.

1.3 Perjuicios y servicios ecosistémicos de los arboles

Como se mencionó anteriormente los elementos naturales también pueden tener un impacto negativo en su ambiente, al respecto de los árboles, refiere Nowak, (2002) que la emisión de compuestos orgánicos volátiles puede contribuir a la formación de ozono, así como monóxido de carbono, sin embargo, la tasa de emisión varía dependiendo de la especie.

Específicamente destaca Sabillón, (2002) de estos compuestos los monoterpenos ($C_{10}H_x$) e isoprenos (C_5H_8) que por su unidad múltiple de carbonos se configuran de múltiples formas en conjunto con otros compuestos en la atmósfera como se refirió anteriormente en la formación de ozono; el cual es el principal componente agravante de la entrada y salida de radiación en la tierra afectando el efecto invernadero natural e incrementando la temperatura, tema que es de suma atención a nivel global.

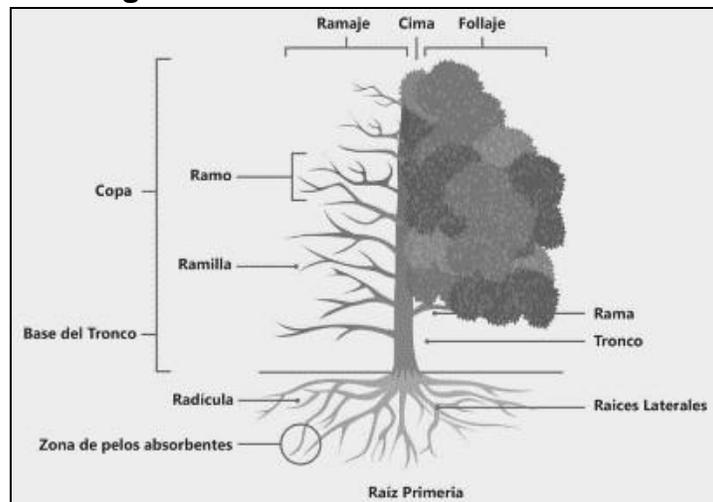
Adicionalmente, Cantua et al, (2019) abona que los árboles generan estos componentes de manera natural como producto de sus funciones, en específico al reaccionar en defensa contra amenazas como insectos, bacterias u hongos, aunque también ayuda en la promoción de la reproducción, atraer polinizadores o dispersar semillas.

Por otro lado, se han constatado más los beneficios que se obtienen del óptimo funcionamiento de los árboles en el ambiente, por lo que para ilustrar el

funcionamiento de los árboles es pertinente presentar en primera instancia la estructura de un árbol.

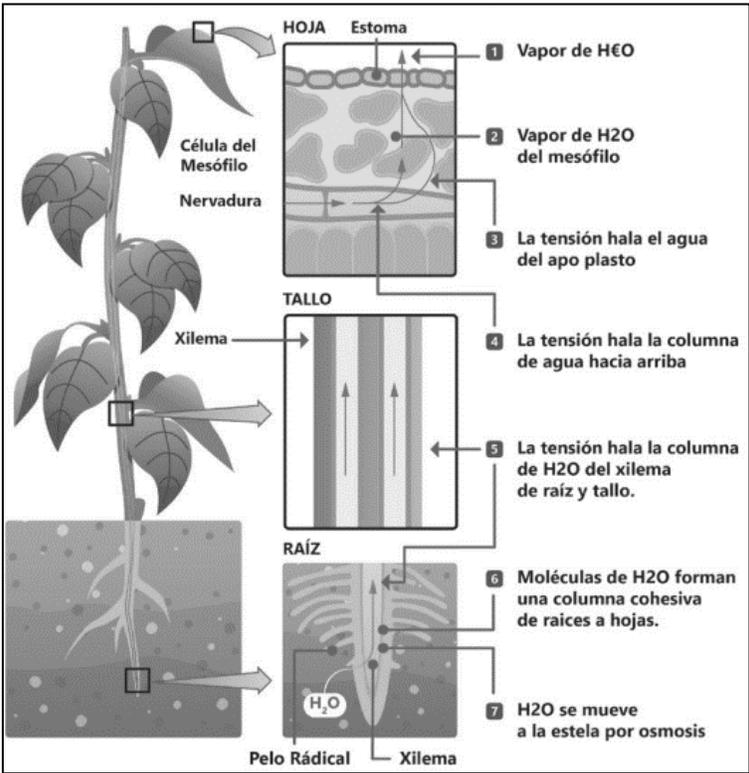
Sobre esto Nutsch, (1996) refiere que hay tres componentes estructurales principales: las raíces, tronco, así como la copa, el primer elemento arraiga el árbol al suelo con sus raíces principales y secundarias las cuales toman el agua del suelo, sales además de nutrientes para hacer crecer al individuo, el segundo elemento también conocido como fuste se encarga de ascender el agua, los nutrientes o productos sintetizados a la copa así como espacios celulares que lo requieran, en tanto el último elemento consta de la copa conformada por ramas además de las ramificaciones derivadas de ellas donde se conecta con hojas, flores y frutos, para ilustrarlo se presenta la imagen 1.3 y 1.4.

Imagen 1.3. Estructura externa del árbol



Fuente: (H. Ayuntamiento de Colima et al, 2019).

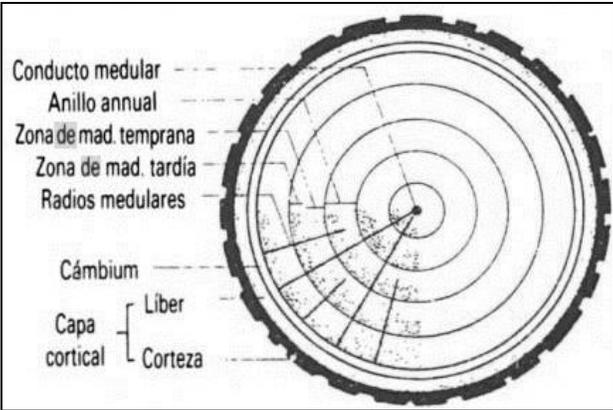
Imagen 1.4. Transporte de nutrientes en plantas arbóreas jóvenes



Fuente: (H. Ayuntamiento de Colima et al, (2019).

Conforme va creciendo el árbol, la estructura intracelular del tronco va generando capas de madera y en su exterior genera la parte más dura llamada corteza como se muestra en la imagen 1.5.

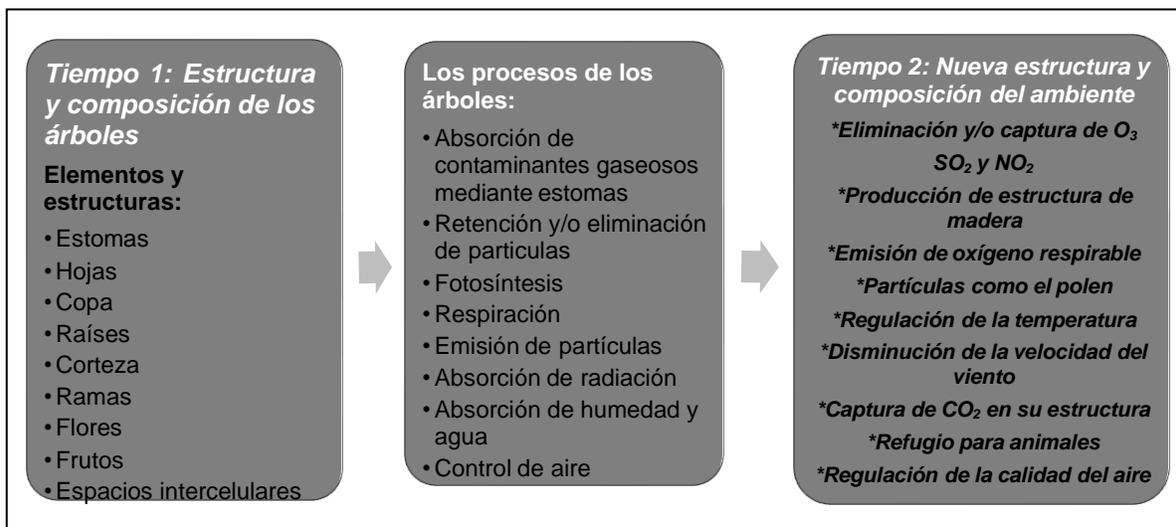
Imagen 1.5. Estructura interna del árbol



Fuente: (Nutsch, 1996).

Diversos autores han constatado como los procesos que se llevan a cabo dentro y fuera de las estructuras del árbol tienen influencia en el ambiente de manera positiva dando como resultado beneficios considerados como servicios ecosistémicos, para ilustrar esto se presentan a continuación en el esquema 1.2 los procesos de acuerdo con la categorización de Wallace, (2007):

Esquema 1.2. Estructura, elementos y procesos de los árboles



Fuente: Elaboración propia con base en Aguaron & McPherson, (2012a), Nowak et al, (2014b), Nowak, (2020), Nowak et al, (2000a) y Wallace, (2007).

En el anterior esquema propuesto por el autor, se destacan los procesos y elementos benéficos del árbol como regulación de clima o de gases, polinización, producción de materias primas, retención del suelo, belleza del paisaje, interacciones socioculturales, lo anterior reconociendo a los árboles entonces como activos en materia hídrica, biodiversidad, de tierra y aéreos.

De estos se obtienen servicios ecosistémicos; en materia de recursos los servicios de comida, oxígeno, elementos para generar energía, adicionalmente en la categoría de ambiente físico-químico destacan los servicios de temperatura, humedad, en químicos la asimilación o captura de contaminantes, finalmente en la categoría sociocultural se encuentran los espirituales-psicológicos, recreación-ocio, estética, evolución cultural-biológica además de conocimiento.

No obstante, para la presente investigación se destaca de la categoría de regulación sobre la calidad del aire, el servicio ecosistémico de captura de contaminantes de acuerdo a la clasificación de Wallace (2007), una vez entendido este servicio en el siguiente apartado se profundiza en las formas en las que se ha cuantificado este.

1.4 Cuantificación de servicios ecosistémicos proporcionados por los arboles

En el presente apartado se recorrerá la historia del estudio y cuantificación de los servicios ecosistémicos de los árboles en diversas partes del mundo hasta el desarrollo y uso del software i -Tree ECO para tal fin.

Internacional

A finales del siglo XX se logra constatar en diversas investigaciones los primeros intentos por cuantificar los efectos de los árboles en la calidad atmosférica de diferentes ciudades mediante modelos informáticos.

En 1990, Cardelino & Chameides, (1990) mediante el uso del software modelador isopletras de ozono con mecanismos opcionales por sus siglas en inglés OZIPM4, analizaron las concentraciones de ozono en la atmósfera en el área metropolitana de Atlanta, además de incluir el estudio de emisiones de compuestos orgánicos volátiles y temperatura del aire, siendo que los tres componentes se vieron modificados en este caso tras la pérdida del 20% del bosque de la zona, entiendo entonces que la ausencia de arbolado afecta de igual manera la calidad del aire.

Posteriormente, Taha, (1996) mediante modelo de mediana escala y cuenca atmosférica documentó los efectos netos de la vegetación en la Costa Sur de California, encontrando que dependiendo de la especie de árbol se constataron efectos benéficos como la disminución de contaminación de ozono por parte de algunos mientras que otros generaron emisiones perjudiciales de hidrocarburos.

En Sacramento, California Mcpherson, (1998) estimó los beneficios en términos de calidad del aire por parte de los árboles plantados derivados de un programa municipal.

De forma similar en el mismo año Beckett et al, (1998) enfocaron la investigación en documentar la mejora de la calidad del aire en Reino Unido por parte de los árboles, específicamente en la reducción del material particulado de tamaño 10 micrómetros y sus efectos en la salud humana.

Para finales del siglo en Idaho, Nowak & Crane, (1998b) presentaron una importante innovación en la cuantificación de los beneficios derivados de la estructura, funcionamiento y salud de los árboles en Estados Unidos con la presentación de un nuevo software llamado Efectos del Bosque Urbano por su nombre en inglés The Urban Forest Effects (UFORE), precursor del ahora conocido I-Tree ECO, que operaba con información meteorológica, de vegetación además de concentración de contaminantes provenientes de estaciones de monitoreo en el país, estos datos permitían derivar las funciones del programa en 4 módulos: UFORE-A (anatomía del bosque urbano), UFORE-B (emisiones de compuesto orgánico volátil biogénico), UFORE -C (almacenamiento y secuestro de carbono), UFORE -D (deposición seca de contaminación atmosférica).

Lo anterior dio inicio al siglo XXI con el creciente estudio de efectos acumulativos del aumento de la cobertura de árboles como lo documentaron Nowak et al, (2000b) quienes analizaron datos meteorológicos, emisiones, calidad del aire, emisiones biogénicas de compuestos orgánicos equivalentes en la región noreste de los Estados Unidos a través de la aplicación del software OZIPM4 arrojando la disminución de las concentraciones de ozono por hora, sin embargo la concentraciones de ozono aumentaron por la noche mientras que en términos generales las concentraciones promedio de 8 horas redujeron.

Para la segunda década del siglo, se introduce I-Tree como una versión más completa que UFORE, adicionando a las estimaciones antes mencionadas la valuación monetaria de los servicios proporcionados por los árboles a las ciudades Jayasooriya et al, (2017).

Lo anterior se observa con la investigación de Baró et al, (2014a) en el municipio de Barcelona, España, se empleó el modelo I-Tree Eco para determinar en términos

biofísicos y monetarios los servicios ecosistémicos de purificación del aire así como la regulación del clima de los árboles en la zona resultando que contribuyó a la purificación de 9.3 gm^{-2} por año, eliminando material particulado de 10 micrómetros de 5.1 gm^{-2} mientras que la tasa de eliminación de dióxidos de nitrógeno fue menor al 1%.

De forma similar Kiss et al, (2015) en la ciudad de Szeged, Hungría, mediante un conjunto de datos de inventario procesados en I-Tree ECO, calcularon los servicios ecosistémicos (secuestro de carbono, regulación del clima, eliminación de contaminantes) de los árboles en la región resultando que el promedio de remoción estaba en un rango de 200 a 400 g/yr, en tanto los valores más altos de remoción fueron de ozono atmosférico O_3 (600.000 g/año en total) y PM_{10} (400.000 g/año).

El uso de este software logró el desarrollo de valoraciones a escalas cada vez más grandes, claro ejemplo de esto fue el trabajo hecho en Londres por Rogers et al, (2015) donde se buscó valorar mediante I-Tree ECO los árboles en la ciudad de Londres que conforman el bosque urbano, obteniendo que por año remueven 32 toneladas de monóxido de carbono, 698 de dióxido de nitrógeno, 997 de ozono, 299 de PM_{10} , 153 de $\text{PM}_{2.5}$ y 62 de dióxidos de sulfuro.

De forma parecida, la investigación de Nowak et al, (2016) buscó evaluar las poblaciones de árboles en la ciudad de Syracuse, Nueva York en tres periodos de tiempo (1999,2001, 2009) para conocer cómo ha cambiado la población, estructura, así como los servicios ecosistémicos (secuestro de carbono; eliminación de contaminación atmosférica) en la región mediante el uso de i-Tree ECO obteniendo que los árboles almacenaron 165 900 toneladas métricas de carbono además, se observó una caída en esta función de remoción de contaminantes del periodo de 1999 a 2009 pasando de 169.3 toneladas anuales a 101.

En tanto, Riley et al, (2018) en Cleveland, Ohio mencionan que el uso del software I- Tree ECO fue empleado de modo singular para evaluar los servicios ecosistémicos proporcionados por los árboles, pero no aquellos que conforman el bosque urbano sino los encontrados en lotes baldíos en el centro de la ciudad,

mismos que proporcionaron mayor cantidad de servicios como almacenamiento de carbono, producción de oxígeno, remoción de contaminantes que en zonas suburbanas y lotes residenciales.

De forma similar, la investigación de Amini et al, (2019) en Irán, buscó evaluar los árboles dentro de la ciudad de Tabriz, Irán para determinar de manera cuantitativa su contribución a la disminución del cambio climático mediante los servicios ecosistémicos de captura de carbono así como remoción de contaminantes mediante i-Tree ECO, donde la estimación arrojó que en la ciudad los árboles eliminaron 238 toneladas de contaminación atmosférica sin embargo contribuyeron también de manera negativa a la calidad del aire.

Para la tercera década del presente siglo se empleó el software I-Tree ECO para planear de manera estratégica las especies de árboles que se plantarían de igual forma en Tabriz, de acuerdo con su potencial en la provisión de beneficios ecosistémicos Amini et al, (2020).

De modo similar, Berland, (2020) en la ciudad de Cincinnati, Ohio en los Estados Unidos se compararon tres modelos de crecimiento utilizando diámetro a la altura del pecho (DAP) en primer lugar seguido de la metodología McPherson y finalmente i-Tree ECO para analizar la estructura que tendrán los árboles en la ciudad además de cuantificar sus futuros servicios ecosistémicos.

Más recientemente Koricho et al, (2021) en la ciudad de Adama, Etiopía se evaluaron los servicios ecosistémicos de eliminación de la contaminación del aire, almacenamiento y secuestro de carbono trayendo como resultado la eliminación de alrededor de 188 mil toneladas de contaminantes atmosféricos causados por O₃, CO, NO₂, PM_{2.5} y SO₂ anuales.

Latinoamérica

En América Latina integrar esta clase de modelos para cuantificar los servicios ecosistémicos de los árboles no fue tarea fácil como lo explica Soto, (2010) pues en

ese entonces no se tropicalizaba la metodología para su aplicación en regiones fuera de Estados Unidos.

Sin embargo, Argoty & Meza, (2014) encabezaron los esfuerzos en Latinoamérica para aplicar la herramienta en el estudio de los árboles presentes en tres sitios piloto del Valle de Aburrá, Colombia, específicamente 129 individuos de los cuales se evaluaron los servicios ecosistémicos de remoción de contaminantes, captura de carbono además de la valoración económica, resultando que almacenaban 268 mil 61 toneladas de biomasa, removieron 0.009 kilogramos de contaminantes como CO,NO₂,O₃,PM₁₀ y PM_{2.5} significando económicamente 490 165 800 pesos colombianos.

De forma similar Gallo, (2017) en el municipio de Carmen del Bolívar, Colombia evaluó mediante I- Tree ECO el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono de mil 752 árboles en la región de 29 familias distintas, destacando a Ceiba petandra por su biomasa de 21 mil 393 toneladas por hectárea.

En un sentido comparable Barra, (2019) utilizó I-Tree ECO para analizar específicamente el servicio ecosistémico de remoción de contaminantes al interior del Parque Ecuador perteneciente a la ciudad de Concepción en Santiago de Chile, obteniendo que la especie Tilia americana eliminaba en mayor medida 0.5 kilogramos de material particulado respirable 2.5, en tanto la eliminación total de dióxido de carbono equiparable fue de 350.3 toneladas métricas anual.

Posteriormente en el Parque los Fundadores en Bogotá, Colombia, Quinceno et al, (2016) estimaron el potencial de fijación de CO₂ y producción de oxígeno en 723 árboles con ayuda de I-Tree ECO en un periodo de estudio de 10 años obteniendo que almacenó 349. 2 toneladas mientras que produjo 479.7 toneladas de ozono.

Para la segunda década del siglo XXI Ortíz, (2020) estudió los servicios ecosistémicos de 41 mil 426 árboles pertenecientes al municipio de Santo Domingo en Turrialba en Costa Rica resultando con una remoción de 8.1 toneladas métricas por año, 13 mil 131.2 toneladas métricas almacenadas de carbono, un secuestro de

585.3 toneladas, producción de mil 374.8 toneladas de oxígeno anuales y una reducción de escorrentía de 3 mil 017.5 metros cúbicos de agua por año.

Más recientemente Aguilar et al, (2022) en la ciudad de San Salvador, en El Salvador, estudiaron 301 árboles pertenecientes a las aceras del lugar mediante el software I-Tree ECO estimando que capturaron 6 mil 495 toneladas de carbono con un valor de 1 046.37 dólares, mientras que la producción de oxígeno fue de 17.32 toneladas.

México

Las consecuencias ambientales de la expansión urbana en México se han observado comúnmente como una fragmentación del territorio, cambio o pérdida de elementos naturales circunscritos en éste, por ello el estudio de los árboles en este contexto como indica Zamudio, (2001) se vio motivado desde finales del siglo XX para conocer el estado en el que estaban los árboles así como para constatar los beneficios que aportaban no solo a las áreas rurales, sino más específicamente a las ciudades más urbanizadas en el país que presentan más problemas territoriales y ambientales.

Ejemplo de lo antes mencionado, Krishnamurthy et al, (1998) presentaron un trabajo transdisciplinario en el estudio de los árboles en las ciudades de México y el resto de Latinoamérica en donde invitan que se realicen más labores de inventario en la región para constatar los diversos beneficios.

En aquel entonces diversos colaboradores en el país realizaron numerosos estudios sobre los árboles o el arbolado en diversas áreas en el país, cada uno con diversas metodologías así como herramientas pero no fue hasta el trabajo de Escobedo & Chacalo, (2008) que se aplicó en México un software reconocido a nivel internacional como lo fue en sus inicios UFORE para estimar la descontaminación del arbolado en la Ciudad de México que abarcaba en ese entonces el 23% de la superficie del territorio con área estimando una descontaminación promedio de material

particulado (10 micrómetros) de 5.6 toneladas mientras que de ozono atmosférico (O₃) fue de 4.8 toneladas.

La posterior mejora y adaptación de I-Tree a México permitió aumentar el uso de este software en la cuantificación de los servicios provistos por los árboles en el país, (Programa Internacional del servicio forestal de los Estados Unidos de América, 2018).

Ejemplo de lo anterior fue la utilización de I -Tree ECO en el inventario de arbolado en Ciudad Progreso en el Estado de Puebla para determinar la estructura además, estimar los servicios ecosistémicos de los 6 mil 928 árboles pertenecientes a 11 vialidades analizadas por el Instituto Municipal de Planeación Puebla & Gobierno Municipal de Puebla, (2018) donde se identificaron 54 especies diferentes que cubrían un área de follaje (área foliar) de 217 metros cuadrados por árbol, teniendo un secuestro anual de carbono de 19. 5 toneladas, removiendo anualmente 2 mil 248 kilogramos de contaminantes siendo en mayor medida ozono con 1 003 seguido de dióxido de azufre con 523, después 488 de dióxido de nitrógeno, 215 de monóxido de carbono y 18 de material particulado de 2.5 micrómetros.

De forma similar el Ayuntamiento de Mérida, (2018) aplicó I-Tree ECO en su inventario de 2 millones 318 mil árboles en el municipio para estimar la estructura, composición y servicios ecosistémicos de los mismos, obteniendo que hay 134 especies de árboles, gran parte de las especies tienen condición cercana a la muerte, en tanto estructuralmente los árboles en la región almacenaban 182 mil 100 toneladas de carbono secuestraban 16 mil 637 toneladas de carbono.

Paralelamente, López et al, (2018) estimó la cantidad de biomasa y el carbono aéreo que se depositaba en 14 mil 223 árboles pertenecientes a la primera sección del bosque de Chapultepec en la Ciudad de México, resultando en un almacén de carbono de 22.64 mega gramos por hectárea de dióxido de carbono mientras que el depósito de 30.7 mega gramos de CO₂ equivalente.

En el mismo sentido Martínez et al, (2021) realizó un censo de 391 árboles en Texcoco de Mora, Estado de México para conocer la estructura, diversidad también, los servicios ecosistémicos encontrando que estructuralmente almacenan 2.885 mega gramos de carbono por hectárea, en cuanto a la diversidad calculada mediante el índice de Simpson y de Shannon-Wiener la diversidad de los árboles fue alta, mientras que ecosistémicamente remueve 0.006 mega gramos de contaminantes al año además reducir la escorrentía de 10.79 metros cúbicos de agua de lluvia anualmente.

El H. Ayuntamiento de Colima et al, (2019) en su plan de arbolado urbano analizaron 5 mil 307 árboles distribuidos en 164 espacios que se muestrearon de los cuales se encontró que pertenecían a 220 especies diferentes, su diámetro más frecuente estaba en el rango de 16- 47.7 centímetros, en cuanto a la condición, el 54% se encontraban con una salud excelente, mientras que ecosistémicamente almacenaron 14 mil 836 toneladas de carbono, secuestraron 781.53 toneladas de carbono, las especies que generaron más oxígeno fueron el hule, camichín y la parota, por último se encontró que eliminaron 6.76 toneladas de contaminantes atmosféricos como ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre además, material particulado de 2.5 micrómetros.

Posteriormente, debido a la emergencia sanitaria por covid-19 la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México a través de la Coordinación General de Conservación Ecológica, (2021) dio a conocer de forma remota los datos resultantes derivados del inventario de los árboles procesado mediante I-Tree ECO en el área natural protegida Parque Metropolitano Bicentenario en Toluca, Estado de México, dando como resultado que los 3 mil 022 árboles en el parque, en su mayoría pertenecientes a la especie conocida por su nombre común cedro blanco, los cuales almacenaron 878 toneladas de carbono mientras que removieron 120 kilogramos de contaminantes atmosféricos.

Derivado de lo anterior la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México nuevamente mediante la labor de la Coordinación General de la Conservación

Ecológica, (2022) dio a conocer en una conferencia de prensa los datos del inventario de los árboles pertenecientes al área natural protegida Parque Ambiental Bicentenario en Metepec, Estado de México, así como sus servicios ecosistémicos calculados mediante I-Tree ECO, contabilizando en el área natural protegida 11 mil 246 árboles de 38 especies, los cuales almacenaron 3 mil 583 toneladas de carbono anuales y removieron 6 toneladas de contaminantes atmosféricos por mencionar algunos servicios proporcionados.

Como se puede observar dentro de estas áreas naturales protegidas se proveen servicios ecosistémicos, por lo cual resulta fundamental entender con más precisión el papel de estas áreas, así como las funciones que tienen, para esto en el siguiente apartado se abordan estas áreas para esclarecer su razón de ser.

1.5 Áreas naturales protegidas

En el presente apartado se expondrá la concepción que se tiene sobre las áreas naturales protegidas a nivel internacional, nacional y estatal, para saber cómo se definen estas áreas en distintos niveles analizando también cómo se traslada esto a la zona de estudio parque metropolitano bicentenario.

Internacional

A nivel internacional diversos organismos han aportado en la definición de las áreas naturales protegidas como es el caso de la ONU, (1992) que entiende un área protegida como “aquella área definida geográficamente que haya sido designada o regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos en materia de conservación” (p.5).

Así mismo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza define un área protegida de la siguiente manera: “una superficie de tierra y/o mar especialmente consagrada a la protección, y mantenimiento de la diversidad biológica, así como de los recursos naturales, recursos culturales asociados, que es además manejada a través de medios jurídicos u otros medios eficaces” (CMAP & UICN, 1996,p10).

En cambio, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura las denomina como “áreas especialmente protegidas a aquellos ecosistemas únicos hábitats críticos para especies amenazadas, y áreas con importancia económica y social para poblaciones locales” (UNESCO, 2004,p38).

Nacional

De forma similar diversos organismos en México conciben las ANP, tal es el caso de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente que concibe un área natural protegida como “aquella porción terrestre o acuática del territorio nacional, representativa de los diferentes ecosistemas, así como de su biodiversidad, en donde el ambiente original no ha sido todo alterado por el hombre o que requiere ser preservada o restaurada y que está sujeta a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo” (PROFEPA, 2021,sp).

De igual forma, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas concibe las ANP en “porciones terrestres o acuáticas del territorio mexicano que son representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y que producen beneficios ecológicos cada vez más reconocidos y valorados” (CONANP, 2016,sp).

Por otra parte, dentro de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente se conciben las ANP como “zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas” (SEMARNAT, 2015,p2).

Estatal

En cambio, en el Código para la Biodiversidad del Estado de México se perciben las ANP como “zonas del territorio del Estado de México respecto de las cuales ejerza su jurisdicción y en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad humana y que requieran ser restaurados o preservados para salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, lograr el aprovechamiento racional de los elementos y recursos naturales mejorando la

calidad del ambiente en los centros de población y sus alrededores” (p11), quedando entonces sujetas a cualquiera de los regímenes de protección previstos por el Gobierno del Estado de México, (2005).

Mientras que la Comisión Estatal de Parque Naturales y de la Fauna concibe de manera reciente estas ANP como “aquellos lugares que preservan los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas en la entidad, así como los ecosistemas frágiles, para asegurar el equilibrio además de la continuidad de los procesos ecológicos, evolutivos, la conservación, el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad y de los servicios ambientales” (CEPANAF & SMA, 2021,sp).

Derivado de las definiciones antes expuestas se presenta a continuación lo que se considera para la investigación un área natural protegida estatal siendo esta entendida como aquel espacio dentro del estado destinado a conservación, preservación o restauración para salvaguardar sus elementos o estructuras naturales, así como los beneficios y/o servicios ambientales que provean tanto a la humanidad como al entorno natural donde se desarrollan.

Por lo anterior, se entiende entonces al Parque Metropolitano Bicentenario como un área natural protegida estatal la cual elementos biofísicos así como proporciona servicios-beneficios ambientales dentro de la entidad pero más puntualmente en la ciudad de Toluca como se verá en el capítulo tercero.

De los apartados antes expuestos se rescata que cada concepto clave abordado ha sido resultado del estudio ambiental, sobre todo desde la óptica de las ciencias ambientales, por lo que para entender el papel que ha tenido este campo, en el siguiente apartado se da a conocer con más detalle en qué consiste este y su relación con la investigación.

1.6 Servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles y su relación con las ciencias ambientales

En la presente sección se aborda conceptualmente el término ciencias ambientales, además de ver cómo se liga al estudio de los servicios ecosistémicos de los árboles.

Se parte por comprender que definir a las ciencias ambientales resulta de gran complejidad puesto que el término lo integran dos conceptos bastante discutidos como lo son ciencia y ambiente, si bien responder a las interrogantes de qué es ciencia o qué es ambiente no basta para comprender que son las ciencias ambientales pero puede servir para tener una noción de lo que estudian y cómo es que las áreas naturales protegidas y los elementos presentes en ellas como los árboles son un objeto de estudio pertinente para las mismas.

Pese a existir numerables conceptos de ciencia, Saavedra, (2014) tiene una concepción bastante simplificada de lo que es pues la describe como un modo de conocimiento que aspira a describir fenómenos con el propósito de conocerlos experimentarlos comprobarlos y, en medida de lo posible, predecirlos estadísticamente o en el mejor de los casos de manera completa, sin embargo, la comprobación así como la precisión van a variar dependiendo de los métodos empleados en cada tipo de ciencia o cada parte de estas mismas, es decir las metodologías no serán las mismas para el campo de la matemática como para la biología o la química pero que entre disciplinas comparten caracteres comunes que permiten su agrupación en grupos similares como ciencias naturales, ciencias humanas incluso ciencias del espíritu.

En cambio, el concepto de ambiente tiene un debate epistémico fuerte como lo menciona Morales, (2016) puesto que lo que se defina como ambiente impacta en lo que se integra o deja fuera en praxis de las ciencias ambientales, acerca de estas el autor distingue que no se ciñe únicamente en ciencias sociales o naturales más bien es la intersección de aspectos antrópicos y naturales.

De manera similar, Saavedra (2014) concibe las ciencias ambientales como un conjunto de disciplinas filosóficas-morales, naturales, y humanas que buscan estudiar las relaciones del humano consigo mismo, con la naturaleza, con su entorno, con la vida de una manera multidisciplinar integrando las múltiples metodologías.

En cambio Morales, (2017) lo describe como el campo donde convergen un cúmulo de conocimientos, así como metodologías provenientes de numerosas disciplinas

que se conjuntan para comprender la dinámica humana con la naturaleza y su mutua reciprocidad.

Por esto el estudio del servicio ecosistémico de captura de contaminantes por parte de los árboles aporta a las ciencias ambientales ya que implica el que el ser humano reconozca el impacto que tienen los árboles no sólo a escala ambiental, regional o global sino como aporta para su vida, bienestar o calidad de vida, pero haciendo que el reconocimiento sea más tangible y medible.

Una vez entendidas las ciencias ambientales, se traslada su papel transdisciplinario para efectos de la presente investigación dado que para la realización de la misma se vieron agrupados conocimientos de diversas disciplinas tales como ecología, estadística, cartografía, biología, climatología por mencionar algunas para estudiar en este caso el impacto del servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles en la atmósfera de la ciudad de Toluca así como en la salud de la población.

Epílogo

Como se observó a lo largo de este apartado los servicios proporcionados por la naturaleza dependiendo de la región son conocidos de dos formas; ecosistémicos o ambientales, por lo que para efectos del presente trabajo se toman como sinónimos.

Se observó también que hay una diversidad de clasificaciones, sin embargo, se encuentran similitudes en la forma de concebir estos servicios ambientales pues se parte de la idea central que para el pleno desarrollo de la humanidad se requieren insumos o elementos tangibles e intangibles que mediante el funcionamiento de los ecosistemas abonan a distintas áreas del bienestar humano.

Por último, se destaca de entre todas las clasificaciones internacionales la propuesta por Wallace, (2007) que se ocupará para analizar los servicios ecosistémicos de los árboles en los siguientes apartados.

También se reconocen los esfuerzos en Latinoamérica para introducir el concepto de servicios ecosistémicos o ambientales según sea la región, en la gran mayoría

se observa una influencia de la clasificación del grupo de evaluación de ecosistemas del milenio y en caso de México no fue la excepción, donde se consideran estos por categorías.

Por otra parte, se destaca que en el ambiente hay distintos tipos de contaminantes que a su vez generan la contaminación, además que se categorizan ya sea por su tipo, origen, magnitud etcétera, sin embargo, para efectos de la presente investigación consideran los siguientes contaminantes criterio: ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, partículas en suspensión de tamaño (PM_{2.5}, PM₁₀).

Los anteriores provienen de distintas fuentes, derivados de muchas actividades y también pueden surgir de procesos naturales o funcionamiento de elementos como los árboles, sin embargo, sea cual sea la fuente la suma de estos contaminantes en el aire genera diversos efectos directos principalmente en la salud cardiorrespiratoria de los seres humanos ya sea a corto o largo plazo culminando incluso en la muerte.

No obstante, se observa que los árboles proveen más beneficios que perjuicios como la regulación del clima o gases contaminantes, polinización, belleza del paisaje entre otros; debido no solo a la naturaleza de sus partes internas o externas como las hojas, el tallo, raíz, membranas, etcétera sino al funcionamiento que tiene el árbol en sí mismo otorgándonos diversos servicios ecosistémicos que para efectos de la presente investigación se destaca de acuerdo a la categoría química de Wallace (2007), el servicio ecosistémico de asimilación o captura de contaminantes.

Este servicio ecosistémico de los árboles ha sido considerado en los dos últimos siglos, no obstante, se observa un actual estudio de este servicio con mayor rigurosidad gracias al destacado software I-Tree ECO a nivel global.

Se reconoce además que un área natural protegida es un espacio dentro de un territorio específico en la cual se busca conservar la diversidad genética y biótica, los procesos ecológicos, así como los servicios ambientales para garantizar un equilibrio ambiental, por lo que se reconoce tanto al Parque Metropolitano

Bicentenario como a los árboles presentes en él una pieza clave aportadora de servicios ecosistémicos para la ciudad de Toluca, Estado de México.

Finalmente se concluye que el estudio de los servicios ecosistémicos de los árboles en áreas naturales protegidas como el Parque Metropolitano Bicentenario son un oportuno aporte a las ciencias ambientales dado su común enfoque en la relación de los elementos del ambiente con el bienestar humano.

CAPÍTULO 2. MATERIA LEGAL Y NORMATIVA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CONTAMINANTES DE LOS ÁRBOLES EN EL PARQUE METROPOLITANO BICENTENARIO



CAPÍTULO 2. Materia legal y normativa del servicio ambiental de captura de contaminantes de los árboles en el parque metropolitano bicentenario

En el siguiente apartado se expondrán aquellos instrumentos legales, constitucionales o normativos que delimitan y dan pauta a que se estudien de manera general los servicios ecosistémicos o ambientales de los árboles en el parque metropolitano bicentenario pero enfáticamente en el servicio ambiental de captura de contaminantes, para lo cual se presentará en primer término el apartado de cambio climático- contaminantes, en segundo término se presenta la sección sobre árboles-servicios ambientales, finalmente se presenta el apartado sobre áreas naturales protegidas, sin embargo en las tres secciones se abordarán instrumentos internacionales, nacionales y estatales así como abordar la relación entre estos.

2.1 Cambio climático y contaminantes

Internacional

Como es bien sabido, dentro de una nación las acciones legales o normativas vienen impulsadas por un contexto global al cual la región se adscribe, por lo que los instrumentos que se presentan en breve son los que se han signado para el Estado Mexicano.

En primer lugar, se considera el acuerdo de parís, documento en el cual se expone la alarmante situación del cambio climático, emisión de gases de efecto invernadero, así como los acuerdos a los que se deberán someter los países que lo adopten, principalmente al limitar el incremento de la temperatura por debajo de los 2 grados celcius a nivel mundial.

Del presente acuerdo se recalca el artículo sexto inciso b, como se muestra en el cuadro 2.1:

Cuadro 2.1. Artículos del acuerdo de parís

Artículo	Descripción
6to, sección 4ta Inciso a)	Promover la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Inciso b)	Incentivar y facilitar la participación en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, a las entidades tanto públicas como privadas que cuenten con la autorización de las partes.
------------------	---

Fuente: (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2015).

De este artículo sexto se destaca la entera participación de entidades públicas para promover la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, la aplicación de este artículo se ve reflejado en el trabajo de entidades públicas como la antes mencionada Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México que, cómo se verá más adelante, promueve dicha mitigación mediante muchas estrategias entre las cuales destacan las relacionadas con los servicios ambientales de los árboles.

En segundo lugar, se presenta el protocolo de Kyoto el cual incentiva a los países que lo integren desarrollen en sus gobiernos tanto leyes como políticas enfocadas a reducir cinco principales contaminantes entre ellos el ozono.

De este se destacan tres artículos, como se observa a continuación en el cuadro 2.2:

Cuadro 2.2. Artículos del protocolo de Kyoto

Artículo	Descripción
2do	Con el fin de promover el desarrollo sostenible, cada una de las Partes incluidas en el anexo I, al cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones.
Inciso fracción ii)	a) Protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio ambiente; promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la Reforestación.
Artículo 7mo Párrafo primero	Cada una de las Partes incluidas en el anexo I incorporar en su inventario anual de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, presentado de conformidad con las decisiones pertinentes de la Conferencia de las Partes.

Artículo 10 Inciso b)	Formularán, aplicarán, publicarán y actualizarán periódicamente programas nacionales y, en su caso, regionales que contengan medidas para mitigar el cambio climático y medidas para facilitar una adaptación adecuada al cambio climático.
----------------------------------	---

Fuente: (Naciones Unidas, 1998).

De los tres artículos anteriores se denota la importancia de los países que integran la conferencia de las partes, puedan comprometerse con prácticas sustentables que relacionen la práctica forestal con medidas para combatir el cambio climático.

En tercer lugar, se presenta una meta puntual de la agenda 2030, de las agendas más importantes a nivel internacional la cual plantea objetivos de distintos tópicos como derechos humanos, paz, medio ambiente, urbanismos, en el entendido que la procuración por cumplir estos objetivos guiará a un desarrollo más sustentable.

En esta agenda, específicamente en el objetivo 13, se describe la incorporación dentro de las políticas de los países que la adoptan sobre medidas respecto al cambio climático en planes o estrategias nacionales como se muestra en breve dentro del cuadro 2.3:

Cuadro 2.3. Meta del objetivo de desarrollo sustentable 13

Artículo	Descripción
Meta 13.2	Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

Fuente: (Naciones Unidas, 2023).

Los anteriores instrumentos internacionales son aplicables a nivel nacional puesto que el país ha adoptado los mismos y los ha trasladado dentro de su normativa interna, esta misma meta se ve reflejada en los instrumentos que se muestran en los siguientes apartados nacional y estatal.

Nacional

En contexto nacional se destaca la carta magna o mejor conocida como Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos cuya ley suprema que rige el país cuyos artículos abarcan múltiples aspectos del desarrollo del país.

Específicamente se destaca el artículo cuarto en el párrafo quinto de dicha Constitución que versa sobre el derecho de los mexicanos a un medio ambiente sano, mismo que se liga con lo antes expuesto respecto a los daños a la salud que provocan los contaminantes atmosféricos y el cómo los árboles ayudan a mejorar el ambiente atmosférico, como se ve en el cuadro 2.4:

Cuadro 2.4. Artículo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Artículo	Descripción
4to párrafo 5to	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.

Fuente: (Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, 2023).

Por otra parte, se destaca otra importante ley en el país, sobre todo en materia ambiental-forestal como la ley general de desarrollo forestal sustentable en la cual se establecen las adjudicaciones en esta materia que le corresponden en cada nivel de gobierno, federal, estatal y municipal, así como su sinergia para cumplir con los objetivos de la ley.

Puntualmente se resalta el artículo segundo y tercero en donde se alienta al cumplimiento de instrumentos internacionales en materia de cambio climático o afines, así como el manejo forestal para fomentar la reducción de emisiones contaminantes como se expone en el cuadro 2.5.

Cuadro 2.5. Artículos de la ley general de desarrollo forestal sustentable

Artículo	Descripción
2° Fracción IX	Promover acciones necesarias en el sector para dar cumplimiento a tratados internacionales en los que el Estado mexicano sea parte en materia de cambio climático, diversidad biológica y demás aplicables en la materia.
3° Fracción XXXIX	Promover el manejo forestal sustentable a fin de contribuir a mantener e incrementar los acervos de carbono, reducir las emisiones provenientes de la deforestación y degradación forestal, así como reducir la vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático.

Fuente: (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018).

Mientras tanto, de manera normativa en México se cuenta con los parámetros de los límites permitidos para los contaminantes contemplados en la presente investigación (monóxido de carbono, ozono, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre, material particulado PM_{2.5} y PM₁₀), cada uno con su debida medida de concentración además de rango anual.

En primer lugar, se presenta la norma oficial mexicana 025-SAA1-2021 que versa sobre el cumplimiento gradual límite para los valores de PM₁₀ y PM_{2.5} como se ve a continuación:

Cuadro 2.6. Concentración límite PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire

Contaminante	Concentración	Año 1 ^a	Año 3 ^a	Año 5 ^a
PM ₁₀ (µg/m ³)	Anual	36	28	20
PM _{2.5} (µg/m ³)	Anual	10	10	10

Fuente: (Secretaría de salud, 2021).

En el cuadro 2.6 se observa que la concentración del material particulado de tamaño 10 y 2.5, donde se determina la concentración límite en microgramos por metro cúbico que se debe alcanzar de manera anual en el primer año de medición en las estaciones de monitoreo además de sus respectivos límites en los siguientes años.

En tanto, la norma oficial mexicana 023-ssa1-1993 presenta la concentración límite de bióxido de nitrógeno (NO₂) mostrada a continuación:

Cuadro 2.7. Concentración límite de NO₂ en el aire

Apartado	Descripción
4to Especificaciones	La concentración de bióxido de nitrógeno, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo normado de 0.21 ppm o lo que es equivalente a 395 µg/m ³ , en una hora una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible.

Fuente: (Secretaría de Salud, 1993).

En el cuadro 2.7 se observa la concentración en microgramos por metro cúbico a la que se puede llegar como límite en una hora sólo una vez al año.

También se adjunta la norma oficial mexicana 022-ssa1-2019 sobre la concentración límite de bióxido de azufre (SO₂) presentado a continuación:

Cuadro 2.8. Concentración límite de SO₂ en el aire

Apartado especificaciones	Descripción
5.1	Se establecen dos valores límite para las concentraciones ambientales del SO ₂ para efecto de la protección a la salud de la población más susceptible.
5.1.1	Valor límite de 1 hora: 0.075 ppm (196.5 µg/m ³) como promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales, obtenidos de los máximos diarios, calculado como se especifica en el Apéndice A Normativo.
5.1.2	Valor límite de 24 horas: 0.04 ppm (104.8 µg/m ³) como el máximo de 3 años consecutivos, obtenidos de los promedios de 24 horas, calculado como se especifica en el Apéndice A Normativo.

Fuente: (Secretaría de salud, 2019).

En el cuadro 2.8 se presenta la concentración en microgramos por centímetro cúbico de bióxido de azufre que se permite por hora durante tres años consecutivos y en 24 horas durante el mismo periodo de tiempo de tres años.

Adicionalmente se expone la norma oficial mexicana 021-ssa1-1993 sobre la concentración límite del monóxido de carbono (CO) mostrada en breve:

Cuadro 2.9. Concentración límite de CO en el aire

Apartado	Descripción
4to Especificaciones	La concentración de monóxido de carbono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 11.00 ppm o lo que es equivalente a 12,595 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio móvil de ocho horas una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible.

Fuente: (Secretaría de Salud, 1994).

En el cuadro 2.9 se observa que la concentración de monóxido de carbono en valores de partes por millón (ppm) o su equivalente en microgramos por centímetro cúbico en el periodo de ocho horas una vez al año.

Finalmente, se presenta la norma oficial mexicana 020-saa1-1993 sobre la concentración límite de ozono (O_3) como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.10. Concentración límite de ozono en el aire

Apartado	Descripción
4to Especificaciones	La concentración de ozono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo normado de 0.11 ppm, o lo que es equivalente a 216 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en una hora, una vez al año, en un periodo de tres años, para protección a la salud de la población susceptible.

Fuente: (Secretaría de salud, 1993).

En el cuadro 2.10 se observa la concentración tanto en partes por millón (ppm) como en microgramos por metro cúbico al que se debe limitan el ozono atmosférico en un lapso de una hora una vez al año en un periodo de tres años.

Los valores límite antes presentados comúnmente se encuentran registrados en estaciones de monitoreo atmosférico en las ciudades como Toluca, por lo cual, para la presente investigación, se retomarán más adelante para el cálculo de captura de contaminantes a través de I-Tree ECO.

De manera reflexiva, los anteriores instrumentos en materia de contaminantes y cambio climático han sido de inspiración y guía para integrarse en la normativa en el ámbito estatal, misma que se aborda con más profundidad en el siguiente apartado.

Estatal

A nivel estatal se cuenta con un instrumento denominado Plan Estatal de Desarrollo del periodo 2017-2023 el cual es el documento que dirige las acciones de cada administración gubernamental para procurar el mejor desarrollo de la población de la entidad en términos sociales, económicos y ambientales.

Como se expuso anteriormente el nivel estatal se alinea para estar en congruencia con las políticas a nivel nacional e internacional por esto dentro de dicho plan se desarrollan estrategias alineadas a tópicos como mitigación y adaptación al cambio climático, así como a contribuir de manera transversal a mejorar la calidad del aire, esto se observa más concretamente en estrategias del objetivo 3.2 acerca de la adopción de medidas para combatir el fenómeno climático como se ve en el cuadro 2.11:

Cuadro 2.11. Estrategias estatales en materia de aire y cambio climático

Estrategia	Línea de acción
3.2.1: Contribuir a la mejora de la calidad del aire.	Ampliar la cobertura del monitoreo de la calidad del aire
3.2.3: Mejorar la educación ambiental e impulsar la adopción de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en los municipios.	Fortalecer la sinergia de trabajo con la federación, los municipios e instancias internacionales, con relación al cambio climático.

Fuente:(Gobierno del Estado de México, 2017a).

Por todo lo anterior, se destaca la correlación entre los instrumentos antes mostrados en materia de cambio climático-contaminantes además de que entre vio su vinculación con el siguiente apartado sobre materia forestal dado los aportes que estos elementos aportan para mitigar los contaminantes, así como disminuir el impacto fenómeno climático como se ve a continuación.

2.2 Árboles y servicios ecosistémicos

Internacional

De forma similar a la línea de contaminantes y cambio climático se tiene la adopción dos objetivos específicos de la agenda 2030, los cuales hacen énfasis en los árboles entendidos aquí como áreas verdes o bosques para que sean de acceso a la población en general, así como se procura velar por conservar estos ecosistemas y los servicios que estos prestan como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.12. Objetivos de la agenda 2030

Objetivo	Descripción
Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.	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.
Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad.	15.1 Para 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales.

Fuente: (Naciones Unidas, 2023b, 2023c).

En el cuadro 2.12 se contempla que los espacios públicos dentro de las naciones garanticen el acceso a áreas verdes, así como conservar de manera sostenible ecosistemas, pero de manera particular aquellos que integran árboles.

Esta normativa internacional permitió elaborar en el contexto nacional instrumentos enfocados a garantizar el cumplimiento de estos objetivos, teniendo como resultado legislación ambiental enfocada a árboles y servicios ecosistémicos misma que se presenta en la siguiente sección.

Nacional

En el ámbito nacional destaca la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, que como se refirió anteriormente, explica las atribuciones en materia de árboles que le corresponden a los tres niveles de gobierno (federal, estatal, municipal).

Sin embargo, en este apartado se destacan aquellos artículos y fracciones que contemplan la promoción de los bienes y servicios ambientales de estos ecosistemas forestales además del incentivo a realizar valoraciones de dichos servicios como se muestra a continuación:

Cuadro 2.13. Artículos de la ley general de desarrollo forestal sustentable

Artículo	Descripción
1°	La presente Ley tiene por objeto regular y fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales, la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país, así como sus recursos.
2° Fracción IV	Promover la provisión de bienes y servicios ambientales, así como proteger y acrecentar la biodiversidad de los ecosistemas forestales mediante el manejo integral del territorio.
20° Fracción IX	Proponer la valoración de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas forestales, conforme a las metodologías definidas por la Secretaría.

Fuente: (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018).

Del cuadro 2.13 se encuentra el fomento al manejo sustentable en territorios forestales dentro de la nación, promoviendo a la par tanto la provisión como valoración de servicios ambientales como forma de cumplir con la directriz nacional para dar acceso a estos ecosistemas.

De forma similar, el contexto nacional da respaldo y guía a cada entidad para implementar estrategias que cumplan con lo estipulado en estos instrumentos, por lo cual en el siguiente apartado se presentan las estrategias desarrolladas específicamente la entidad mexiquense.

Estatal

En el contexto estatal se cuenta con estrategias en el instrumento que permite la conservación y aprovechamiento del recurso forestal siendo este el Plan Estatal de Desarrollo antes referido del periodo 2017-2023 que, en congruencia con los anteriores instrumentos, establece el conservar la cobertura vegetal, entre dicha cobertura destacan elementos como los árboles sobre todo en áreas naturales protegidas, además de coordinarse con los municipios para realizar esta acción como se muestra en el siguiente cuadro 2.14:

Cuadro 2.14. Estrategias estatales sobre materia forestal, árboles y espacios verdes

Estrategia	Línea de acción
3.3.2: Reducir la degradación de los hábitats naturales	Conservar la cobertura vegetal con acciones que favorezcan el establecimiento de nuevas plantaciones nativas en las áreas naturales protegidas.
3.3.5: Generar los recursos para conservar la diversidad biológica y los ecosistemas	En coordinación con los municipios, conservar y mantener el arbolado de zonas urbanas.

Fuente: (Gobierno del Estado de México, 2017a).

En el mismo sentido se adiciona a estas acciones estatales un programa Estatal denominado Pro Aire el cual busca encaminar acciones para mejorar la gestión referente a revertir o prevenir la calidad del aire en la entidad.

De este programa se destaca la estrategia 5 sobre desarrollo urbano en materia forestal, en la cual se consideran las áreas verdes y árboles como ayuda para mitigar la re suspensión de material particulado, así como emitir la menor cantidad de compuestos orgánicos volátiles como se expone en el cuadro 2.15:

Cuadro 2.15. Estrategia estatal del programa Pro Aire

Estrategia	Línea de acción
5.E Recuperar áreas verdes en zonas urbanas.	5.E.1 Crear, ampliar y restaurar áreas verdes urbanas, utilizando las especies adecuadas para mitigar la resuspensión de partículas y emitir la menor cantidad posible de COV.

Fuente: (Gobierno del Estado de México et al, 2018).

Adicionalmente, la norma técnica estatal ambiental 019 establece las labores que se deben seguir en las áreas que contengan macizos de árboles; entre ellas destacan el realizar un programa de protección-conservación derivado de labores de diagnóstico del estado físico además de sanitario de los individuos mediante inventario como se muestra en el cuadro 2.16:

Cuadro 2.16. Secciones de la norma técnica estatal ambiental 019

Sección	Línea de acción
7° Protección Y conservación	En el ámbito urbano las áreas verdes y macizos arbóreos requieren de un programa de protección y conservación que se ejecute adecuadamente para garantizar las condiciones sanitarias de los árboles, arbustos y vegetación herbácea que permita seguir otorgando servicios ambientales de calidad en beneficio de la sociedad.
7.1.1 Física	Es responsabilidad de la Secretaría a través de la Coordinación General y de los Ayuntamientos realizar un diagnóstico de las áreas verdes y macizos arbóreos que requieran obras de protección física o de conservación, para salvaguardar la integridad de las mismas.
7.1.2 Física	Es responsabilidad de los Ayuntamientos, en coordinación con la Secretaría a través de la Coordinación General, realizar la protección física y conservación de las áreas verdes y macizos arbóreos identificados en el diagnóstico efectuado.
7.2.3	Los Ayuntamientos y particulares deberán de realizar y mantener vigente el inventario de áreas verdes y macizos arbóreos y enviar anualmente el registro a la Coordinación General.
10.2 Mantenimiento	<p>El Ayuntamiento y los particulares, en su caso, deberán formular y proponer programas de mantenimiento para proteger, conservar y restaurar en óptimas condiciones sus áreas verdes y macizos arbóreos, su infraestructura y equipamiento, facultándoles invocar la recomendación de establecer convenios e instrumentos referidos en el párrafo anterior. El programa de mantenimiento debe considerar por lo menos los siguientes incisos:</p> <ul style="list-style-type: none"> A) Antecedente histórico, geográfico y ambiental B) Aspectos administrativos como personal, recursos disponibles, presupuesto, seguridad C) Condiciones históricas, sociales y económicas de la población D) Condiciones ambientales de la región donde está inserto el sitio E) Zonificación del espacio describiendo zonas forestadas, infraestructura, etcétera. F) Inventario de especies arbóreas, herbáceas y arbustivas y localización G) Desarrollo de los árboles de forma general H) Variables de diámetro normal y basal I) Estudio Fitosanitario

	j) Capacidad de carga para no compactar el suelo K) Fuentes de abasto L) Programa de manejo de árboles y arbustos
10.2.1	Las actividades de poda, derribo y sustitución deberán apegarse a la normatividad vigente en la entidad.
10.2.2 Cajeteo y deshierbes	Estas actividades deben ser programadas conforme a las condiciones ambientales y de las especies vegetales que se presentan en los diferentes ayuntamientos de la entidad.
10.2.3.1 Riesgos	Es responsabilidad de los Ayuntamientos y particulares, en su caso, realizar un programa anual calendarizado de riegos que cubran las necesidades hídricas de la vegetación para conservar en óptimas condiciones las áreas verdes.
10.2.4.1 Fertilización	Es responsabilidad de los Ayuntamientos y particulares, en su caso, realizar un programa anual calendarizado de fertilización para complementar las necesidades de elementos nutritivos de las plantas.
10.2.5.1	Los Ayuntamientos y particulares, en su caso, realizarán diagnósticos periódicos de plagas y enfermedades para ofrecer tratamiento preventivo o curativo en áreas verdes y macizos arbóreos.
10.2.8 Manejo de residuos	Identificar que todo residuo obtenido del mantenimiento o manejo de las áreas verdes y macizos arbóreos sean composteadas para su futuro uso en las mismas.

Fuente: (Gobierno del Estado de México, 2017b).

De manera complementaria la norma técnica estatal ambiental NTEA-018- SeMAGEM-DS-2017 emitida también por el Gobierno del Estado de México, (2018) prolonga las labores de mantenimiento pertinentes a los árboles analizados en la fase anterior.

Por lo visto anteriormente las diversas áreas con vegetación en el país aportan servicios ambientales pero sobre todo normativamente se procura mantener el servicio de disminución de contaminantes así como de compuestos orgánicos volátiles por medio de la adecuada gestión de los árboles, en especial dentro de áreas naturales protegidas, por esto en el siguiente apartado se desarrolla con mayor detalle las categorías que se tienen de áreas naturales protegidas y cual se estudiará en la presente investigación.

2.3 Clasificación de áreas naturales protegidas Nacional

Dentro del contexto nacional existe diferenciación entre las áreas naturales protegidas, para ello la legislación mexicana, específicamente la Ley General de

Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) mencionan las 7 categorías de áreas naturales protegidas presentadas a continuación en el cuadro 2.17:

Cuadro 2.17. Categorías de áreas naturales protegidas a nivel federal

Categoría	Descripción
Reservas de la biósfera	Se constituyen en áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.
Parques nacionales	Son representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones análogas de interés general.
Monumentos naturales	Se establecerán en áreas que contengan uno o varios elementos naturales, consistentes en lugares u objetos naturales, que por su carácter único o excepcional, interés estético, valor histórico o científico, se resuelva incorporar a un régimen de protección absoluta. Tales monumentos no tienen la variedad de ecosistemas ni la superficie necesaria para ser incluidos en otras categorías de manejo.
Áreas de Protección de Recursos Naturales	Son aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal, siempre que dichas áreas no queden comprendidas en otra de las categorías previstas en la LGEEPA.
Áreas de protección de flora y fauna	Constituidos en los lugares que contienen los hábitats de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres.
Santuarios	Establecidas en zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora o fauna, o por la presencia de especies, subespecies o hábitat de distribución restringida. Dichas áreas abarcarán cañadas, vegas, relictos, grutas, cavernas, cenotes, caletas, u otras unidades topográficas o geográficas que requieran ser preservadas o protegidas.
Parques y Reservas Estatales, categorías locales	Se establecen como parques, reservas estatales y demás categorías de manejo que establezca la legislación local en la materia, ya sea que reúnan alguna de las características señaladas en la presente ley o que tengan características propias de acuerdo a las particularidades de cada entidad federativa.

Fuente: (SEMARNAT, 2015).

De acuerdo con la clasificación anterior el área de estudio Parque Metropolitano Bicentenario es un área natural protegida considerada como parque de jurisdicción estatal como se verá más detalladamente en el siguiente capítulo.

Por otra parte, cada entidad tiene a su vez su delimitación o categorización sobre áreas naturales protegidas, siendo también el caso entidad mexiquense por lo cual, en el siguiente apartado se presenta con mayor detalle cada categoría.

Estatal

La entidad mexiquense cuenta con el Código para la Biodiversidad del Estado de México el cual, de manera análoga sería la máxima ley en materia ambiental, pero de manera estatal.

Dentro del mencionado código se categoriza las áreas naturales protegidas mostradas en el cuadro 2.18:

Cuadro 2.18. Categorías estatales de áreas naturales protegidas

Categoría	Descripción
Las reservas estatales	Se constituyen en áreas biogeográficas relevantes en la jurisdicción del Estado, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados en los cuales habiten especies representativas de la diversidad biológica estatal o nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, raras, amenazadas o en peligro de extinción en términos de lo regulado por las normas oficiales mexicanas y por las normas técnicas estatales o criterios ecológicos que al efecto emita el Ejecutivo Estatal.
Los parques estatales	Se constituirán, tratándose de representaciones biogeográficas a nivel estatal de uno o más ecosistemas que tengan importancia por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico y por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo sostenible o bien por otras razones análogas de interés general.
Los parques urbanos	Son aquellas áreas de uso público decretadas por el Gobierno Estatal y los Ayuntamientos en los centros de población para alcanzar y preservar el equilibrio de las áreas urbanas e industriales, entre las construcciones, equipamientos e instalaciones respectivas y los elementos y recursos naturales de manera que se proteja el medio ambiente para la salud, el esparcimiento de la población y los valores artísticos, históricos y de belleza natural que dignifiquen la localidad.

Los parques municipales	Las autoridades municipales no podrán someter a ninguna categoría especial de protección ningún área natural que se encuentre dentro del perímetro de una ya protegida por las autoridades estatales.
Las reservas naturales privadas o comunitarias	podrán ser constituidas de manera voluntaria por sus propietarios o legítimos poseedores sobre cualquier tipo de terreno.
Los paisajes protegidos	Se constituirán sobre áreas de tipo mixto, naturales, modificadas o cultivadas de valor estético, recreativo o cultural para mantener el paisaje de poblados tradicionales y su entorno, así como en ambientes rurales o semiurbanos que requieran ser preservados y conservados.
Las zonas de preservación ecológica de los centros de población	Se integran por los parques, corredores, andadores, camellones, y en general cualquier área de uso público en zonas industriales o circunvecinas de los asentamientos humanos en las que existan ecosistemas en buen estado que se destinen a preservar los elementos naturales indispensables para el equilibrio ecológico y el bienestar de la población de la localidad correspondiente.
Los santuarios del agua	Se constituyen en áreas biogeográficas relevantes en la jurisdicción del Estado, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados en los cuales habiten especies representativas de la diversidad biológica estatal o nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, raras, amenazadas o en peligro de extinción en términos de lo regulado por las normas oficiales mexicanas y por las normas técnicas estatales o criterios ecológicos que al efecto emita el Ejecutivo Estatal.

Fuente: (Gobierno del Estado de México, 2005).

Con esta categorización más local se encuadra al parque metropolitano bicentenario como un área natural protegida denominada como parque urbano la cual se caracteriza a mayor profundidad en el siguiente capítulo.

A manera reflexiva podemos destacar en primer lugar que todos los instrumentos presentados en los apartados anteriores están relacionados entre sí, es decir que guardan congruencia unos con otros pues, como se pudo observar a lo largo del capítulo, la adopción de los acuerdos, protocolos o agendas en el país se ha visto reflejado en los demás instrumentos legales o normativos tanto a nivel nacional como estatal, creando así una transversalidad para transitar al cumplimiento de objetivos en materia de contaminantes, árboles y áreas naturales protegidas,

además cabe destacar que cada instrumento antes presentado es aplicable y vigente, por lo cual dentro de la nación su aplicabilidad se ve asegurada.

Epílogo

Derivado de lo antes expuesto a lo largo del capítulo se afirma que áreas naturales protegidas pertenecientes al estado libre y soberano de México como es el caso del Parque Metropolitano Bicentenario, tienen un respaldo no sólo nacional sino internacional para su cuidado.

En esta clase de áreas se ve el énfasis legal, político y normativo en el cuidado de elementos naturales como los árboles debido a su aporte en el propósito de mitigar los efectos del cambio climático, así como aportar a la mejora de la calidad del aire con la remoción de contaminantes atmosféricos sin exceder en la emisión de los compuestos orgánicos volátiles.

Las labores que se realizan en áreas naturales protegidas del Estado de México como el parque metropolitano bicentenario con el diagnóstico de los árboles mediante actividades de inventario para cuantificar de manera correcta su servicio ambiental o ecosistémico de captura de contaminantes, además sus perjuicios con compuestos orgánicos volátiles, han permitido enmarcar la presente investigación como aporte al contexto legal y normativo dentro de la entidad mexiquense, por ello en el siguiente capítulo se expone de manera explícita la cuantificación del servicio ecosistémico o ambiental de captura de contaminantes por los árboles en el parque.



**CAPÍTULO 3. CUANTIFICACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE
CAPTURA DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EL ÁREA
NATURAL PROTEGIDA “PARQUE METROPOLITANO
BICENTENARIO”**

CAPÍTULO 3. Cuantificación del servicio ecosistémico de captura de contaminantes atmosféricos en el área natural protegida “parque metropolitano bicentenario”

En el presente capítulo se expondrá la aplicación metodológica para el cálculo del servicio ecosistémico de captura de contaminantes atmosféricos en el área natural protegida parque metropolitano bicentenario, para ello se desarrollan a continuación cuatro apartados; el primero explicando la forma en la que se aplicó el método para obtención de la muestra.

Seguido de este, el segundo apartado explica cómo funciona el software I-Tree ECO para esclarecer cómo es que cada dato solicitado para el programa es procesado por el mismo, mencionando en este el tipo de cálculos o ecuaciones empleadas para arrojar los valores de cada servicio ecosistémico.

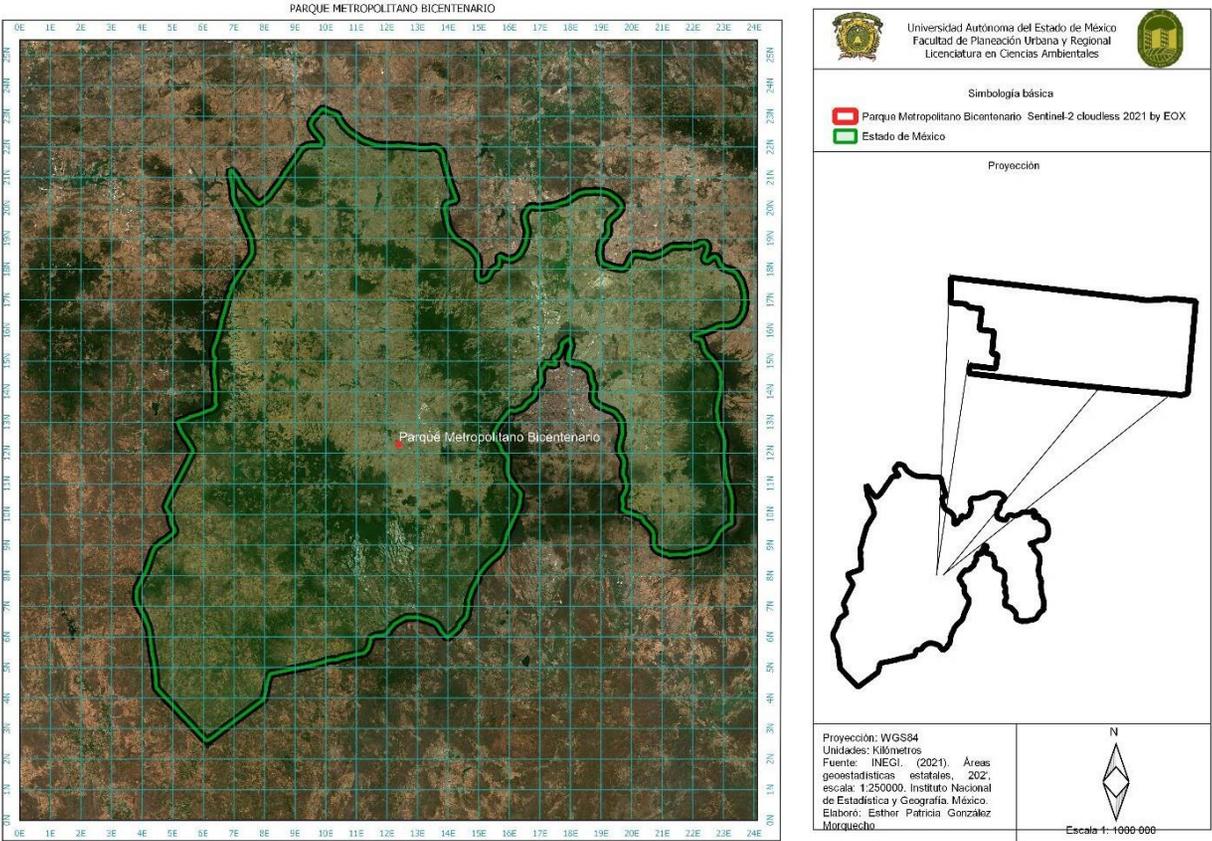
En el tercero se explica detalladamente el formato de campo que se ocupó para recabar la información necesaria de los árboles para ingresar al software que permitirá el cálculo del servicio ecosistémico.

Para el último apartado se presentan el resultado del cálculo de los servicios ecosistémicos de los árboles en el parque metropolitano arrojado por I- Tree ECO bicentenarios, además de que se realiza la comparación con respecto a los resultados encontrados en el último año evaluado por la administración.

3.1 Caracterización del área de estudio

De las 7 áreas naturales protegidas que refiere Sánchez, (2018) que hay en Toluca la que se aborda es el Parque Metropolitano Bicentenario, misma que se ve ubicada dentro del Estado de México como se observa en el mapa 3.1 presentado a continuación.

Mapa 3.1. Ubicación del Parque Metropolitano Bicentenario en la Entidad Mexiquense



Fuente: Coordinación General de Conservación Ecológica, (2018).

Mapa 3.2. Localización del Parque Metropolitano Bicentenario en la Ciudad de Toluca



Fuente: (Coordinación General de Conservación Ecológica, 2019).

Como se observó en el mapa 3.2, el área se encuentra inmersa en un predio con superficie de 19.69 hectáreas, localizado en la avenida Paseo Tollocan sin número en la colonia Universidad.³

Dentro de la ciudad de Toluca se encuentra ubicada en la cercanía a la parte metropolitana delimitada por el primer anillo de crecimiento urbano por la avenida paseo Tollocan al norte mientras que al sur se encuentra con los límites de la vialidad solidaridad las torres.

De acuerdo con Velázquez (2016) el ahora Parque Metropolitano Bicentenario se conoció durante 50 años como la 22ª zona militar de la ciudad; esto cambió conforme la zona se vio rodeada de asentamientos humanos e infraestructura urbana, dificultando el pleno desarrollo de actividades en la zona pues arremetía contra lo establecido en las normas y tratados internacionales donde se dicta que no pueden rodearse de escudos humanos, por ello el gobierno del Estado de México del periodo 2007 gestionó mediante la Secretaría de la Defensa Nacional la reubicación de esta 22ª zona militar, firmándose para ello un convenio entre el entonces Gobernador Enrique Peña Nieto y el Secretario de la Defensa Nacional Gral. Guillermo Galván Galván para pasar de categoría militar a jurisdicción del Estado como área natural protegida estatal.

Posteriormente, se llevaría a cabo la construcción del ahora conocido Parque Metropolitano Bicentenario inaugurándose el 10 de mayo del 2011 con el fin de cumplir con lo establecido en la gubernatura antes mencionada, específicamente con la misión de favorecer y desarrollar los valores en torno a la preservación del medio ambiente y proveer espacios verdes que fomenten la recreación, el deporte, la cultura y el sano esparcimiento familiar de sus visitantes mediante el fortalecimiento y participación ciudadana.

³ El dato de hectáreas del parque fueron proporcionadas por el personal de la Coordinación General de Conservación Ecológica

Mapa 3.3. Zonificación general en el programa de manejo del Parque Metropolitano Bicentenario



Mapa 3.4. Zonificación de la infraestructura en el programa de manejo del Parque Metropolitano Bicentenario



De manera general, se observó en los mapas 3.3 y 3.4, que el interior del parque cuenta con infraestructura destinada a servicios, áreas verdes y cuerpos de agua, las cuales se orientan principalmente al uso recreativo, deportivo y educativo de la población.

Esta misma infraestructura a su vez se subdivide en de la siguiente manera; en primer lugar, con tonalidades verdes se representan las zonas de áreas verdes siendo 1.1 las áreas arboladas y jardinadas, 1.2 parte lateral de la explanada principal, 1.3 siendo el óvalo parte de la explanada, 1.4 parte lateral oeste de la explanada, 1.5 espacio para enotecnias.

En segundo lugar, con tonalidades azules se representan los cuerpos de agua siendo el 2.1 el lago artificial, 2.2 las fuentes ornamentales de tipo al interior y 2.3 las fuentes ornamentales de tipo 2 ubicadas en el acceso principal.

En tercer lugar y representado con variedad de colores se contempla la infraestructura de servicios que de manera sintética se puede contemplar del siguiente modo; almacenes I,II,III,IV (3.1 al 3.4), andador (3.5), auditorio para actividades culturales y educativas (3.6), dos tipos de canchas siendo de una para usos múltiples mientras que la segunda para jugar futbol 7 con gradas (3.7, 3.8), ciclista (3.9), dos espacios para prestación de servicios (3.10, 3.11), tres estacionamientos siendo el I para público en general, II para el personal, III siendo el techado para el resguardo de automóviles de operación para el parque (3.12,3.13,3.14), una explanada para usos múltiples (3.15), dos gimnasios al aire libre (3.16, 3.17), una amplia variedad de juegos infantiles (3.18 al 3.25), dos edificaciones para oficinas siendo una de ellas la Coordinación General de Conservación Ecológica en tanto la otra edificación de oficinas centrales (3.26, 3.27), cuenta en su interior con una zona denominada parque canino (3.28), pistas tanto para patinaje como para skate (3.29, 3.30), planta de reciclaje de agua (3.31), pozos de agua (3.32,3.33), puertas de acceso y casetas de vigilancia (3.34 a 3.40), cuenta con salones especiales, uno para actividades culturales-educativas en tanto otro para actividades deportivas, sanitarios (3.44 a 3.47), dos tanques de agua elevados con cisterna (3.48,3.49) y finalmente dos trotapistas (3.50,3.51).

Mapa 3.5. Zonas de mantenimiento del Parque Metropolitano Bicentenario

Para efectos del presente plan se considerará otra zonificación especial para evaluar el arbolado presente en el parque la cual se muestra a continuación en el mapa 3.5 mostrado en breve.



Fuente: (Coordinación General de Conservación Ecológica, 2019).

Las definiciones de las zonas se retomaron de acuerdo al criterio establecido por la administración del parque, en la parte noreste de color café se encuentra la zona 1, en la parte central de color cian la zona 2, en la parte noroeste de color verde fuerte la zona 3, al lateral de esta la zona 4 de color morado y zona 5 de color azul, en la parte sur de color morado la zona 6 y en la parte central de color verde claro la zona 7.

La anterior zonificación, permite identificar de manera general la distribución de los tres mil veintidós árboles en las siete zonas del parque, esto siendo de ayuda para aplicar la metodología que permitirá calcular los servicios ecosistémicos de los árboles como se detalla en el siguiente apartado.

3.2 Aplicación del método

El siguiente apartado muestra la implementación del enfoque metodológico cuantitativo orientado a la interpretación de fuentes tanto primarias como secundarias, los de tipo primario son los resultados actuales obtenidos de la aplicación del método que se muestra a continuación, mientras que los secundarios son los valores encontrados anteriormente del servicio ecosistémico de contaminantes por la administración del parque.

Para conocer el actual aporte de servicios ecosistémicos o ambientales de los árboles presentes en el parque en primer instancia se realizó un inventario por muestreo durante el periodo comprendido por los meses de agosto a diciembre del año 2022; el cual consistió en seleccionar una cantidad de árboles que represente la totalidad de estos, denominados muestra, para el cálculo de la misma Castellanos (2011) sugiere emplear la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q}$$

Donde cada componente de la fórmula, de acuerdo con Spiegel & Stephens (2007), es:

- n= Tamaño muestral

- N= Tamaño de la población a estudiar (en este caso 3,022 individuos arbóreos)
- Za= Valor correspondiente a la distribución de gauss (hace referencia a la seguridad, habitualmente del 95% con valor de 1.96)
- p= proporción esperada del parámetro a evaluar (en caso de desconocerse, como es el caso, p tendrá un valor de 0.05)
- q= 1-p (en este caso 1-0.05 resultando un valor de 0.05)
- d= error que se prevé cometer (Aguilar (2005) recomienda para una seguridad de 95% un valor de 0.05 o 5%)

Sustituyendo cada valor en la formula se obtiene el siguiente tamaño muestral:

$$n = \frac{3022 * 1.96^2 * .5 * .5}{0.05^2 * (3022 - 1) + 1.96^2 * .5 * .5}$$

$$n = 341$$

Como se refirió anteriormente el sitio de estudio al estar subdividido en 7 espacios o subzonas de mantenimiento se determinó dividir este tamaño muestral equitativamente en cada una permitiendo obtener una muestra representativa por zona dando como resultado 49 individuos arbóreos para 5 de las 7 zonas y 48 para los 2 restantes siendo un total de 341 nuestro tamaño muestral general.

Para la selección de los árboles a muestrear se optó por una selección al azar de estos mejor conocido como muestreo aleatorio, considerando los árboles que aún mantienen su placa de identificación del inventario antes realizado por la administración del parque dando como resultado los siguientes individuos para cada zona:

Tabla 3.1. Individuos muestreados de la zona 1

Número de individuo arbóreo	ID del individuo arbóreo	Coordenadas UTM (x)	Coordenadas UTM (y)
1	17	431031	2131039
2	16	431026	2131040
3	13	431027	2131040
4	14	431023	2131042
5	11	431021	2131054
6	9	431028	2131055
7	10	431035	2131056

8	8	431026	2131068
9	6	431034	2131075
10	7	431037	2131076
11	1	431045	2131102
12	150	431129	2131014
13	153	431116	2131014
14	154	431130	2131040
15	155	431127	2131011
16	156	431125	2131004
17	157	431121	2130997
18	166	431128	2130995
19	168	431127	2130996
20	158	431119	2130987
21	165	431125	2130989
22	159	431117	2130980
23	162	431127	2130980
24	161	431127	2130978
25	146	431150	2131008
26	65	431192	2131009
27	60	431179	2131012
28	55	431176	2131014
29	43	431159	2131023
30	127	431175	2130951
31	30	431142	2131087
32	38	431164	2131042
33	41	431161	2131026
34	65	431192	2131009
35	68	431193	2131008
36	69	431192	2131002
37	70	431191	2131001
38	72	431199	2130994
39	131	431162	2130940
40	130	431172	2130942
41	125	431177	2130945
42	121	431175	2130926
43	120	431174	2130927
44	105	431180	2130878
45	104	431034	2131075
46	103	431187	2130874
47	108	431166	2130880

Fuente: Elaboración propia con base en Coordinación General de Conservación Ecológica (2019).

Tabla 3.2. Individuos muestreados de la zona 2

Número de individuo arbóreo	ID del individuo arbóreo	Coordenadas UTM (x)	Coordenadas UTM (y)
1	176	431334	2131036
2	183	431313	2131037
3	192	431283	2131032
4	193	431273	2131032
5	194	431623	2130989
6	198	431241	2131038
7	199	431241	2131041
8	200	431233	2131041
9	201	431242	2131041
10	210	431212	2131033
11	214	431214	2131029
12	218	431210	2131019
13	221	431214	2131011
14	225	431212	2130997
15	227	431216	2130998
16	230	431215	2130980

17	242	431212	2130939
18	248	431212	2130923
19	258	431217	2130889
20	261	431214	2130870
21	271	431166	2130841
22	272	431215	2130856
23	273	431215	2130889
24	278	431221	2130848
25	277	431232	2130850
26	279	431228	2130861
27	281	431227	2130857
28	286	431247	2130856
29	287	431234	2130848
30	291	431248	2130250
31	302	431258	2130860
32	305	431267	2130854
33	312	431274	2130856
34	314	431279	2130853
35	316	431282	2130856
36	320	431288	2130852
37	321	431218	2130860
38	324	431322	2130857
39	325	431326	2130857
40	336	431338	2130867
41	327	431333	2130857
42	329	431336	2130854
43	340	431354	2130858
44	343	431352	2130852
45	392	431390	2130939
46	386	431389	2130909
47	385	431390	2130901
48	384	431393	2130900

Fuente: Elaboración propia con base en Coordinación General de Conservación Ecológica (2019).

Tabla 3.3. Individuos muestreados de la zona 3

Número de individuo arbóreo	ID del individuo arbóreo	Coordenadas UTM (x)	Coordenadas UTM (y)
1	448	431613	2131026
2	449	431612	2131028
3	450	431607	2131026
4	451	431575	2131029
5	452	431598	2131000
6	453	431593	2131005
7	454	431591	2131010
8	455	431598	2131006
9	456	431600	2131007
10	457	431603	2131004
11	458	431600	2130998
12	459	431598	2130999
13	460	431601	2131000
14	461	431600	2131000
15	462	431599	2131001
16	463	431603	2130993
17	464	431603	2130994
18	465	431608	2130976
19	466	431605	2130969
20	467	431593	2130963
21	468	431592	2130975
22	469	431595	2130968
23	470	431595	2130966
24	471	431593	2130963

25	472	431597	2130960
26	940	431506	2130943
27	939	431505	2130938
28	938	431508	2130941
29	937	431499	2130937
30	936	431500	2130937
31	935	431502	2130936
32	934	431505	2130932
33	933	431501	2130927
34	932	431501	2130927
35	931	431508	2130926
36	930	431510	2130922
37	929	431513	2130918
38	928	431512	2130910
39	927	431509	2130914
40	926	431510	2130915
41	925	431512	2130906
42	924	431512	2130905
43	923	431500	2130912
44	922	431515	2130875
45	921	431507	2130887
46	920	431508	2130907
47	919	431509	2130894
48	918	431510	2130881

Fuente: Elaboración propia con base en Coordinación General de Conservación Ecológica (2019).

Tabla 3.4. Individuos muestreados de la zona 4

Número de individuo arbóreo	ID del individuo arbóreo	Coordenadas UTM (x)	Coordenadas UTM (y)
1	1050	431773	2130938
2	1154	431719	2130993
3	1146	431711	2130989
4	1040	431765	2130933
5	1064	431754	2130951
6	1074	431740	2130903
7	1076	431752	2130906
8	1145	431713	2130983
9	1110	431711	2130911
10	1120	431618	2130995
11	1305	431636	2130945
12	1304	431636	2130932
13	1201	431702	2130006
14	1307	431634	2130945
15	1308	431631	2130945
16	1313	431629	2130958
17	1316	431626	2130995
18	1253	431642	2130999
19	1314	431627	2130961
20	1263	431678	2130955
21	1265	431679	2130964
22	1266	431679	2130965
23	1144	431694	2130968
24	1140	431703	2130968
25	1136	431716	2130956
26	1132	431719	2130947
27	1129	431711	2130936
28	1125	431704	2130934
29	1124	431702	2130928
30	1114	431704	2130912
31	1126	431707	2130930
32	1079	431743	2130908

33	1081	431742	2130908
34	1082	431173	2130908
35	1083	431729	2130911
36	1084	431728	2130911
37	1085	431724	2130910
38	1173	431744	2130012
39	1178	431740	2130012
40	1209	431685	2130015
41	1218	431689	2130020
42	1213	431684	2130012
43	999	431779	2130975
44	1002	431789	2130976

Fuente: Elaboración propia con base en Coordinación General de Conservación Ecológica (2019).

Tabla 3.5. Individuos muestreados de la zona 5

Número de individuo arbóreo	ID del individuo arbóreo	Coordenadas UTM (x)	Coordenadas UTM (y)
1	1583	431621	2130071
2	1584	431701	2130898
3	1585	431698	2130897
4	1586	431695	2130894
5	1380	431760	2130810
6	1381	431757	2130816
7	1543	431723	2130896
8	1542	431724	2130901
9	1541	431723	2130898
10	1438	431734	2130735
11	1454	431732	2130754
12	1471	431734	2130776
13	1472	431727	2130776
14	1473	431730	2130763
15	1477	431729	2130758
16	1478	431729	2130755
17	1568	431700	2130739
18	1569	431697	2130739
19	1619	431704	2130735
20	1620	431698	2130739
21	1459	431733	2130734
22	1483	431723	2130742
23	1514	431710	2130742
24	1567	431701	2130747
25	1481	431724	2130737
26	1401	431753	2130840
27	1402	431753	2130831
28	1405	431751	2130817
29	1406	431753	2130810
30	1412	431750	2130787
31	1393	431769	2130888
32	1396	431764	2130885
33	1395	431764	3120891
34	1326	431770	2130876
35	1328	431766	2130867
36	1329	431765	2130864
37	1391	431766	2130873
38	1325	431769	2130880
39	1388	431767	2130864
40	1387	431763	2130861
41	1499	431722	2130756
42	1498	431726	2130751
43	1500	431723	2130749
44	1512	431718	2130753

45	1516	431713	2130743
46	1517	431718	2130754
47	1572	431700	2130750
48	1614	431706	2130755
49	1615	431692	2130755
50	1570	431700	2130734

Fuente: Elaboración propia con base en Coordinación General de Conservación Ecológica (2019).

Tabla 3.6. Individuos muestreados de la zona 6

Número de individuo arbóreo	ID del individuo arbóreo	Coordenadas UTM (x)	Coordenadas UTM (y)
1	2113	431179	2130821
2	2115	431181	2130821
3	2116	431182	2130823
4	2117	431183	2130824
5	2118	431183	2130824
6	2122	431188	2130827
7	2124	431191	2130826
8	2128	431197	2130822
9	2130	431406	2130996
10	2183	431422	2130842
11	2184	431422	2130850
12	2185	431421	2130849
13	2066	431443	2131047
14	2067	431447	2131046
15	2069	431456	2131044
16	2090	431466	2131030
17	2093	431458	2131033
18	2095	431456	2131036
19	2099	431482	2131030
20	2101	431474	2131034
21	2103	431422	2131048
22	2104	431316	2130842
23	2107	431424	2131044
24	2108	431418	2131045
25	2109	431420	2131048
26	2208	431469	2130834
27	2209	431470	2130834
28	2233	431480	2130860
29	2235	431479	2130861
30	2253	431487	2130948
31	2273	431487	2130837
32	2385	431440	2130985
33	2387	431449	2130981
34	2388	431455	2130995
35	2389	431450	2130995
36	2390	431453	2130985
37	2167	431405	2130841
38	2165	431406	2130853
39	2163	431405	2130870
40	2162	431406	2130874
41	2161	431403	2130871
42	2126	431402	2131016
43	2125	431404	2131021
44	2111	431415	2131050
45	2345	431289	2130784
46	2346	431288	2130784
47	2347	431292	2130784

Fuente: Elaboración propia con base en Coordinación General de Conservación Ecológica (2019).

Tabla 3.7. Individuos muestreados de la zona 7

Número de individuo arbóreo	ID del individuo arbóreo	Coordenadas UTM (x)	Coordenadas UTM (y)
1	2797	431403	2130827
2	2795	431402	2130832
3	2794	431408	2130835
4	2791	431405	2130839
5	2789	431405	2130841
6	2800	431418	2130836
7	2781	431407	2130878
8	2780	431401	2130880
9	2776	431404	2130891
10	2777	431404	2130894
11	2774	431400	2130896
12	2773	431404	2130902
13	2771	431401	2130910
14	2768	431403	2130930
15	2765	431400	2130947
16	2764	431405	2130956
17	2975	431432	2130961
18	2977	431420	2130958
19	2757	431405	2130971
20	2756	431405	2130978
21	2755	431403	2130991
22	2754	431406	2130992
23	2751	431410	2131003
24	2750	431410	2131008
25	2979	431414	2130993
26	2980	431416	2130988
27	2983	431423	2130995
28	2984	431430	2130993
29	3010	431455	2130995
30	2987	431436	2131002
31	2991	431434	2131025
32	2997	431443	2131029
33	2996	431446	2131028
34	2993	431423	2131036
35	2994	431421	2131032
36	2998	431445	2131029
37	2741	431398	2131031
38	2743	431405	2131023
39	2745	431405	2131021
40	2746	431402	2131017
41	2747	431408	2131015
42	2748	431404	2131021
43	2748	431402	2131016
44	2675	431397	2131058
45	2679	431415	2131050
46	2681	431420	2131050
47	2682	431425	2131049
48	2683	431429	2131048

Fuente: Elaboración propia con base en Coordinación General de Conservación Ecológica (2019).

Los parámetros que se tomaron en cuenta para el inventario fueron los recomendados por United States Forest Service et al, (2017) los cuales se describen en el siguiente apartado.

3.2.1 Funcionamiento de i-tree eco

Para hablar del actual funcionamiento del software I-Tree Eco es pertinente hablar de la versión antigua de este llamado Urban Forest Effects mejor conocido por sus siglas en inglés UFORE, que significa efectos del bosque urbano.

Al respecto Nowak & Crane, (1998a) describieron que el modelo se subdividía en 4 categorías que se describen a continuación; UFORE-A (anatomía del bosque urbano) que cuantificaba la composición de especies, densidad de los árboles, su salud, área y biomasa de las hojas, por otra parte UFORE-B (emisiones de compuesto orgánico volátil biogénico) cuantificaba la emisión de estos compuestos además de la medida en que contribuían a la formación de ozono atmosférico, en cambio UFORE -C (almacenamiento y secuestro de carbono) calculaba el total neto de almacén de carbono por los árboles mientras que de forma similar su última función UFORE -D (deposición seca de contaminación atmosférica) cuantificaba por hora la remoción de los contaminantes, así como la contribución a la mejora en la calidad del aire.

Posteriormente se lanzó en 2006 el mejorado software de acceso libre bajo el nombre de I-Tree cuyo objetivo era llegar a una expansión global dado que la anterior versión se habilitó para países selectos, además que la nueva versión buscó llegar a público profesional como no profesional como universitarios, ciudadanos, estudiantes, trabajadores del paisaje o territorio entre otros en más de 130 países, se subdivide en 7 herramientas: I tree eco, I tree data base, I tree canopy, I tree design, my I tree, I tree hydro, I tree species, I tree lands scape y I tree planting (Nowak et al, 2018).

La herramienta de I Tree Eco requiere información sobre la especie, el diámetro del tallo a la altura del pecho (DAP) adicionalmente criterios de uso de tierra, altura total de los árboles, tamaño de la copa que contempla la altura a la parte superior viva,

otra considerando hasta la base de la copa, también el ancho de la copa así como el porcentaje de copa faltante, la salud de la copa contemplando muerte regresiva o condición fitosanitaria; los anteriores datos de entrada se insertan en formatos que posteriormente conjuntarán el inventario visual (Pace et al, 2018).

Una vez recopilados los datos se integran al software con una hoja de Excel arrojando el cálculo, así como el valor de los servicios ecosistémicos como el de almacenamiento y secuestro de carbono, eliminación de la contaminación del aire así como escorrentía evitada; esta evaluación del estado biofísico además del valor económico de estos servicios ecosistémicos permite comprender de manera más profunda el sistema ecológico de soporte vital de los árboles en las ciudades o bosques urbanos (Raum et al, 2019).

El cálculo de estos beneficios o servicios de manera anual se derivan de los datos ingresados sobre el tamaño de los árboles, de los cuales se estima el tamaño de estos el siguiente año o años según sea el caso, esto se deriva de una predicción del modelo de tasa de crecimiento por especie en la ciudad de referencia, así como se complementa con ecuaciones de crecimiento de árboles urbanos UTD (Boukili et al, 2017).

Para el caso del servicio de purificación del aire o captura de contaminantes que es de relevancia en la presente investigación se cuantifica de según Baró et al, (2014b) con base en los datos registrados en campo, la concentración de contaminantes atmosféricos obtenidos de redes de monitoreo cercanas que están enlazadas con el software así como datos meteorológicos; esto estima fundamentalmente la deposición seca de los contaminantes, es decir, la eliminación de contaminantes durante periodos de no precipitación.

La eliminación de la contaminación se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, material particulado menor a 2.5 micrones, y material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones PM2.5 comúnmente relevante en las discusiones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud humana, estos cálculos se derivan de otros en relación a la resistencia del dosel de los árboles al ozono, sulfuro y dióxido de nitrógeno por hora

con base en un híbrido de los modelos de deposición de doseles de hojas grandes y de multicapas Baldocchi et al, (1987), Baldocchi, (1988).

Ya que la eliminación de monóxido de carbono y material particulado por la vegetación no está directamente relacionada con la transpiración, los índices de eliminación (velocidades de deposición) para dichos contaminantes se basan en los valores promedio medidos de la literatura de Bidwell & Fraser, (1972) y Lovett, (1994) que se modificaron según la fenología, así como área de las hojas.

La eliminación del particulado incorporó un índice de suspensión del 50 por ciento de partículas de regreso a la atmósfera Zinke, (1967), las últimas actualizaciones en el año 2011 al modelaje de la calidad del aire, se basan en mejores simulaciones del índice del área de las hojas, procesamiento e interpolación del estado del tiempo y la contaminación, y valores monetarios actualizados de los contaminantes Hirabayashi, (2011, 2012).

Los árboles eliminan $PM_{2.5}$ y PM_{10} cuando el material particulado se deposita en la superficie de las hojas Hirabayashi et al., (2012). Dicho $PM_{2.5}$ y PM_{10} depositado puede volverse a suspender en la atmósfera o eliminarse durante la lluvia y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede conducir a una eliminación y valor de la contaminación positiva o negativa dependiendo de varios factores atmosféricos. Por lo general, la eliminación de $PM_{2.5}$ y PM_{10} es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, existen casos donde la eliminación neta es negativa o las partículas vuelven a suspender conducen a mayores concentraciones de contaminación y valores negativos.

Durante algunos meses (p. ej., sin lluvia), los árboles vuelven a suspender más partículas de las que eliminan. La re suspensión puede conducir a un aumento general de las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} si las condiciones de la capa límite son menores durante los períodos de re suspensión neta que durante los períodos de eliminación neta.

Debido a que los valores de eliminación de la contaminación se basan en el cambio en la concentración de la contaminación, es posible contar con situaciones donde

los árboles eliminan PM_{2.5} y PM₁₀ pero aumentan las concentraciones y por ello tienen valores negativos durante períodos positivos de eliminación general, aunque estos eventos no son comunes, pero pueden suceder.

Con lo antes expuesto se pretende dar a conocer cómo es que los datos que se registran en el software I-Tree ECO desarrollan cálculos que permiten conocer en valores de concentración la cantidad de contaminantes que eliminan los árboles inventariados en el área, dando pauta en el siguiente apartado a la explicación de cómo se registran e ingresan los datos del inventario de la muestra para procesarlos en el software.

3.2.2 Ingreso de datos del inventario en i-tree eco

El siguiente formato presentado en la imagen 3.1 se ocupó en campo para registrar los datos de los árboles en el área de estudio para su posterior traslado en limpio en formato Excel para ser ingresados en el software I-Tree ECO.

Imagen 3.1. Formato de registro en campo

Ubicación: _____ Subzona: _____ Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° Inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	Lab/Man	RD	IF	Inclinación	Observaciones
10001	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10002	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10003	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10004	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10005	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10006	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10007	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10008	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10009	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10010	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10011	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10012	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10013	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10014	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10015	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10016	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10017	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10018	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10019	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															
10020	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()															

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Lab/Man = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: I Tree ECO, (2020).

En la primera columna se registra el ID, es decir, el número de identificación de la zona a la que pertenece el árbol, seguido por la especie del árbol, esta puede ser en nombre común o científico.

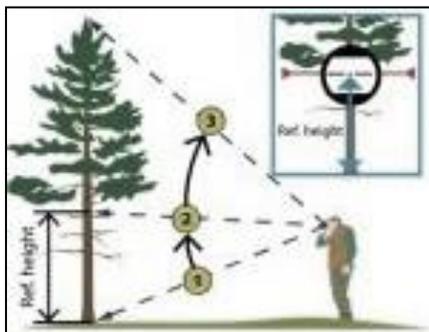
Las silgas AT, ACV y ABC significa en ese orden altura total, altura a la copa viva y altura a la base de la copa, estas medidas se pueden obtener con ayuda de la herramienta de clinómetro digital, se pueden ver en la imagen 3.2.

Imagen 3.2. Clinómetro digital



Fuente: (GAFMEX, 2023^a).

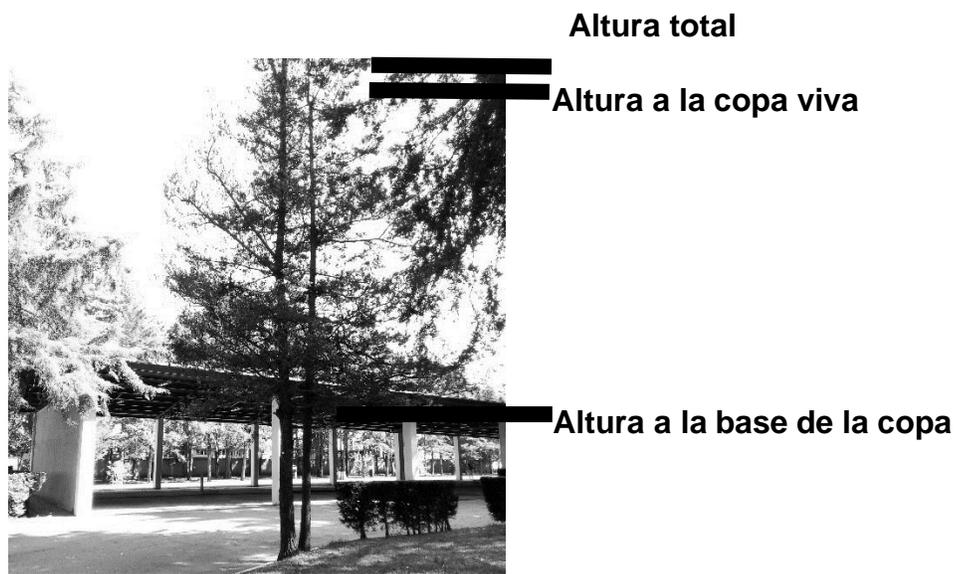
Imagen 3.3. Funcionamiento de clinómetro digital



Fuente: (GAFMEX, 2023^a).

Como se observa en la imagen 3.3, para obtener las alturas se debe tomar una distancia respecto al árbol que se mide; para tomar la altura total se toma desde la base del árbol al suelo hasta la última hoja de la copa, a altura a la base de la copa parte desde el suelo hasta encontrar las primeras hojas de la copa y la altura a la copa viva se toma desde el suelo hasta la última hoja que tenga coloración verdosa que indique su vitalidad, para ejemplificar mejor se presenta a continuación la imagen 3.4.

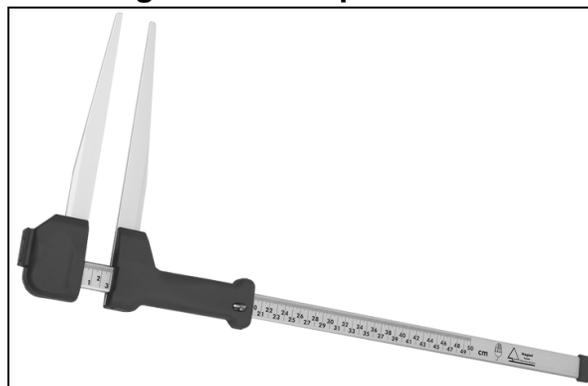
Imagen 3.4. Toma de datos de alturas



Fuente: Elaboración propia.

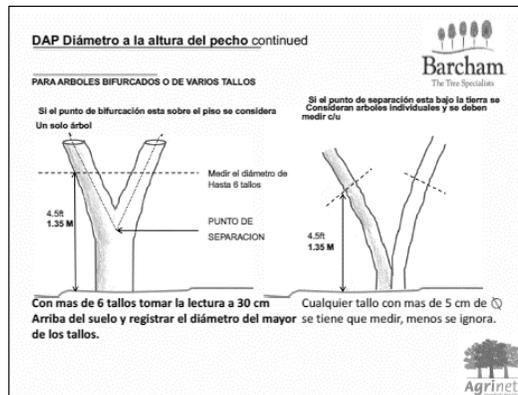
Las siguientes siglas DN1 y DN2 hacen referencia los diámetros del tronco, es decir que el primero se llena sólo si hay un tronco, el segundo se registra sólo si el árbol tiene dos troncos, este dato que se registra a 4,5 pies o 1.37 metros por medio de una forcípula de acuerdo a Wabo (2002), como se ve en la imagen 3.5 y para ejemplificar mejor la toma del diámetro se muestra la imagen 3.6.

Imagen 3.5. Forcípula forestal



Fuente: GAFMEX, (2023b).

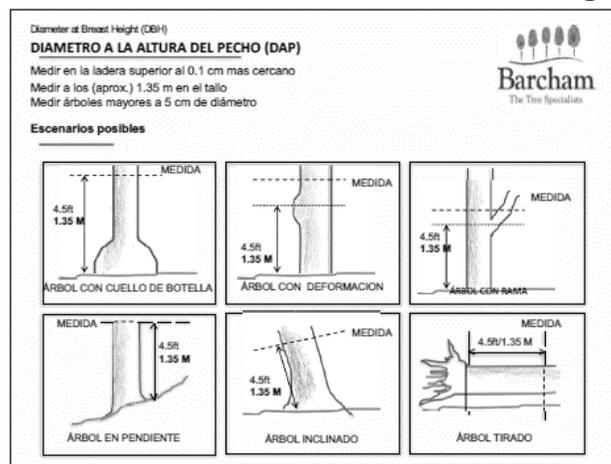
Imagen 3.6. Medición del diámetro a la altura del pecho



Fuente: (USFA et al,2016).

De acuerdo con (United States Forest Service (USFS) et al., 2017) si el árbol tiene hinchazones, protuberancias, depresiones o ramas el diámetro se toma inmediatamente encima de la irregularidad en el lugar que cesa para afectar la forma normal del tallo o bien si es un árbol inclinado se mide el diámetro a 1.37 metros desde el suelo a lo largo del tronco, a lo largo de la cara inferior del tronco como se observa en la imagen 3.7.

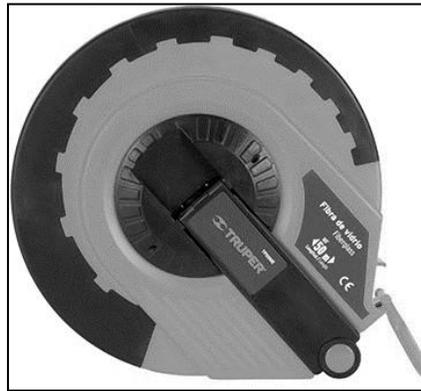
Imagen 3.7. Medición de DAP de árbol con irregularidades



Fuente: (USFS et al,2016).

En tanto, las siglas CC1 y CC2 significan cobertura de copa 1 o 2, siendo la primera la medida del extremo de la copa norte a sur, mientras que la dos es medido del extremo este a oeste, puede ser medido de manera más fácil con ayuda de una cinta forestal, sin embargo, para la investigación se optó por una cinta métrica de 50 metros como lo muestra la imagen 3.8.

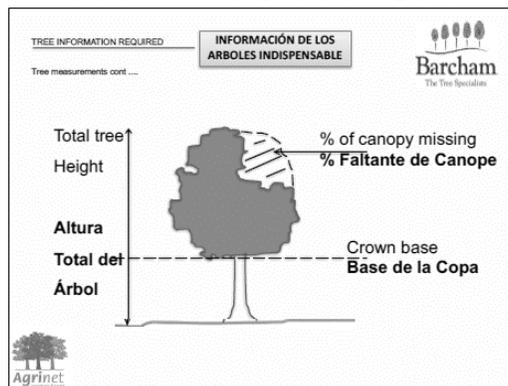
Imagen 3.8. Cinta métrica



Fuente: Homedepot, (2023).

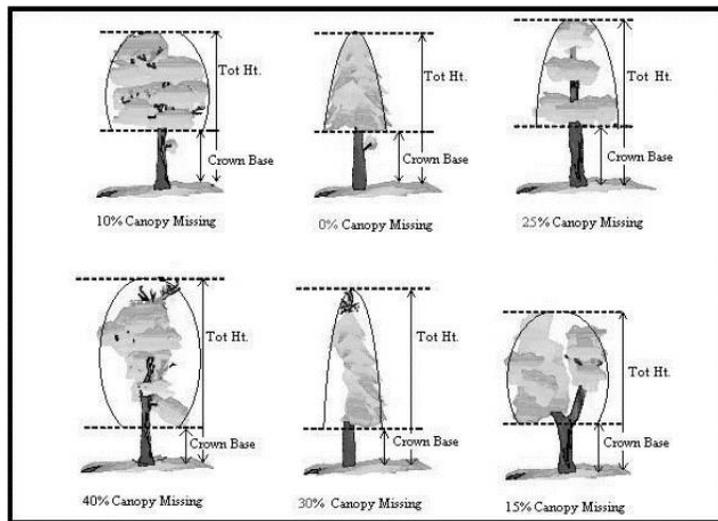
Por otro lado, la sigla %CF significa porcentaje de copa faltante la cual de acuerdo con el manual es el volumen de la corona que no está ocupado por las ramas de las hojas, de manera similar hay otro porcentaje que se registra siendo el porcentaje de muerte descendente o regresiva que se registra de 5 en 5 puntos porcentuales para indicar la gravedad de la muerte como se muestra en las imágenes 3.9, 3.10,3.11 y cuadro 3.1 respectivamente.

Imagen 3.9. Ilustración del porcentaje de copa faltante



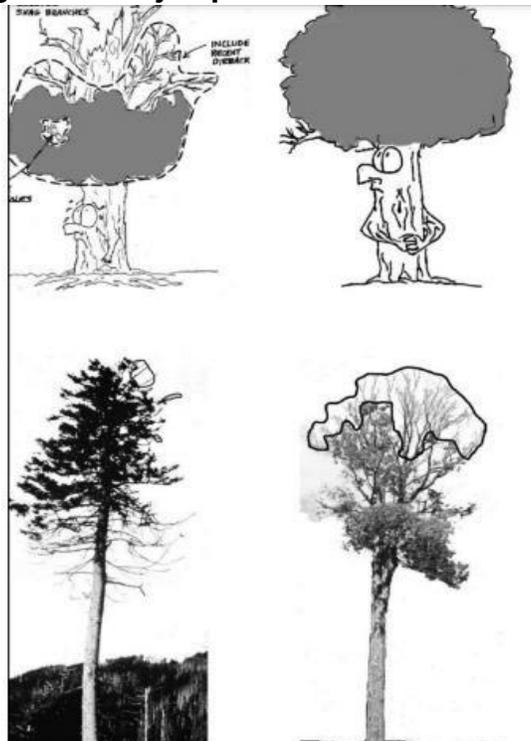
Fuente: (USFS *et al*,2016).

Imagen 3.10. Ejemplos de porcentaje de copa faltante.



Fuente: (USFS *et al*,2016).

Imagen 3.11. Ejemplo de muerte descendente



Fuente: (USFS *et al*,2016).

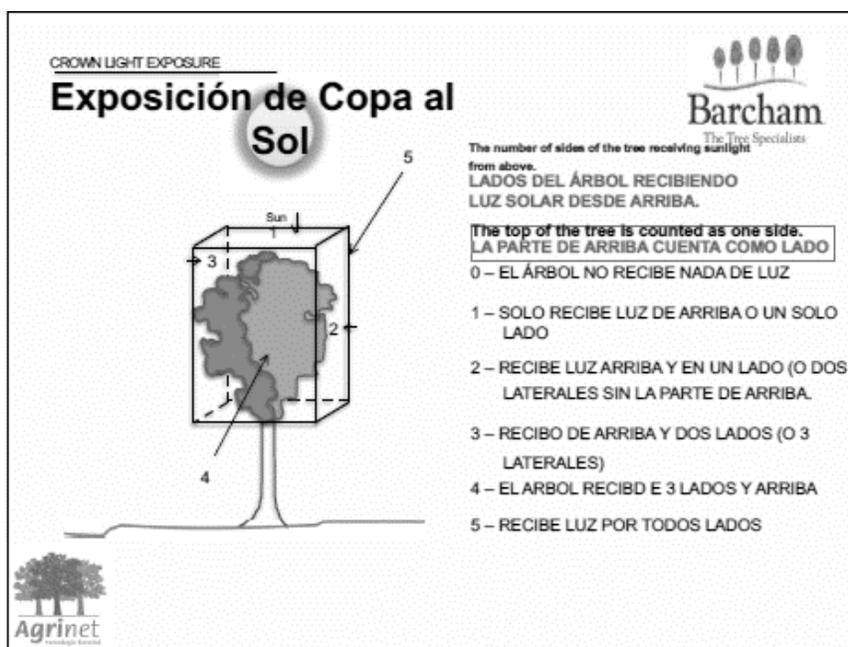
Cuadro 3.1. Datos y clases de muerte descendente

ID	Descripción de condición	% de condición	% de muerte	Categoría
1	100%	100	0	Excelente
2	95%- 99%	97	3	Bien
3	90%- 95%	92	8	Bien
4	85%- 90%	87	13	Regular
5	80%- 85%	82	18	Regular
6	75%- 80%	77	23	Regular
7	70%- 75%	72	28	Pobre
8	65%- 70%	67	33	Pobre
9	60%- 65%	62	38	Pobre
10	55%- 60%	57	43	Pobre
11	50%- 55%	52	48	Pobre
12	45%- 50%	47	53	Crítico
13	40%- 45%	42	58	Crítico
14	35%- 40%	37	63	Crítico
15	30%- 35%	32	68	Crítico
16	25%- 30%	27	73	Crítico
17	20%- 25%	22	78	Muriendo
18	15%- 20%	17	83	Muriendo
19	10%- 15%	12	88	Muriendo
20	5%- 10%	7	93	Muriendo
21	1%- 5%	2	98	Muriendo
22	0%	0	100	Muerto

Fuente: (USFS et al ,2016).

Por otra parte, las siglas ELC significan exposición a la luz de la copa es decir el número de frentes que reciben luz en la parte superior, para ello se emplearon números clave que indican tal exposición; -1 muerto, 0 que no recibe luz plena, 1 indicando que recibe luz desde la parte superior o lateral, 2 refiriendo que recibe luz plena en la parte superior así como lateral o bien dos lados pero no la parte superior, 3 señalando que el árbol recibe luz en la parte superior, dos lados o bien 3 lados, 4 refiriendo que el árbol recibe luz en lo superior o 3 lados cuales sea y 5 donde el árbol recibe luz en lo superior además de los otros 4 lados, para efectos ilustrativos se presenta a continuación la imagen 3.12 para visualizar como se toma la información.

Imagen 3.12. Exposición a la luz del sol



Fuente: (USFS et al, 2016).

En cambio, las siglas Labmant hacen referencia a las labores de mantenimiento del árbol, mismas que el manual describen de la siguiente manera en el cuadro 3.2:

Cuadro 3.2. Labores de mantenimiento recomendado

Número labor	ID de la labor	Descripción de labor
1		None (ninguno).
2		Stake/train (estaca de mantenimiento o guía).
3		Crown cleaning (poda de limpieza).
4		Crown raising (poda de elevación).
5		Crown reduction /thinning (poda de reducción).
6		Remove (remoción).

Fuente: (USFS et al, 2016).

Por otro lado, las siglas RD significan razón de derribo para lo cual se contemplan en el cuadro 3.3 para un mejor entendimiento:

Cuadro 3.3. Razón de derribo

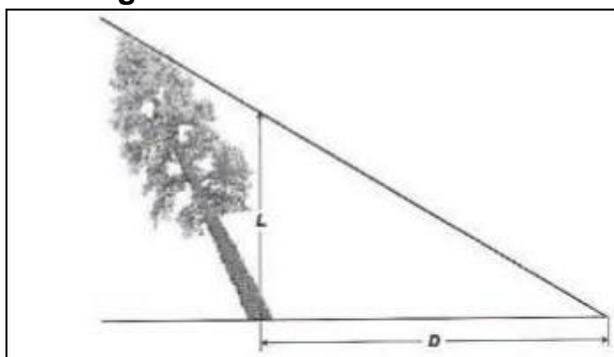
ID de	Descripción de labor
1	Árbol muerto
2	Árbol suprimido

3	Árbol con muerte descendente severa
4	Árbol de alto riesgo
5	Árbol con problemas sanitarios severos
6	Por afectación severa a infraestructura
7	Por obra pública o privada

Fuente: (USFS et al, 2016).

Las siglas IF refieren la inclinación del árbol en grados, la cual se determinó tomando como referencia un ángulo de 45 grados para dictar si estaba inclinado, en caso de que el árbol no tuviese inclinación como se ejemplifica en la imagen 3.13.

Imagen 3.13. Inclinación del fuste



Fuente: D. Calderón, (2017).

Las dos últimas casillas, de interferencia, así como observaciones son de respuesta abierta, es decir que para la primera se puede colocar cualquier objeto que obstruya el crecimiento del árbol mientras que la segunda se puede colocar cualquier otra cosa que no entre dentro de esta categoría.

Finalmente, el renglón con paréntesis que acompaña cada espacio de llenado contempla las variables del estado sanitario del árbol mismas que se desglosan en las imágenes integradas en la sección denominada “Formatos de datos sanitarios I-Tree ECO” dentro del anexo documental presentado en la parte final del documento.

Para ilustrar la toma de datos en campo se presentan a continuación la imagen 3.14 y 3.15 donde se observa por un lado las placas para mayor identificación y la toma de medidas en campo.

Imagen 3.14. Placas en los árboles



Fuente: elaboración propia.

Imagen 3.15. Medición de cobertura de copa y alturas



Fuente: elaboración propia.

Una vez que se completó el “formato de campo” como se muestra en el anexo documental se trasladaron los datos a EXCEL como se muestra en la imagen 3.14 respetando el formato antes presentado.

Imagen 3.16. Formato Excel para ingresar en I-tree ECO.

Subzona	Tree ID	Especie	Nombre cient	Nombre comi	SP CODE	X	Y	Altura	t	Altura copa v	Altura base c	Altura del DN	Diámetro nor	Altura del DN	Diámetro nor	Altura del DN	Diámetro nor
1	1	1	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431045	2131102	27	27	4,4	1,3	45				
3	1	2	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431044	2131091	16,2	16,2	4,6	1,3	38	1,3	22		
4	1	3	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431029	2131092	14,3	14,3	2,3	1,3	44				
5	1	4	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431028	2131086	21,6	21,6	4,8	1,3	32	1,3	28,5		
6	1	5	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431032	2131085	12,5	12,5	1,4	1,3	54	1,3	34,5	1,3	
7	1	6	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431034	2131075	23,2	23,2	3,5	1,3	82				
8	1	7	22	Pyrus commu	Pera	PYCO	431037	2131076	15,7	15,7	4	1,3	28				
9	1	8	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431026	2131068	23,8	23,8	4,9	1,3	67,5				
10	1	9	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431028	2131055	25,6	25,6	2,6	1,3	65				
11	1	10	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431035	2131056	17,5	17,5	2,2	1,3	49				
12	1	11	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431021	2131054	24	24	2	1,3	51				
13	1	12	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431022	2131048	25	25	2	1,3	77				
14	1	13	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431027	2131040	25	25	15,5	1,3	61				
15	1	14	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431023	2131042	22	22	3	1,3	68,5	1,3	31,5	1,3	
16	1	15	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431025	2131041	25	20	8	1,3	67,5				
17	1	16	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431026	2131040	21	21	3	1,3	64				
18	1	17	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431031	2131039	20	20	3	1,3	39				
19	1	18	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431034	2131041	29	29	9	1,3	1,04				
20	1	19	21	Prunus seroti	Capulín	PRSE1	431044	2131093	14	14	2	1,3	30				
21	1	20	7	Eucalyptus ci	Eucalípto rojé	EUCA1	431057	2131073	23	23	6	1,3	67,5				
22	1	21	28	Yucca giganti	Yuca	YUGU	431064	2131058	12	12	5	1,3	70				
23	1	22	28	Yucca giganti	Yuca	YUGU	431061	2131039	9,2	9,2	2,5	1,3	33				
24	1	23	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431073	2131100	21,7	21,7	3,4	1,3	41,5	1,3	21,5		
25	1	24	6	Cupressus mi	Cedro limón	CUMA	431070	2131089	7,5	7,5	0,3	1,3	11				
26	1	25	5	Cupressus lu:	Cedro blanco	CULU	431071	2131096	21,5	21,5	2,5	1,3	59,5	1,3	35,5		
27	1	26	17	Populus alba	Álamo platea	POAL	431047	2131096	4,6	4,6	1,8	1,3	9,5				
28	1	27	17	Populus alba	Álamo platea	POAL	431112	2131095	5,6	5,6	2,8	1,3	10				

Fuente: Elaboración propia.

El número de árboles registrados en el formato digital de EXCEL fueron 341, mismos que se ingresaron en el software de la siguiente manera en la imagen 3.15.

Imagen 3.17. Página de inicio i-Tree ECO.



Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente se ubica en la esquina superior izquierda el apartado de archivo donde se selecciona la opción de proyecto nuevo como se mostró en la anterior imagen.

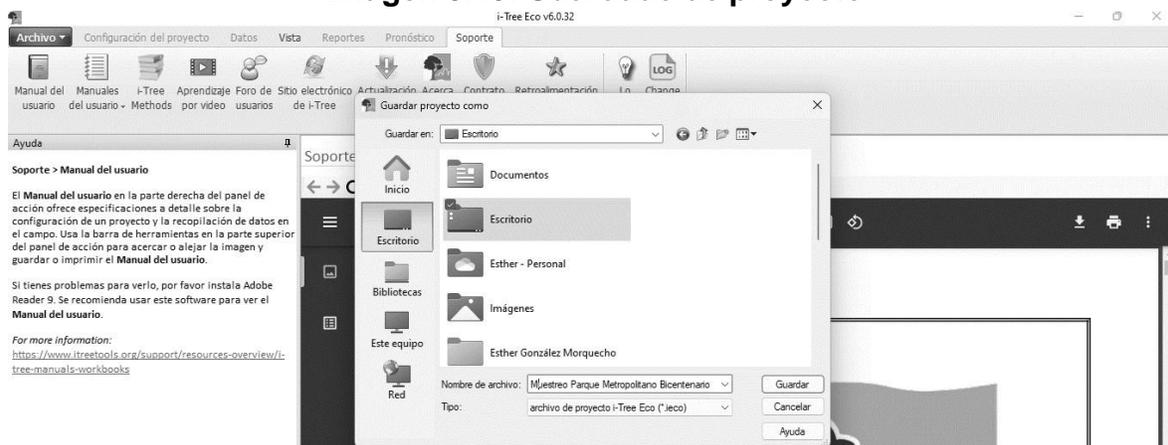
Imagen 3.18. Tipo de inventario



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se despliega una ventana donde se solicita seleccionar un tipo de proyecto, para lo cual se elige la opción de inventario completo como se observa en la imagen 3.16.

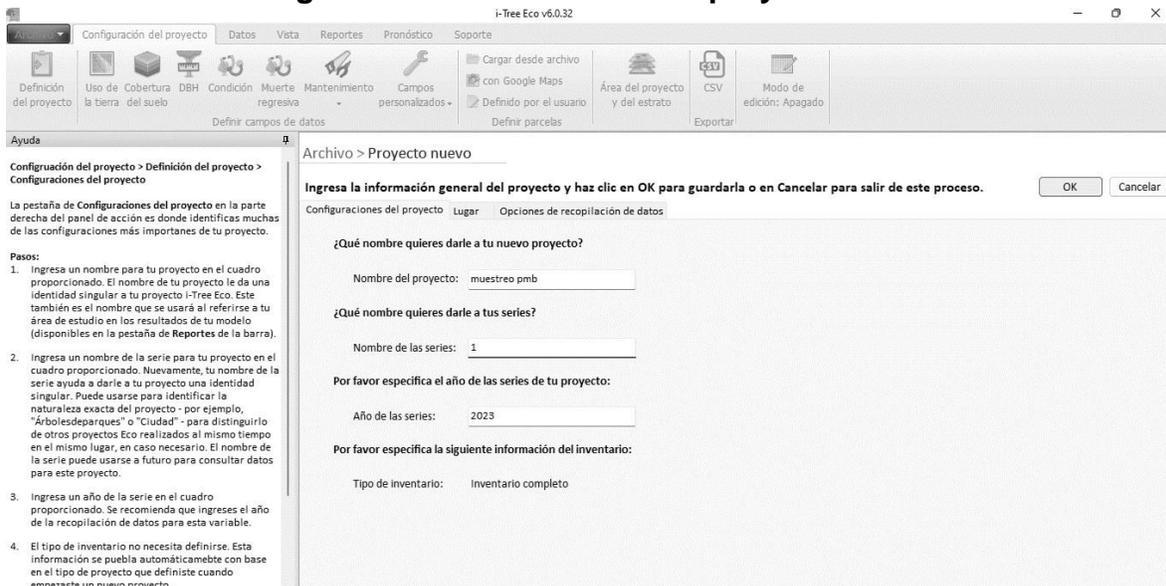
Imagen 3.19. Guardado de proyecto



Fuente: Elaboración propia

Se abre una ventana para seleccionar la ubicación del archivo que arrojará siendo libre la elección de guardado como lo refleja la imagen 3.17.

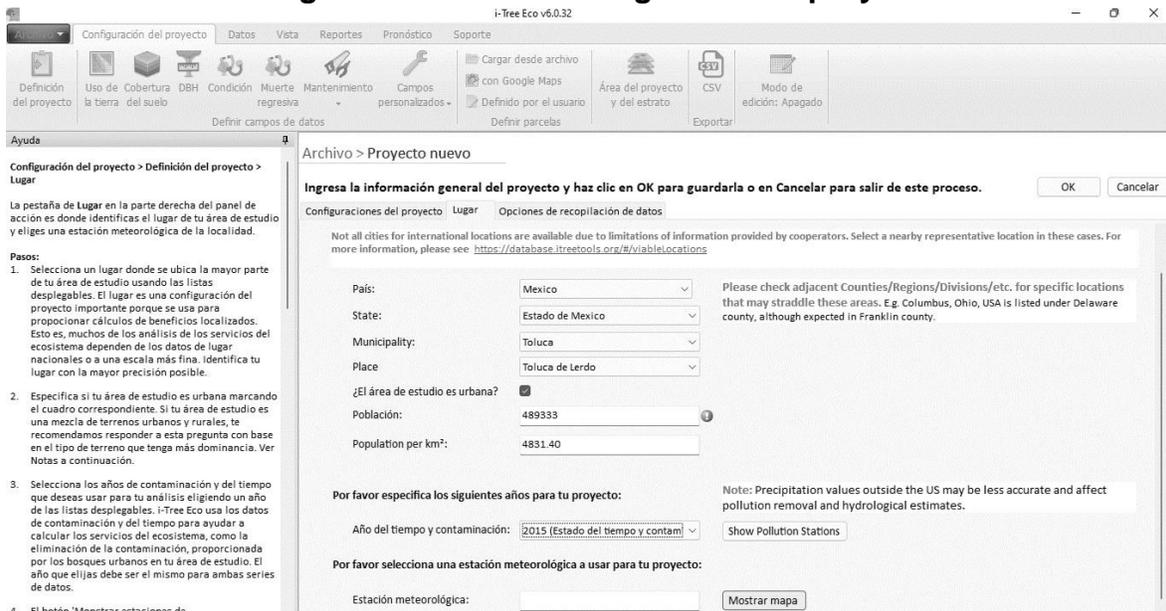
Imagen 3.20. Datos básicos de proyecto nuevo



Fuente: Elaboración propia.

La imagen 3.18 refleja los datos básicos que aparecen para su llenado como el nombre y el año en el que se registra, cuando se finaliza se da clic en el botón OK ubicado en la esquina superior derecha.

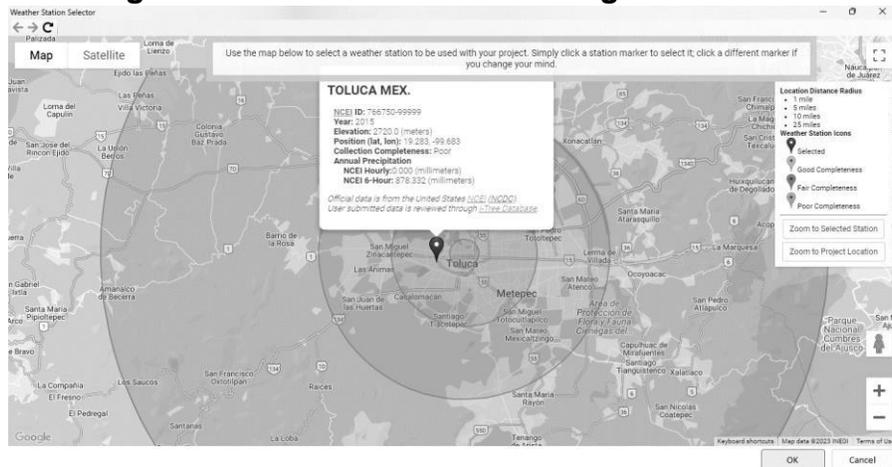
Imagen 3.21. Información general del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a ello, como se mostró en la imagen 3.19 se despliegan más datos a llenar sobre la ubicación exacta del proyecto, el año de tiempo y contaminación que se desea evaluar, como la presente investigación contempla de manera primordial los contaminantes se eligió la opción del año 2015 que contempla los datos sobre los contaminantes como se mencionó en la parte normativa, además de los datos de precipitación.

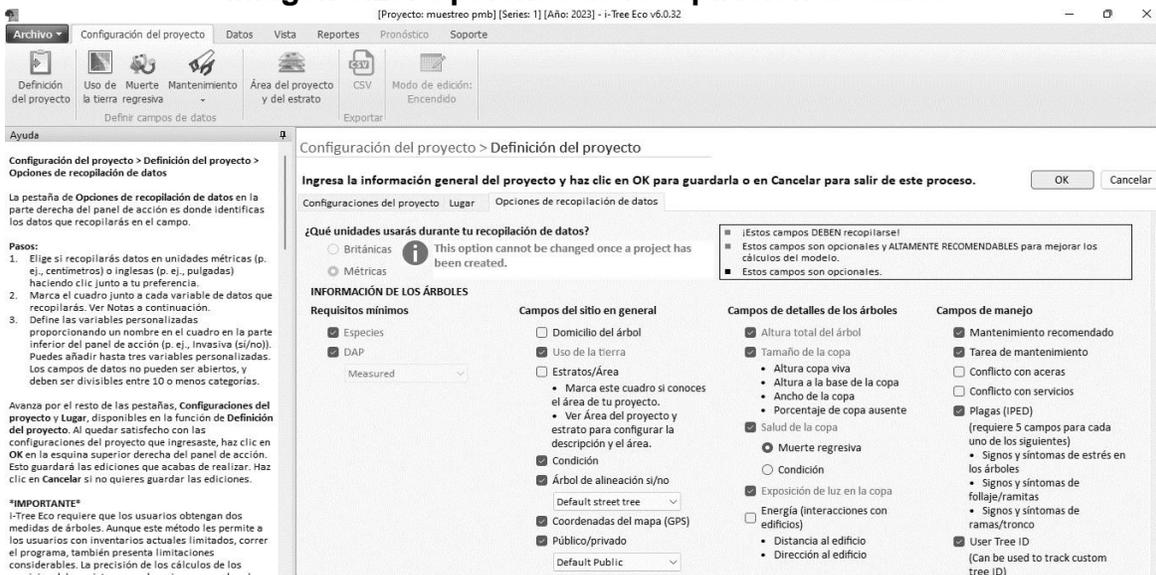
Imagen 3.22. Estaciones meteorológicas en Toluca



Fuente: Elaboración propia.

Como se ejemplifica en la imagen 3.20, se da clic en la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, una vez seleccionada se da clic al botón OK ubicado en la esquina inferior derecha.

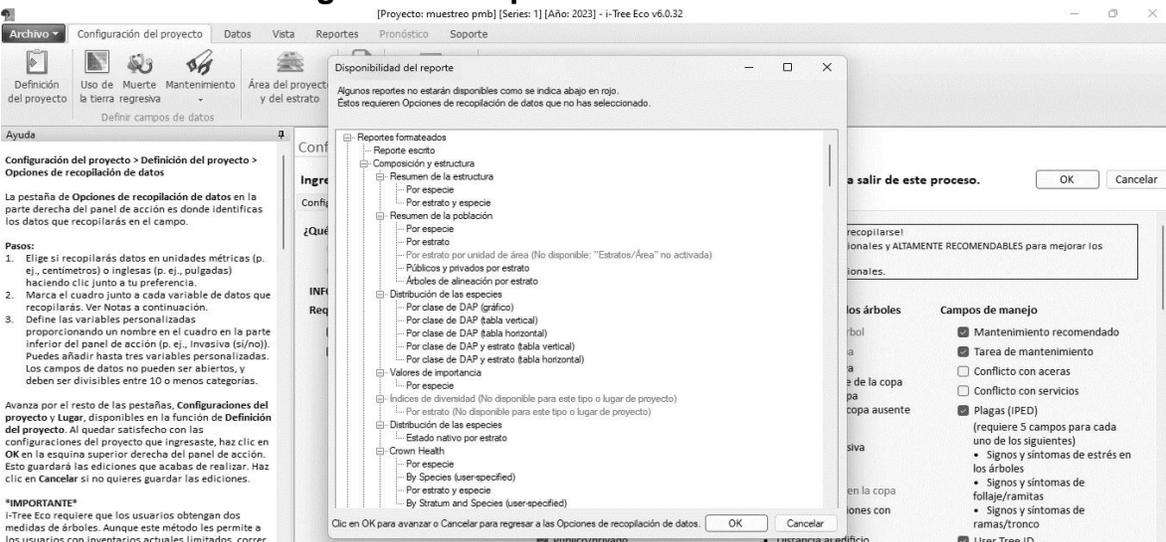
Imagen 3.23. Opciones de recopilación de datos



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las variables del formato se seleccionaron los casilleros que tuvieran el mismo nombre, de entre todas ellas la que se destaca poner especial énfasis es la de la unidad de medida donde se sugiere seleccionar unidades métricas como se muestra en la imagen 3.21.

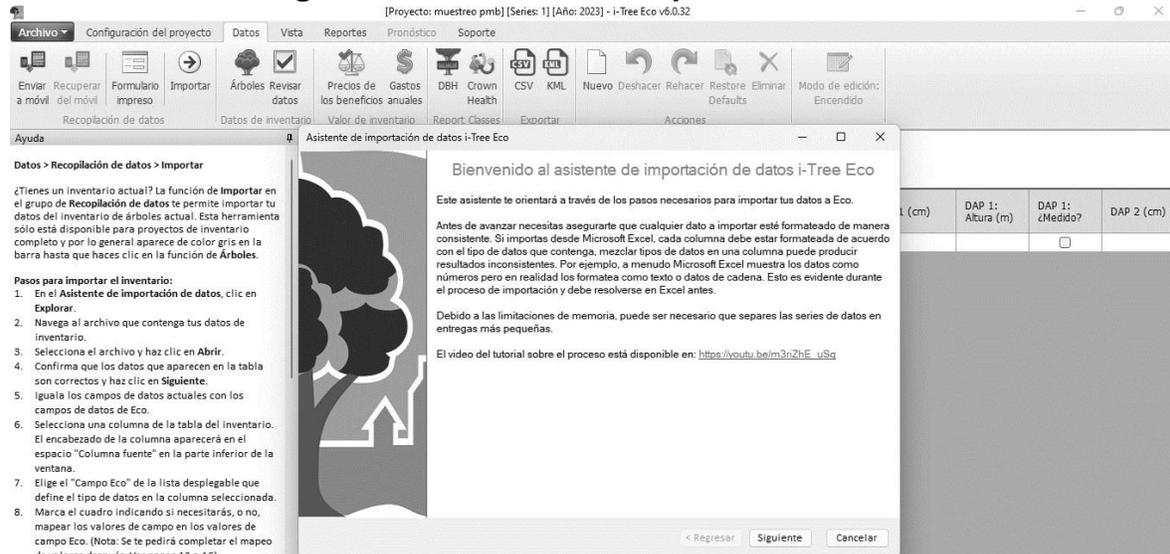
Imagen 3.24. Disponibilidad de información



Fuente: Elaboración propia.

Se despliega una ventana destacando en rojo las opciones no escogidas y marcando en color negro las que estarán disponibles para los siguientes procesos por lo que se da clic en el botón OK como se observa en la imagen 3.22.

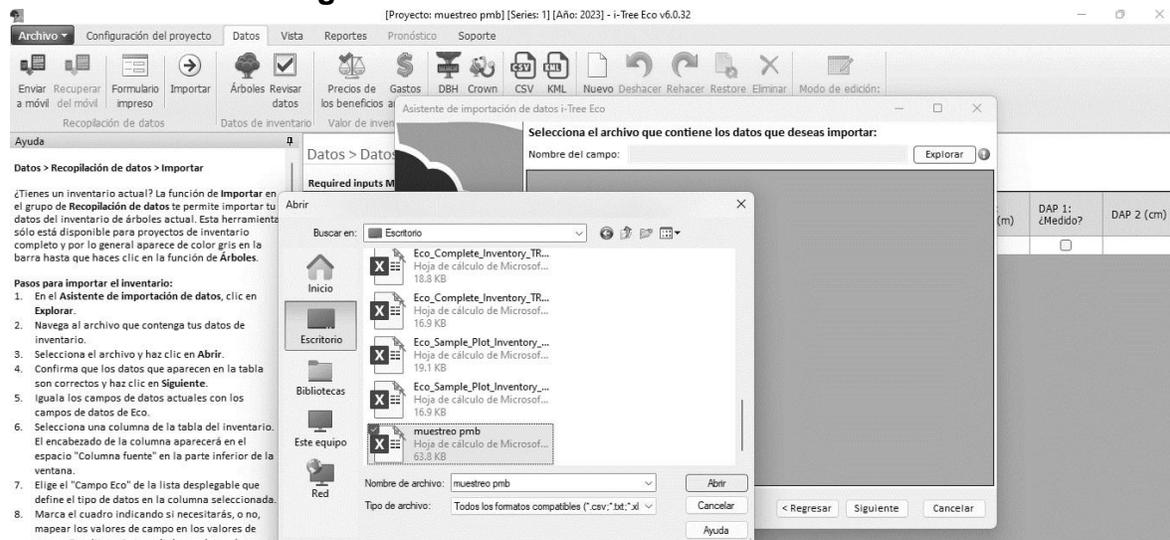
Imagen 3.25. Asistente de importación de datos



Fuente: Elaboración propia.

Como lo muestra la imagen 3.23, se despliega una ventana de bienvenida a la sección de importación de datos por lo que se da clic en el botón siguiente.

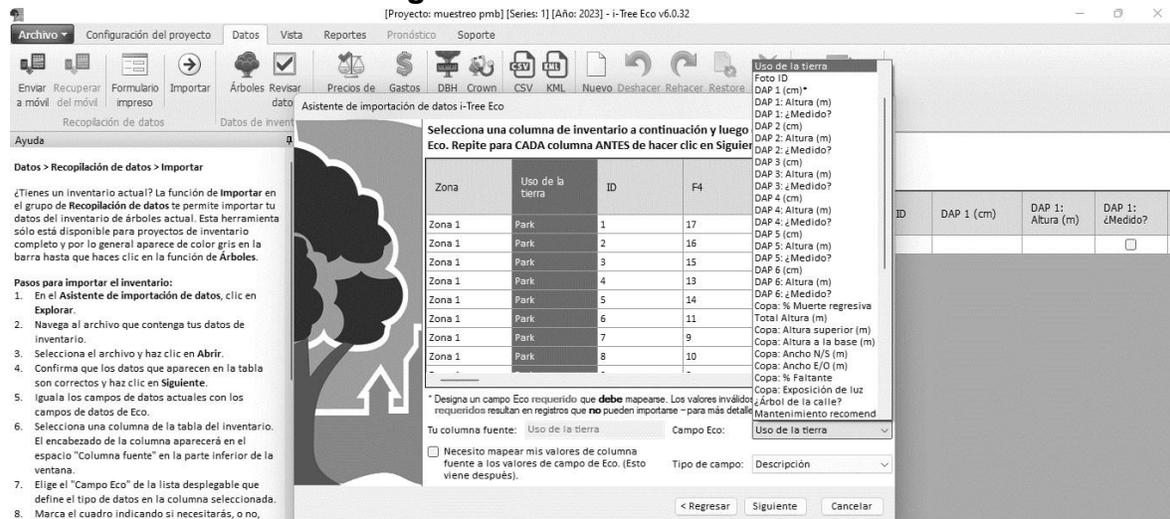
Imagen 3.26. Ubicación del formato de Excel



Fuente: Elaboración propia.

Como se ejemplifica en la imagen 3.24, se busca el archivo de EXCEL donde están los datos en limpio del inventario y una vez cargado se da clic en abrir.

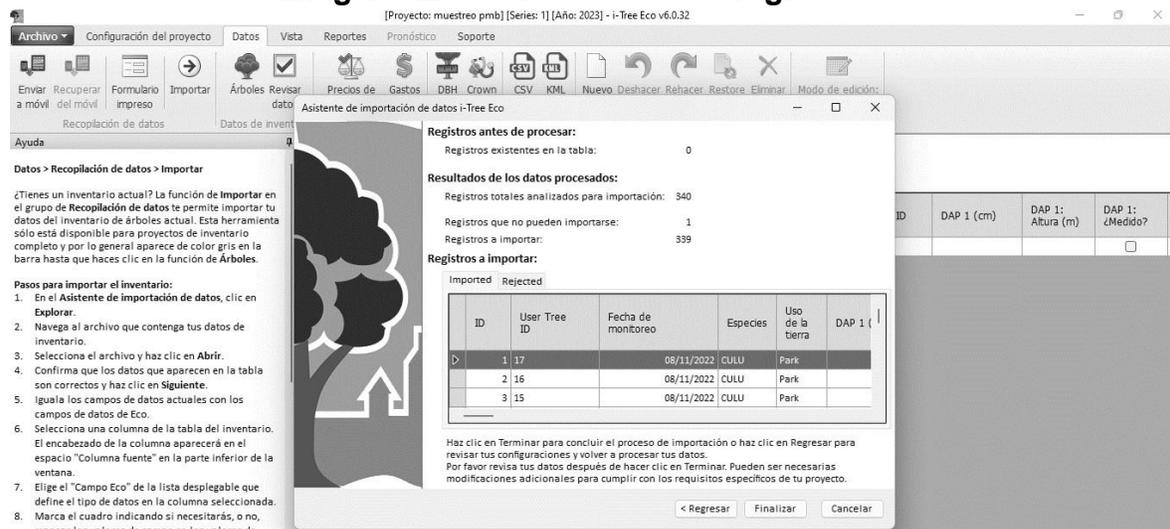
Imagen 3.27. Columnas de datos



Fuente: Elaboración propia.

Como se refleja en la imagen 3.25 se selecciona cada columna y se va determinando a qué tipo de dato corresponde según los datos de i-Tree ECO.

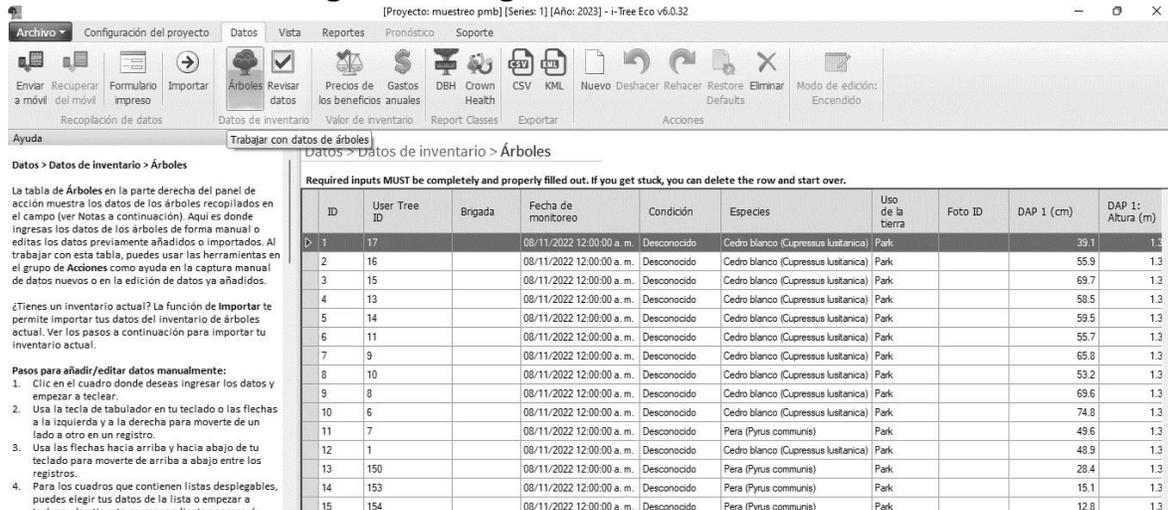
Imagen 3.28. Conteo de datos registrados.



Fuente: Elaboración propia.

El software de manera rápida realiza un conteo de información y determina cuantos datos se ingresan por filas y una vez validado dar clic en finalizar como se indica en la imagen 3.26.

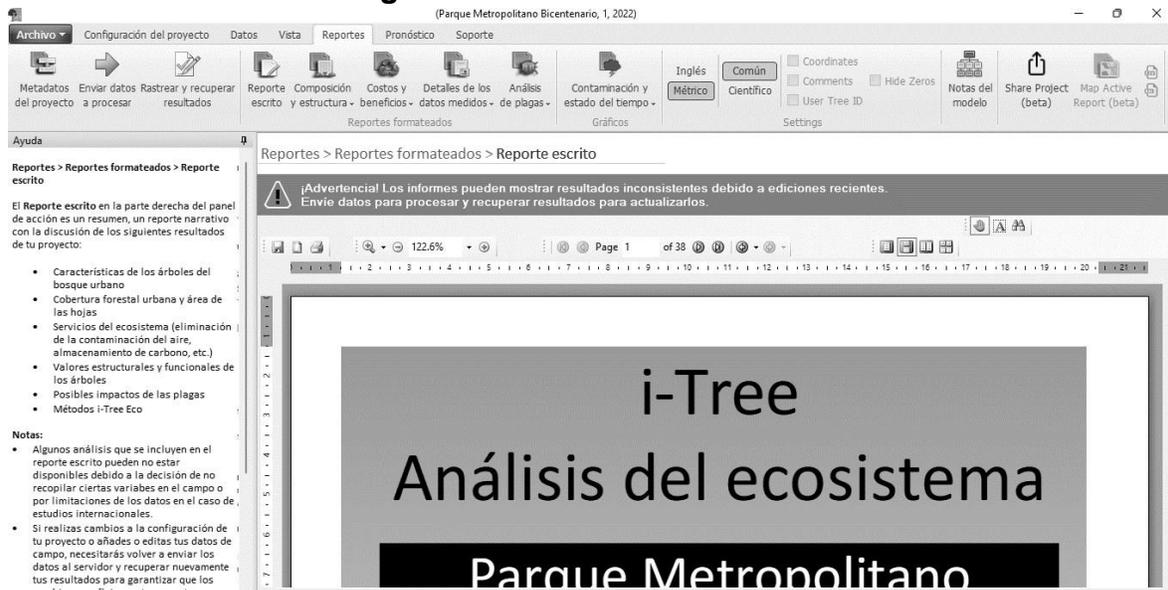
Imagen 3.29. Ingreso de datos a I-Tree ECO



Fuente: Elaboración propia.

Una vez completado esto los datos ya se ingresaron en I-tree ECO en una base de datos, misma que se manda a revisar con el botón revisar árboles ubicado en la pestaña superior de datos como se observa en la imagen 3.27.

Imagen 3.30. Resultados I Tree ECO



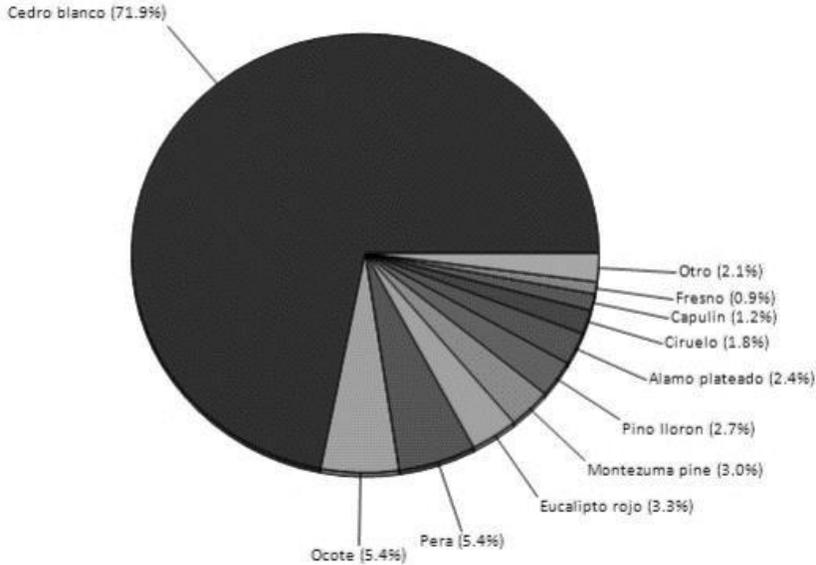
Fuente: Elaboración propia.

En la pestaña de reportes de da clic en enviar datos a procesar y una vez procesados como se observa en la imagen 3.28, aparece el informe denominado análisis del ecosistema en el cual se encuentran los cálculos respecto a la captura de contaminantes mismos que se exponen en el siguiente apartado.

3.2.3 Resultados

El software i Tree ECO procesó 335 de 341 árboles inventariados, mismos que conjugan una cobertura arbórea de 1, 894 hectáreas integrada por especies como el cedro blanco, capulín, álamo, ciruelo y pera destacando en su cobertura especies tales como el cedro, pera y ocote, para ilustrar esto se presenta en la gráfica 3.1 los datos arrojados en el reporte sobre la composición de los árboles en el parque metropolitano bicentenario:

Gráfica 3.1. Composición de las especies de árboles en parque metropolitano bicentenario



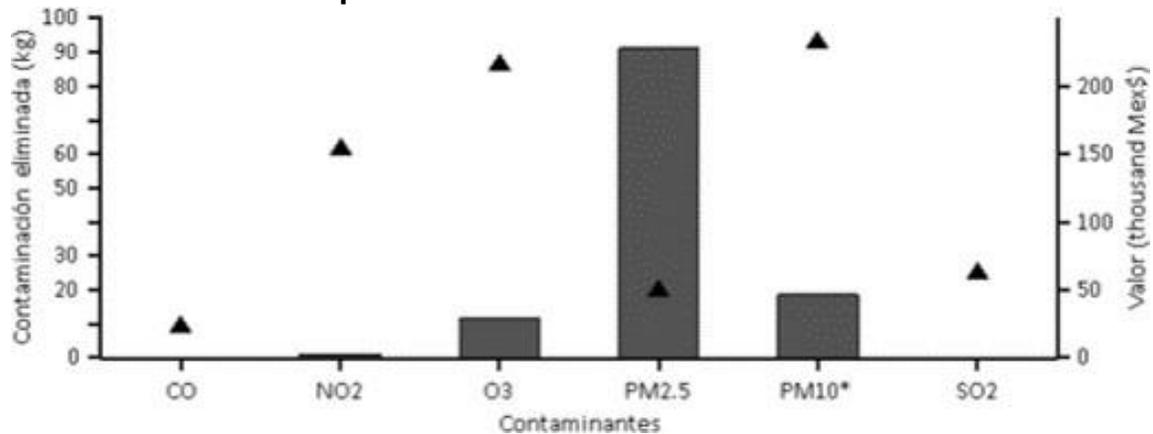
Fuente: (I Tree ECO, 2022).

Los árboles mostrados en la gráfica 3.1, de acuerdo al software, proveen servicios ambientales como los siguientes: eliminan de contaminación 294.60 kilogramos por año, almacenan 211.90 toneladas métricas anuales de carbono mientras que de carbono secuestrado retienen 5.55 toneladas métricas anuales, producen 14.80

toneladas métricas de oxígeno al año y evitan 656.20 metros cúbicos de escurrimientos al año.

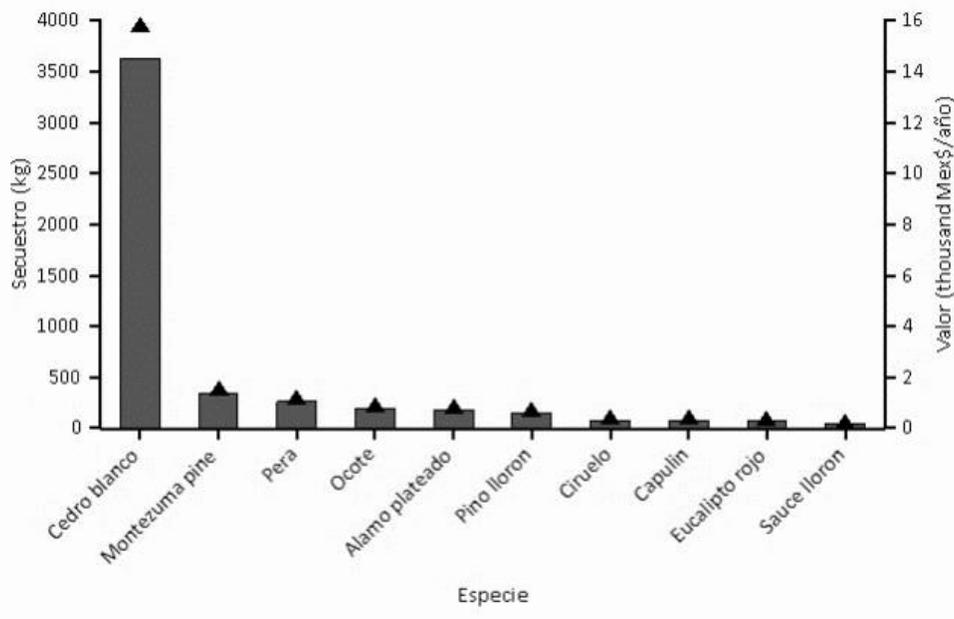
Adicional a esto se expone la eliminación de contaminación, secuestro-almacenamiento de carbono y producción de oxígeno mostrado en las gráficas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y cuadro 3.4 respectivamente.

Gráfica 3.2. Eliminación anual de la contaminación (puntos) y valor (barras) por árboles urbanos en el PMB



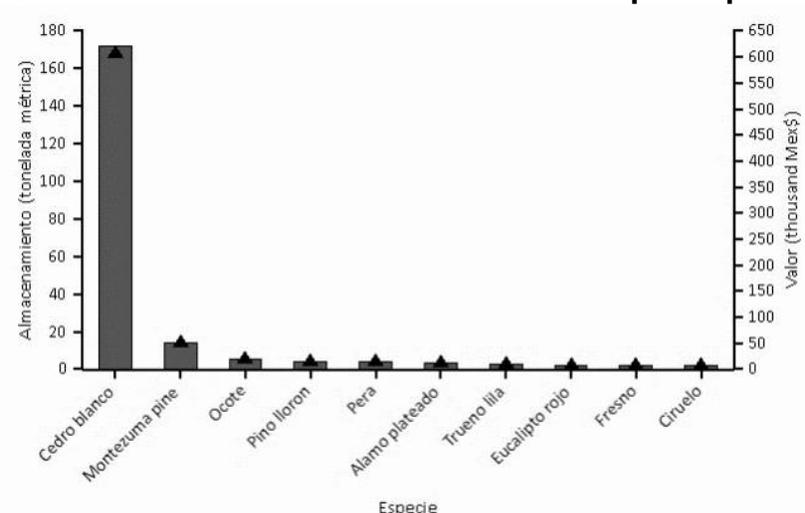
Fuente: (I Tree ECO, 2022).

Gráfica 3.3. Secuestro bruto de carbono anual por especie



Fuente: (I Tree ECO, 2022).

Gráfica 3.4. Almacenamiento de carbono por especie



Fuente: (I Tree ECO, 2022).

Cuadro 3.4. Producción de oxígeno por especie

Especie	Secuestro bruto		Número de árboles	Área foliar (hectárea)
	Oxígeno (kilogramo)	de carbono (kilogramo/año)		
Cedro blanco	10,508.59	3,940.72	241	11.85
Montezuma pine	1,001.23	375.46	10	0.71
Pera	763.22	286.21	18	0.22
Ocote	563.17	211.19	18	0.60
Alamo plateado	516.57	193.71	8	0.42
Pino lloron	439.93	164.97	9	0.60
Ciruelo	232.64	87.24	6	0.08
Capulín	225.29	84.48	4	0.10
Eucalipto rojo	212.00	79.50	11	0.62
Sauce lloron	130.94	49.10	2	0.02
Trueno lila	74.48	27.93	2	0.29
Fresno	65.03	24.38	3	0.32
Oyamel	34.78	13.04	1	0.01
Pine spp	33.85	12.69	1	0.02
Durazno	0.62	0.23	1	0.00

Fuente: (I Tree ECO, 2022).

En cambio, los servicios ecosistémicos calculados por la Coordinación General de Conservación Ecológica en 2019 mediante el software se obtuvieron de la evaluación de 3,022 árboles, por lo que para realizar una comparación de los servicios obtenidos en ese año y el 2022 se requirió el cálculo de la equivalencia,

es decir; si los tres mil veintidós árboles representan el total de árboles dentro del parque y el inventario actual contempló trescientos treinta y tres los beneficios obtenidos de este inventario representan 11.08% del total, entonces de los resultados del primer inventario se extrajo el porcentaje similar de cada servicio calculado para compararlo con lo obtenido como se muestra en las imágenes 3.29 y 3.30 mostradas a continuación.

Imagen 3.31. Datos de eliminación de contaminantes en 2019

- Cobertura arborea: 1,390.6 %
- Especies más comunes de árboles: Cupressus lusitanica, Pinus greggii, Pinus montezumae
- Porcentaje de árboles menores a 6" (15.2 cm) de diámetro: 19.3 %
- Eliminación de la contaminación: 1.142 tonelada métrica/año (Mex\$1.12 millón/año)
- Almacenamiento de carbono: 859.5 tonelada métrica (Mex\$712 mil)
- Secuestro de carbono: 24.08 tonelada métrica (Mex\$19.9 mil/año)
- Producción de oxígeno: 64.2 tonelada métrica/año
- Escurrimiento evitado: 3.669 thousand metro cúbico/año (Mex\$165 mil/año)
- Ahorros de energía de edificios: N/A – datos no recopilados
- Emisiones de carbono evitadas: N/A – datos no recopilados
- Valores estructurales: Mex\$133 millón

Fuente: (I Tree ECO, 2019).

Imagen 3.32. Datos de eliminación de contaminantes en 2022

- Cobertura arborea: 1.9 hectáreas
- Especies más comunes de árboles: Cedro blanco, Ocote, Pera
- Porcentaje de árboles menores a 6" (15.2 cm) de diámetro: 5.4 %
- Eliminación de la contaminación: 294.6 kilogramos/año (Mex\$310 mil/año)
- Almacenamiento de carbono: 211.9 tonelada métrica (Mex\$781 mil)
- Secuestro de carbono: 5.551 tonelada métrica (Mex\$20.5 mil/año)
- Producción de oxígeno: 14.8 tonelada métrica/año
- Escurrimiento evitado: 656.2 metro cúbico/año (Mex\$29.5 mil/año)
- Ahorros de energía de edificios: N/A – datos no recopilados
- Emisiones de carbono evitadas: N/A – datos no recopilados
- Valores de sustituciones: Mex\$19.5 millón

Fuentes: (I Tree ECO, 2022).

Cuadro 3.5. Comparación de los servicios ecosistémicos prestados en 2019 y 2022

Servicio ecosistémico	Muestra proporcional 2019	Muestreo 2022	Total 2022
Eliminación de contaminantes (CO, O₃, SO₂ NO₂, PM_{2.5} y PM₁₀)	126.53 kilogramos anuales	294.60 kilogramos anuales	2 648.84 kilogramos anuales
Almacenamiento de carbono	95.23 toneladas métricas	211.90 toneladas métricas	1 912 toneladas métricas
Secuestro de carbono	2.66 toneladas métricas	5.55 toneladas métricas	50.09 toneladas métricas
Producción de oxígeno	7.11 toneladas métricas	14.80 toneladas métricas	133.57 toneladas métricas
Escurrimiento evitado	406.52 metros cúbicos anuales	656.20 metros cúbicos anuales	5 922.3 toneladas métricas
Emisión de COV's (isopreno y monoterpenos)	36.01 kilogramos anuales	106.50 kilogramos anuales	961.19 toneladas métricas

Fuente: Elaboración propia con base en I Tree ECO, (2022).

Como se puede observar en el cuadro 3.5 los resultados más recientes presentan un aumento de los servicios ecosistémicos en general respecto al año de comparación, sin embargo, se observa un notable aumento de emisión de compuestos orgánicos equivalentes siendo esto a tener en observación dada la naturaleza contaminante de este compuesto, pues si en los años posteriores los árboles generan más compuestos de lo que eliminan de contaminantes impactarías negativamente en la calidad atmosférica, sin embargo en la actualidad aportan de manera positiva.

Para trasladar estos datos al contexto total del parque se realizó una regla de tres partiendo de que los datos antes presentados representan el contexto del 11.08% de los árboles se calculó entonces la equivalencia del servicios ecosistémico de captura de contaminantes proporcionado por el 100% de los árboles en el parque, dando como resultado lo presentado en la última columna del cuadro 3.2.3.2.

Derivado de los resultados anteriormente expuestos es que se realiza entonces un proceso de análisis con respecto a la hipótesis, pregunta de investigación, objetivos inicialmente planteados en la investigación, permitiendo entonces generar conclusiones, mismas que se exponen en el siguiente capítulo.



CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se refirió anteriormente el presente capítulo expone en una primera sección el análisis del cumplimiento de la pregunta de investigación, hipótesis, y objetivos propuestos en inicialmente además de la emisión de recomendaciones, en una segunda sección se emiten recomendaciones derivadas del presente trabajo, para el tercer apartado se adjunta la bibliografía empleada a lo largo de la investigación, finalmente se anexa la parte documental así como fotográfica que da certeza además de soporte al trabajo realizado.

4.1 Conclusiones

De manera resolutive, los resultados arrojados por el software han permitido responder a la pregunta de investigación encontrando que los árboles del parque actualmente eliminan 2 mil 648 punto 84 de contaminantes (ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado menor a 2.5, material particulado menor a 10 micras mayor a 2.5) y emiten 961 punto 19 kilogramos de compuestos orgánicos volátiles.

Derivado de esto, la hipótesis inicialmente planteada, se acepta parcialmente pues el valor del servicio de captura de contaminantes atmosféricos es cercano a los esperados, sin embargo, los resultados de la emisión de compuestos orgánicos volátiles superan ligeramente los esperados.

En tanto, el objetivo principal de la investigación se ha cumplido pues mediante el trabajo de campo, la aplicación de metodología cuantitativa, cualitativa así como el procesamiento de datos en I-Tree ECO permitieron valorar en kilogramos este servicio ecosistémico o ambiental proporcionado por los árboles, encontrándose que los mismos abonan positivamente a la calidad atmosférica de la ciudad de Toluca.

Lo anterior se logró en primer lugar gracias al conocimiento de conceptos claves que se ocuparon durante la investigación como contaminantes, servicios ecosistémicos, áreas naturales protegidas además del conocimiento de la herramienta I-Tree ECO.

En segundo lugar, se comprendieron con profundidad los instrumentos legales y normativos en materia forestal, de contaminantes, cambio climático, servicios ambientales, así como áreas naturales protegidas que aplican a la zona de estudio.

En tercer lugar, los datos recabados con la guía de los manuales de i -Tree ECO así como su procesamiento en el programa permitieron presentar la valoración del servicio ecosistémico antes referido por los árboles dentro del parque.

Derivado de esto, es que se determina que la investigación se apega a lo ya establecido en la comunidad científica y técnica para la medición de este servicio ambiental, además se resalta ser una opción confiable y replicable para seguir aplicándolo no sólo en el resto de los espacios arbolados de la ciudad sino trasladarlo un contexto nacional sobre todo por el alarmante contexto de contaminación que se vive en el país.

El que se observe un incremento en los contaminantes atmosféricos como el ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado menor a 2.5, material particulado menor a 10 micras mayor a 2.5, por lo expuesto en el presente trabajo, implica un impacto a corto y largo plazo tanto en la salud como en la calidad de vida de los ciudadanos por lo que la captura de estos contaminantes significaría un beneficio para la población en este caso de Toluca traduciéndose por un lado en una disminución de sintomatologías, padecimientos, enfermedades, por otro en una compensación por la huella ambiental que tiene cada persona o empresa en la ciudad que impacta en la calidad del aire.

Si bien esta pequeña área natural protegida abona positivamente a la calidad atmosférica de la ciudad, no alcanzaría para compensar dos los impactos negativos antes expuesto, por lo que a raíz de esto en la siguiente sección se emiten recomendaciones o consideraciones para esto.

4.2 Recomendaciones

Como primer punto, se extiende una atenta invitación a colegas de las ciencias ambientales u otras ramas o ciencias afines a que puedan aportar de igual manera en la cuantificación del servicio ecosistémico de captura de contaminantes de los árboles en las diversas áreas naturales protegidas así como las áreas verdes, camellones o espacios urbanos que los contengan en la ciudad de Toluca para conocer claramente el aporte que tiene cada una hacia calidad atmosférica en el lugar e incluso para gestionar de mejor manera estos espacios con el fin de compensar las afectaciones atmosféricas causadas por las actividades humanas desarrolladas en la ciudad.

Adicionalmente se recomienda a los colegas documentar más a fondo las características de cada especie con su capacidad de almacenar contaminantes diversos, para averiguar que especies pueden resultar las más idóneas para implementar estrategias de mayor captura de contaminantes ya sea atmosféricos, hidrológicos o de otra índole.

Por otra parte, a las personas que deseen emplear el software i-Tree ECO en primer lugar se recomienda tener nociones sobre inventarios forestales o bien acompañarse de algún experto o técnico que ayude, como segunda recomendación se hace reiterativo el cuidado en levantamiento de datos al programa, pues la adecuada toma de datos así como ingreso al programa es determinante en el resultado que arroje el reporte final, de esta manera se evitan datos erróneos o una sobre estimación es recomendable seguir estas pautas.

Respecto a las desventajas observadas en el software se destaca que I-Tree ECO no evalúa el total de los datos ingresados, por lo que se recomienda muestrear al menos 10 ejemplares más como respaldo para cubrir con los objetivos de muestra requeridos.

Otra desventaja observada ha sido la falta de ingreso de plagas regionales en la plataforma dado que las únicas que maneja son consideradas en el país de origen de la aplicación, en este caso los Estados Unidos de América, lo anterior puede no

considerarse en el cálculo de salud de los árboles quitando precisión y exactitud a la estimación de este servicio ecosistémico.

Por otro lado, se recomienda al personal encargado del mantenimiento de áreas verdes en el Parque Metropolitano Bicentenario tome en cuenta lo reportado por I-Tree ECO para ejecutar mejores labores de mantenimiento, vigilancia poniendo en primer lugar a los árboles que proporcionan más servicios ecosistémicos como cedro blanco, eucalipto rojo, pino moctezumae y pera.

Finalmente, se recomienda integrar el uso de este software en organismos gubernamentales a nivel municipal, estatal y nacional para respaldar en primer lugar la gestión del arbolado, en segundo lugar para corroborar la efectividad de las estrategias tomadas respecto al manejo de los árboles y en tercer lugar para crear proyecciones futuras mediante I-Tree ECO sobre el estado de las plantaciones actuales o las que se pretendan realizar para así garantizar la provisión del servicio ecosistémico de captura de contaminantes por los árboles y evitar sus perjuicios ambientales.

Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2023, marzo 14). *El impacto de los compuestos orgánicos volátiles en la calidad del aire interior*.
<https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-de-los-compuestos-organicos-volaticos-en-la-calidad-del-aire-interior>
- Aguaron, E., & McPherson, E. G. (2012a). Comparison of Methods for Estimating Carbon Dioxide Storage by Sacramento's Urban Forest. En R. Lal & B. Augustin (Eds.), *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems* (pp. 43–71). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5_3
- Aguaron, E., & McPherson, E. G. (2012b). Comparison of methods for estimating carbondioxide storage by sacramento's urban forest. En *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems* (pp. 44–71). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5_3
- Aguilar Rincán, K. N., Cruz Cruz, M. E., & Salmerón Rodríguez, N. L. (2022). Caracterización, servicios ecosistémicos del arbolado y lineamientos generales para la arborización en aceras de la ciudad de San Salvador. [Universidad de El Salvador]. En *Universidad de El Salvador*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/26644>

- Amini Parsa, V., Salehi, E., & Yavari, A. (2020). Improving the provision of ecosystem services from urban forest by integrating the species' potential environmental functions in tree selecting process. *Landscape and Ecological Engineering*, 16(1), 23–37. <https://doi.org/10.1007/s11355-019-00401-x>
- Amini Parsa, V., Salehi, E., Yavari, A. R., & van Bodegom, P. M. (2019). Evaluating the potential contribution of urban ecosystem service to climate change mitigation. *Urban Ecosystems*, 22(5), 989–1006. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00870-w>
- Argoty Cano, C., & Meza Martín, V. (2014). *Evaluación del servicio ecosistémico de remoción de contaminantes atmosféricos por parte del bosque urbano en sitios piloto del valle de aburrá* [Escuela de Ingeniería de Antioquia]. https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/1929/ArgotyCamila_2014_EvaluacionServicioEcosistemico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ayuntamiento de Mérida. (2018). *Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida*. http://www.merida.gob.mx/sustentable/contenidos/doc/inventario_arbolado_merida.pdf
- Baldocchi, D. (1988). A Multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment (1967)*, 22(5), 869–884. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981\(88\)90264-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(88)90264-8)
- Baldocchi, D. D., Hicks, B. B., & Camara, P. (1987). A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment (1967)*, 21(1), 91–101. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981\(87\)90274-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(87)90274-5)
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014a). Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. *AMBIO*, 43(4), 466–479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014b). Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43, 466–479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Barra López, D. (2019). *Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2, 5), mediante el software I-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170493>
- Batista, J. P., Godfrid, J., & Stevenson, H. (2019). *La difusión del concepto de servicios ecosistémicos en la Argentina. Alcances y resistencias*. (Vol. 13). <https://www.redalyc.org/journal/3871/387171142005/html/>

- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 99(3), 347–360. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00016-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00016-5)
- Berland, A. (2020). Urban tree growth models for two nearby cities show notable differences. *Urban Ecosystems*, 23(6), 1253–1261. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01015-0>
- Bidwell, R. G. S., & Fraser, D. E. (1972). Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*, 50(7), 1435–1439. <https://doi.org/10.1139/b72-174>
- Boukili, V. K. S., Bebber, D. P., Mortimer, T., Venicx, G., Lefcourt, D., Chandler, M., & Eisenberg, C. (2017). Assessing the performance of urban forest carbon sequestration models using direct measurements of tree growth. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, 212–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.015>
- Camacho, V., & Ruiz, R. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Biociencias*, 1. https://www.researchgate.net/publication/235985361_Marco_conceptual_y_clasificacion_de_los_servicios_ecosistemicos
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2018). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. *Diario Oficial De La Federacion*, 1–69.
- Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. (2023). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Cantua A., J. A., Flores O., A., & Valenzuela S., J. H. (2019). Compuestos orgánicos volátiles de plantas inducidos por insectos: situación actual en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2010, 729–742.
- Cardelino, C. A., & Chameides, W. L. (1990). Natural hydrocarbons, urbanization, and urban ozone. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 95(D9), 13971–13979. <https://doi.org/10.1029/JD095ID09P13971>
- Carson, R. (1962). *The Silent Spring (La Primavera Silenciosa)*. Versión en español en *Biblioteca UNGS*.
- Castellanos, M. H. (2011). *Fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas*. Hospital Roosevelt, 1-2.
- CEPANAF, & SMA. (2021). *Áreas Naturales Protegidas*. https://cepanaf.edomex.gob.mx/areas_naturales_protegidas
- Climate Watch Data. (2019). *Emissions and Policies in Mexico*. https://www.climatewatchdata.org/countries/MEX?end_year=2019&start_year=1990

- CMAP, & UICN. (1994). *Directrices para la categorización de áreas naturales protegidas*. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/1994-007-Es.pdf>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2017, diciembre 31). *Clasificación de los contaminantes*. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020, agosto 31). *Servicios ambientales*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/serviciosam.html>
- CONANP. (2016). *Áreas Naturales Protegidas Decretadas*. <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-decretadas>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2015). Acuerdo de París. *Acuerdo de París*, 1–18. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish.pdf
- Coordinación General de Conservación Ecológica. (2019). *Mapa de localización del Parque Metropolitano Bicentenario en la ciudad de Toluca*.
- Coordinación General de Conservación Ecológica. (2019). *Mapa de zonificación general en el programa de manejo del Parque Metropolitano Bicentenario*.
- Coordinación General de Conservación Ecológica. (2019). *Mapa de zonificación de la infraestructura en el programa de manejo del Parque Metropolitano Bicentenario*.
- Coordinación General de Conservación Ecológica. (2019). *Mapa de las zonas de mantenimiento del Parque Metropolitano Bicentenario*.
- Coordinación General de Conservación Ecológica. (2019). *Inventario arbóreo del Parque Metropolitano Bicentenario*.
- Coordinación General de Conservación Ecológica. (2021, marzo 10). *Uso de I-Tree Eco en el inventario de arbolado del Parque Metropolitano Bicentenario*. <https://www.youtube.com/watch?v=fBWbnYgu5PU>
- Coordinación General de la Conservación Ecológica. (2022). *Servicios ambientales del parque ambiental bicentenario* (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México, Ed.).
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- D. Calderón, A. (2017). MENSURA FORESTAL DASOMETRÍA. En *Cuadernos de Dasonomía* (Vol. 18, Número Universidad Nacional de Cuyo, pp. 5–6). Departamento

- de Producción Agropecuaria. <https://docplayer.es/19871504-Mensura-forestal-dasometria.html>
- Daily, G., Postel, S., Bawa, K., & Kaufman, L. (1997). Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems. *Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press*.
https://www.researchgate.net/publication/37717461_Nature's_Services_Societal_Dependence_On_Natural_Ecosystems
- de Groot, R. S. (1987). Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist*, 7(2), 105–109. <https://doi.org/10.1007/BF02240292>
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, 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)
- Escobedo, F., & Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1), 29–33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33933105>
- Espinoza, I. (2020). Toluca, noveno lugar en contaminación en América Latina. *UNIVERSITARIA*, 3(20), 28–29.
<https://revistauniversitaria.uaemex.mx/article/view/13875>
- GAFMEX. (2023a). *CLINÓMETRO ELECTRÓNICO ECII D HAGLÖF*.
- GAFMEX. (2023b). *Forcípula Mantax Blue Marca Haglöf | GAFMEX*.
<https://gafmex.com/forcipula-mantax-blue-marca-haglof/>
- Gallo Cabeza, M. H. R. (2017). *Servicios ecosistémicos del arbolado urbano del Carmen del Bolívar, departamento de Bolívar* [Universidad de Sucre].
<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/596/T574.5268%20G%20172.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gobierno de México, & Secretaría de Educación Pública. (2022, noviembre 22). *Servicios ambientales que ofrecen las regiones naturales de México – Aprende en Casa*.
<https://aprendeencasa.sep.gob.mx/primaria/servicios-ambientales-que-ofrecen-las-regiones-naturales-de-mexico/>
- Gobierno del Estado de México. (2005). Periódico Oficial Gaceta del Gobierno del Estado Libre y Soberano de México 241. Código para la Biodiversidad del Estado de México <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/codvig/codvig009.pdf>
- Gobierno del Estado de México. (2017a). *Plan de Desarrollo del Estado de México*. Gaceta de Gobierno.
<https://edomex.gob.mx/sites/edomex.gob.mx/files/files/PDEM20172023.pdf>

Gobierno del Estado de México. (2017b, julio 21). *PROYECTO DE NORMA TÉCNICA ESTATAL AMBIENTAL NTEA-019-SeMAGEM-DS-2017, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES DE PROTECCIÓN, CONSERVACIÓN, FOMENTO, CREACIÓN, REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ÁREAS VERDES Y MACIZOS ARBÓREOS DE LAS ZONAS URBANAS EN EL TERRITORIO DEL ESTADO DE MÉXICO*. Periódico Oficial Gaceta de Gobierno.
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2017/jul211.pdf>

Gobierno del Estado de México. (2018, February 7). *NORMA TÉCNICA ESTATAL AMBIENTAL NTEA018-SeMAGEM-DS-2017, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CRITERIOS QUE DEBERÁN CUMPLIR LAS AUTORIDADES DE CARÁCTER PÚBLICO, PERSONAS FÍSICAS, JURÍDICAS COLECTIVAS, PRIVADAS Y EN GENERAL TODOS AQUELLOS QUE REALICEN LABORES DE PODA, DERRIBO, TRASPLANTE Y SUSTITUCIÓN DE ÁRBOLES EN ZONAS URBANAS DEL ESTADO DE MÉXICO*.
<http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-edm/EM-NT-NTEA-018-SeMAGEM-DS-2017.pdf>

Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México*.
https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/proaire/34_ProAire%20Estado%20de%20M%C3%A9xico.pdf

H. Ayuntamiento de Colima, Instituto de Planeación para el municipio de Colima a través de la Coordinación de Ordenamiento Territorial y Ambiental, Dirección de Ecología y Medio Ambiente, Dirección de Parques, J. y Á. V., Fondo Noroeste, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, United States Forest Service (USFS), & Universidad de Colima-Facultad de Arquitectura y Diseño. (2019). *Plan de Manejo Del Arbolado Urbano De La Ciudad De Colima*.

Hirabayashi, S. (2011). Urban forest effects-Dry deposition (UFORE-D) model enhancements. *Citeseer*.

Hirabayashi, S. (2012). *i-Tree Eco precipitation interception model descriptions*. Washington, DC: US Department of Agriculture Forest Service and Kent, OH: Davey Tree Expert Co.

Hirabayashi, S., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2011). Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. *Environmental Modelling & Software*, 26(6), 804–816.

Hirabayashi, S., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2012). *i-Tree eco dry deposition model descriptions*. *Citeseer: Princeton, NJ, USA*.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/%C3%81reas-verdes-urbanas-en-Latinoam%C3%A9rica-y-el-Caribe.pdf>

Ley N° 3001 de valoración y retribución de los servicios ambientales, (2006) (testimony of Congreso de la nación paraguaya).

López-López, S. F., Martínez-Trinidad, T., Benavides-Meza, H. M., García-Nieto, M., Ángeles-Pérez, G., 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 López, S. F. (2020). *Programa internacional del servicio forestal de los Estados Unidos*.

Lovett, G. M. (1994). Atmospheric Deposition of Nutrients and Pollutants in North America: An Ecological Perspective. *Ecological Applications*, 4(4), 629–650. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1941997>

Mañón de la Cruz, R. (2018). *Análisis de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario en la ciudad de Toluca*. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/80285/UAEM-FaPUR-TESIS-Roc%C3%ADo%20Ma%C3%B1on%20de%20la%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez 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 EcoDiversity, structure and ecosystem services of trees in four parks in Texcocousing i-Tree Eco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12, 202–223. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/880/2675>

Mcpherson, E. G. (1998). ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE REDUCTION BY SACRAMENTO'S URBAN FOREST. *Journal of Arboriculture*, 24(4), 215–223. https://www.fs.usda.gov/psw/publications/mcpherson/psw_1998_mcpherson003.pdf

Milián, L. (2007). *Historia de la ecología* [Universidad San Carlos Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/07/07_1934.pdf

Millenium Ecosystem Assessment. (2005). *Panorama general* . <https://www.millenniumassessment.org/es/About.html#10>

Millennium Ecosystem Assessment. (2003). Ecosistemas y bienestar humano: Marco para la evaluación. *Evaluación de Ecosistemas del Milenio*, 1–20.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Estamos Gastando más de lo que Poseemos: Capital Natural y Bienestar Humano (Declaración del Consejo de la EM). *Naciones Unidas*, 1–28. [papers2://publication/uuid/6E818841-FAE1-4AB1-9F7D-3C73A35910BB](https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/%C3%81reas-verdes-urbanas-en-Latinoam%C3%A9rica-y-el-Caribe.pdf)

- Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible. (2021). *Programa Nacional de Pago por Servicios Ambientales (PSA)*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/Programa-Nacional-de-Pagos-por-Servicios-Ambientales-2021-.pdf>
- Ministerio del medio ambiente de Chile. (2014). *PROPUESTA SOBRE MARCO CONCEPTUAL, DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PARA EL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE*. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/Propuesta-Marco-Conceptual-Definicion-y-Clasificacion-de-Servicios-Ecosistemicos_V1.0_Alta.pdf
- Ministro de medio ambiente y desarrollo sostenible. (2017). *Decreto 870 de 2017 - Gestor Normativo - Función Pública*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84633>
- Mooney, H. A., Ehrlich, P. R., & Daily, G. E. (1997). Ecosystem services: a fragmentary history. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*, 11–19.
- Morales Jasso, G. (2016). La categoría “ambiente”. Una reflexión epistemológica sobre su uso y su estandarización en las ciencias ambientales. *Nova Scientia*, 8, 579–613. <https://www.redalyc.org/pdf/2033/203349086029.pdf>
- Morales Jasso, G. (2017). Las ciencias ambientales. Una caracterización desde la epistemología sistémica. *Nova scientia*, 9(18), 646–697. <https://doi.org/10.21640/NS.V9I18.869>
- Naciones Unidas. (1998). PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. *PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*, 1–25. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- Naciones Unidas. (2023a, marzo 28). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Naciones Unidas. (2023b, mayo 18). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Naciones Unidas. (2023c, mayo 18). *Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>

- Naciones Unidas. (2023d, julio 4). *Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y seguirá creciendo* / Naciones Unidas. United Nations.
<https://www.un.org/es/desa/world-urbanization-prospects-2014>
- NASA-GISS. (2015, junio 24). *What's Really Warming the World? Climate deniers blame natural factors; NASA data proves otherwise.*
<https://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/#xj4y7vzkg>
- Nowak, D. J. (2002). THE EFFECTS OF URBAN TREES ON AIR QUALITY. *USDA Forest Service*, 96–102. http://groundworkdenver.net/devs/Trees_airquality.pdf
- Nowak, D. J. (2020). *Urban trees, air quality and human health.*
https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2020/nrs_2020_nowak_004.pdf
- Nowak, D. J., Civerolo, K. L., Trivikrama Rao, S., Gopal Sistla, Luley, C. J., & E. Crane, D. (2000a). A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*, 34(10), 1601–1613. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00394-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00394-5)
- Nowak, D. J., Civerolo, K. L., Trivikrama Rao, S., Gopal Sistla, Luley, C. J., & E. Crane, D. (2000b). A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*, 34(10), 1601–1613. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00394-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00394-5)
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (1998a). The urban forest effects (UFORE) model: quantifying urban forest structure and functions. *US Department of Agriculture Forest Service*, 714–720. https://www.nrs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_nc212/gtr_nc212_714.pdf
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (1998b). *The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions.*
https://www.nrs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_nc212/gtr_nc212_714.pdf
- Nowak, D. J., Dwyer, J. F., & Childs, G. (1997). Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe*, 17–38. <http://www.corraldebustos.gob.ar/PDF/ARBOLADO/Beneficios-costos-arbolado-urbano.pdf>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014a). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014b). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119–129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Bodine, A. R., Greenfield, E. J., & O’Neil-Dunne, J. (2016). Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY. *Urban Ecosystems*, 19(4), 1455–1477. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0326-z>

- Nowak, D. J., Maco, S., & Binkley, M. (2018). i-Tree: Global Tools to Assess Tree Benefits and Risks to Improve Forest Management . *Arboricultural Consultant*, 51, 10–13. https://www.itreetools.org/documents/296/ASCA_i-TreeGlobal.pdf
- Nutsch, W. (1996). *Tecnología de la madera y del mueble*. Reverté.
https://www.google.com.mx/books/edition/Tecnolog%C3%ADa_de_la_madera_y_del_mueble/ii1i7ZCDDuYC?hl=es-419&gbpv=1&dq=partes+de+un+%C3%A1rbol&pg=PA21&printsec=frontcover
- Olmos, S. R., Espinosa, C. G., Izquierdo, C. V., Zavala, A. T., & Cruz, F. J. G. (2011). Cambio Climático Global a través del tiempo geológico. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria: Revista de Investigación de la Universidad Simón Bolívar*, 10, 12.
- ONU. (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Calidad del aire y salud*.
<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
- Ortiz Nuñez, F. A. (2020). *SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y GESTIÓN DEL ARBOLADO URBANO EN SANTO DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA* [CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA].
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10350/Servicios_ecosist%C3%A9micos_y_gesti%C3%B3n_del_arbolado_urbano_en_Santo_Domingo_Rep%C3%BAblica_Dominicana.PDF?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Se%20hallaque%20el%20arbolado,en%20t%C3%A9rminos%20de%20permanencia%20en
- Pace, R., Biber, P., Pretzsch, H., & Grote, R. (2018). Modeling Ecosystem Services for Park Trees: Sensitivity of i-Tree Eco Simulations to Light Exposure and Tree Species Classification. *forest*, 9, 1–18. <https://doi.org/10.3390/f9020089>
- Perkins, G. (1864). *Geografía física modificada por la acción humana*.
<https://publicdomainreview.org/collection/man-and-nature-1864>
- PROFEPA. (2021). *Glosario*.
http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/766/1/mx/glosario.html?contentid=766&num_letra=0&num_letra_siguiente=1&querypage=3
- Programa Internacional del servicio forestal de los Estados Unidos de América. (2018). *ADAPTACIÓN DEL PROGRAMA I-TREE ECO A MÉXICO US FOREST SERVICE INTERNATIONAL* .
https://www.itreetools.org/documents/212/iTree_Eco_Mexico_Adaptation_Description_15Sep2018.pdf
- Quinceno Urbina, N. J., Tangarife Marín, G. M., & Álvarez León, R. (2016). ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE BIOMASA, FIJACIÓN DE CARBONO Y RESGUARDO INDÍGENA PIAPOCO CHIGÜIRO-CHÁTARE DE

- BARRANCOMINAS, DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA (COLOMBIA). *Luna Azul*, 171–202. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.9>
- Raum, S., Hand, K. L., Hall, C., Edwards, D. M., O'Brien, L., & Doick, K. J. (2019). Achieving impact from ecosystem assessment and valuation of urban greenspace: The case of i-Tree Eco in Great Britain. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103590. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103590>
- Riley, C. B., Herms, D. A., & Gardiner, M. M. (2018). Exotic trees contribute to urban forest diversity and ecosystem services in inner-city Cleveland, OH. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 367–376. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.004>
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., & Doick, K. (2015). *Valuing London's urban forest: results of the London i-Tree eco project*. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/valuing_londons_urban_forest_i-tree_report_final.pdf
- Saavedra Ramírez, G. (2014). Ciencias ambientales y ecología. *Mundo Siglo XXI*, IX(33), 63–79. <https://mundosigloxxi.ipn.mx/pdf/v09/33/05.pdf>
- Sabillón Rodríguez, Danelia. (2002). Determinación de los factores de emisión de monoterpenos en tres especies típicas de la vegetación terrestre mediterránea: *Pinus pinea*, *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* [Universitat Politècnica de Catalunya]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93733>
- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K. N., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R. N., & Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15(1), S36. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- Sánchez Jasso, J. (2018). *Un vistazo a las Áreas Naturales Protegidas de Toluca. 1*. <https://revistauniversitaria.uaemex.mx/article/view/9443/7905>
- Sarmiento, A. Y. C., Gélvez, J. H. S., & Téllez, J. M. (2017). Naturaleza y sociedad: Relaciones y tendencias desde un enfoque eurocéntrico. *Revista Luna Azul*, 44, 348–371. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.21>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018, junio 16). *Fuentes de Contaminación Atmosférica*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *GLOSARIO*. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/compendio_2019/RECUADROS_INT_GLOS/D1_GLOS_SAMBIENTAL.htm
- Secretaría de Salud. (1993). *NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993*. Diario Oficial de la Salud.

- <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/noms/NOM%20023%20SSA%201993%20NO2.pdf>
- Secretaría de salud. (1993, noviembre 11). *NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSAI-1993 sobre el valor normado con respecto al ozono*.
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69427.pdf>
- Secretaría de Salud. (1994, enero 18). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSAI-1993 respecto al límite permisible de concentración de monóxido de carbono*.
<https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/noms/NOM%20021%20SSA%201993%20CO.pdf>
- Secretaría de salud. (2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSAI-2019*. Diario Oficial de la Federación; Universitat Politècnica de Catalunya.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019#gsc.tab=0
- Secretaría de salud. (2021). *NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSAI-2021*. Diario Oficial de la Federación ; Universitat Politècnica de Catalunya.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0
- SEMARNAT. (2015). *LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE*. 2015.
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>
- Smith, A. (1776). 1. An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. *JM Dent and Sons, London*.
- Soto, M. (2010). *Revisión de los modelos CITY-green, i-tree Tools ECO y i-Tree Tools Streets, como herramientas para la cuantificación de los servicios Ecosistémicos prestados por el arbolado urbano de Bogotá*. Tesis de Grado). Carrera de Ecología, Facultad de Estudios Ambientales y <https://core.ac.uk/download/pdf/71419850.pdf>
- Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2007). *Teoría y problemas de estadística* (4a ed.). McGraw-Hill.
- Suárez, E. L. (1976). *La influencia del hombre en el medio global: informe del SCEP (estudio de los problemas críticos del ambiente)*. Fondo de Cultura Económica.
- Taha, H. (1996). Modeling impacts of increased urban vegetation on ozone air quality in the South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3423–3430.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/1352-2310\(96\)00035-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/1352-2310(96)00035-0)
- UNESCO. (2004). *Programa de Desarrollo de Capacidades para el Caribe para el patrimonio mundial*. <https://whc.unesco.org/document/107154>
- United States Environmental Protection Agency. (2022, agosto 9). *Criteria Air Pollutants / US EPA*. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>

- United States Forest Service (USFS), Davey Tree Expert Company, Arbor Day Foundation, Society of Municipal Arborist, Casey Trees Washington D.C., & Horacio De la Concha. (2016). *i-Tree ECO manual de toma de datos*
- United States Forest Service (USFS), Davey Tree Expert Company, Arbor Day Foundation, Society of Municipal Arborist, International Society of Arboriculture, & Casey Trees Washington D.C. (2017). *Manual del Usuario I-Tree ECO*.
- Wallace, K. J. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. En *Biological Conservation* (Vol. 139, Números 3–4, pp. 235–246). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.015>
- Westman, W. E. (1977). How Much Are Nature's Services Worth? *Science (New York, N.Y.)*, 197(4307), 960–964. <https://doi.org/10.1126/science.197.4307.960>
- World Health Organization. (2014, marzo 25). *7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica*. <https://www.who.int/es/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>
- World Health Organization. (2022). *Health and environment scorecard*. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/environmental-health/environmental-health-mex-2022.pdf?sfvrsn=2006011a_4&download=true
- World Health Organization. (2023, marzo 28). *Ambient air pollution attributable deaths*. <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-air-pollution-attributable-deaths>
- Zamudio Castillo, E. (2001). “Análisis del comportamiento del arbolado urbano público durante el período de 1995 a 1999 en la ciudad de Linares, Nuevo León” [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://docplayer.es/90858804-Universidad-autonoma-de-nuevo-leon.html>
- Zinke, P. J. (1967). Forest interception studies in the United States. *Forest hydrology*, 137–161.

Anexos

Documental Formatos campo

Subzona 1

Imagen 1. Hoja uno de la subzona uno

①

Ubicación: _____ Subzona: 01 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° Inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	Labliant	RD	IF	Interferencia	Observaciones:	
12	Codia	97	97	20			743	516	45	0	3	3	0	27			
16	Codia	23	23	78			587	573	45	0	7	3	0	0			
15	Codia	27	22	47			791	613	40	0	4	3	0	5			
13	Codia	28	24	142			782	572	60	0	3	3	0	5			
14	Codia	25	25	75			1178	1070	45	0	3	3	0	2			
1	Codia	26	26	18			709	1055	45	0	3	3	0	10			
4	Codia	26	21	0			727	1033	70	70	4	5	2	2			
10	Codia	17	17	14			1766	880	5	0	5	3	0	3			
8	Codia	26	22	58			897	530	25	0	5	3	0	3			
142	Codia	24	22	53			875	1372	40	0	5	3	0	3			
7	Codia	23	23	16			954	880	50	0	3	3	0	45			
1	Codia	24	24	3			588	647	30	0	3	3	0	2			
150	Nera	65	65	15			519	765	10	0	5	3	0	45			
153	Nera	57	57	13			340	776	5	0	4	3	0	40			
154	Nera	66	66	13			116	533	613	10	0	5	3	0	10		

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Labliant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 2. Hoja dos de la subzona uno

(2)

Ubicación: _____ Subzona: 01 Fecha: _____

Brigada: 12 Pub/Priv: 0 Uso de suelo: _____

N° Inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC'	CC''	%CF	%MD	ELC	Lab/Mant	RD	IF	Interferencia	Observaciones	
155	Pera	6.9	6.9	1.6	10.8	10.8	4.15	6.85	7	0	5	3	0	0			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
156	Vera	7.6	7.6	1.6	10.3	10.3	6.89	5.80	5	0	5	3	0	15			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
157	Vera	4.4	4.4	1.5	10.6	10.6	5.54	4.9	5	0	5	3	0	45			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
166	P	8.3	8.3	0.1	10.7	10.7	6.70	7.10	15	0	4	3	0	45		Bide paróximo	
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
168	Pera	6.3	6.3	1.4	10.7	10.7	5.77	6.97	10	0	4	3	0	10			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
158	Pera	6.3	6.3	1.4	10.6	10.6	4.55	7.15	7	0	3	3	0	45			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
165	Pera	6.2	6.2	1.2	10.7	10.7	7.74	6.09	5	0	3	3	0	25			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
154	Pera	5.5	5.5	1.1	10.6	10.6	6.80	9.35	5	0	5	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
162	Pera	6.1	6.1	1.3	10.7	10.7	8.85	6.73	5	0	3	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
161	Pera	2.9	2.9	1.1	10.6	10.6	5.37	7.25	75	0	3	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
176	Pera	7.0	7.0	2.6	10.3	10.3	9.77	10.15	15	0	3	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
175	Pera	7.7	7.7	3.7	10.3	10.3	7.01	8.29	10	0	3	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
160	P	2.8	2.8	2.4	10.3	10.3	8.25	8.53	75	0	3	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
55	Cedro	3.0	3.0	0.4	10.3	10.3	5.62	3.96	7	0	7	3	0	10		Borde paróximo	
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
173	Cedro	12.4	13.4	1.4	15.0	14.2	4.99	2.73	30	0	7	6	2	2			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Fotos: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											

H° Inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Lab/Mant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 3. Hoja tres de la subzona uno

3

Ubicación: _____ Subzona: 01 - 170 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° Inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC1	CC2	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones	
127	Peña	9.7	9.7	2.9	135	197	6.19	6.4	10	0	4	3	0	20			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
30	Codia	8.3	8.3	2.4	129	178	4.30	4.7	10	0	5	3	0	2			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
38	Quilinda	16.7	16.7	6.5	172	174	12.99	12.67	7	0	4	3	0	10			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
41	P	13.7	13.7	2.7	102	111	7.84	8.69	10	0	3	3	0	11			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
65	Codia	16.4	16.4	7.5	149	149	6.32	7.57	5	0	2	3	0	0			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
68	Pod	17.7	17.7	1.4	161	171	5.33	2.31	5	0	2	3	0	0			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
69	Codia	22.8	22.8	1.3	129	129	4.58	7.30	35	0	3	3	0	5			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
70	Codia	19.8	19.8	5.4	136	176	5.46	7.57	5	0	3	3	0	5			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
72	Quilinda	30.4	30.4	4.7	163	174	10.73	11.36	10	0	4	3	0	25			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
130	Peña	8.9	8.9	1.4	147	170	8.51	6.53	7	0	4	3	0	5			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
175	X	13	13	7.3	105	107	8.11	7.48	10	0	5	3	0	2			
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									
121	Peña	6.7	6.7	1.4	105	113	5.30	6.91	50	0	1	6	2	20		SOP	
Extr MED	() BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()			Troncos SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()			Foto									

N° Inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Subzona 2

Imagen 1. Hoja uno de la subzona dos

①

Ubicación: _____ Subzona: 02 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC¹	CC²	%CF	%MD	ELC	Labliant	RD	IF	Interferencia	Observaciones
006	Pino	14.1	14.1	6.1	51.3 43.2		14.1	4.42	10	0	5	3	0	8		
006	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
013	Cedro	11.8	3.8		25.5 25.1		8.04	5.43	5	0	2	4	0	2		
013	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
77	Cedro	16.7	3.6		15.1 41.7		13.7	6.87	25	0	3	3	0	0		
77	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
73	Cedro	9	3.2		16.6 16		4.95	3.06	80	80	1	6	2	0		
73	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
74	Cedro	18.3	3.7		47.1 49.3		11.55	6.73	30	0	3	3	0	10		
74	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
75	Pino	12.5	3.9		39.4 35.6		8.95	6.50	15	0	3	3	0	7		
75	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
77	Pino	17.5	3.6		41.4 40.3		8	17.11	15	0	4	3	0	25		
77	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
79	Cedro	25.7	3.2		54.4 44		11.97	8.79	2	0	2	3	0	5		
79	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
30	Cedro	19.8	3.7		38 41		7.46	7.47	90	0	2	3	0	25		
30	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
40	Pino	21.5	3.7		87.4 66		15.41	10.05	40	0	2	3	0	1		
40	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
49	Pino	17.7	3		55.3 55.0		9.91	14.93	5	0	5	3	0	20		
49	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
48	Pino	20.6	4.7		38.1 48		9.70	10.98	40	0	2	3	0	25		
48	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
51	Pino	19.0	3.2		49.3 45		8.72	14.57	20	0	4	3	0	5		
51	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
52	Pino	15	2.2		46.2 41		8.32	7.98	40	0	2	3	0	5		
52	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
57	Pino	12.2	2.7		47.3 42.3		5.32	8.04	40	0	2	3	0	5		
57	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos/ramas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Labliant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 2. Hoja dos de la subzona dos

2

Ubicación: _____ Subzona: 02 Fecha: _____

Brigada: 11 Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	Lab/Mant	RD	IF	Interferencia	Observaciones	
60	Pino		14.6	4.4	22		4.79	5.63	40	0	2	3	0	2			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
72	Cedro		17.1	2.2	34		8.54	13.82	10	0	3	3	0	3			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
78	Cedro		16.1	2.2	40		5.45	5.95	40	0	2	3	0	25			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
88	Cedro		13.3	2.9	33		6.07	6.13	5	0	5	3	0	12			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
97	Pino		76.1	1.9	54		7.43	16.78	35	0	2	3	0	0			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
101	Cedro		27.4	3.5	41		5.88	16.40	35	0	3	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
102	Cedro		22.2	2.4	30		3.68	8.50	20	0	2	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
103	Cedro		23.8	2.8	40		5.18	7.57	40	0	2	3	0	2			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
106	Pino		25.2	5.2	50		8.47	10.87	20	0	5	3	0	15			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
107	Cedro		24.6	3.8	40		7.05	8.79	35	0	2	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
108	Cedro		17.2	2.5	38		7.96	7.06	35	0	2	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
111	Cedro		19.6	1.8	38		9.43	9.30	40	0	2	3	0	2			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
117	Cedro		28.9	5.6	54		5.85	4.30	5	0	5	3	0	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
118	Pino		20.6	4.6	31		3.92	7.27	80	80	1	6	2	5			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
121	Pino		22.2	1.9	35		16.34	10.17	35	0	3	3	0	20			
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje: DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Lab/Mant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 3. Hoja tres de la subzona dos

3

Ubicación: _____ Subzona: 02 Fecha: _____
 Brigada: 11 Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° Inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones
131	Pino		28.4	12.1	57.4		3.82	6.44	33	0	3	3	0	5		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
135	Pino		25.9	8.6	55.4		18.74	11.11	35	0	3	3	0	5		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
142	Cedro		24.2	7.4	49.9		7.97	7.55	15	0	2	4	0	7		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
144	Cedro		20.7	6	47.1		9.50	9.68	35	0	3	6	2	5		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
146	Pino		28.6	8.7	57.9		15.37	4.32	30	0	3	3	0	5		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
150	P		9	7.1	52.1		5.68	5.4	20	0	3	3	0	25		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
152	Pino		23.6	10.5	51.9		12.33	10.38	20	0	3	3	0	5		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
154	Pino		18.8	3.3	41.2		10.2	7.90	5	0	5	3	0	7		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
155	Pino		20.3	3	48.2		10.7	6.99	5	0	2	3	0	2		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
166	Pino		19.2	2.9	63.5		13.24	12.23	10	0	5	3	0	5		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
157	P		16.7	4.6	52.2		7.09	9.34	20	0	3	3	0	25		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
159	P		10.1	5.6	55.9		4.21	3.32	20	0	2	6	0	30		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
172	Pino		22.9	3.9	52.5		12.77	9.19	35	0	2	3	0	2		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
173	Pino		21.1	3.8	55.9		13.10	9	40	0	2	3	0	7		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
222	Cedro		22	2.1	48.6		6.02	8.8	40	0	2	2	0	3		
ESTAD	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Fuelt	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncosomas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona dos

Ubicación: _____

Subzona: 02

Fecha: _____

Brigada: _____

Pub/Priv: _____

Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DH1	DH2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones:
216	Cedro		27.5	3.1	58	67.8	12.10	11.76	46	0	7	3	0	3		
Es160	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
215	Cedro		25.3	2.3	55	66.3	11.10	14	35	0	3	5	0	0		
Es159	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
214	Cedro		31.8	4.3	59	73.8	9	10	35	0	2	3	0	10		
Es158	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es157	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es156	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es155	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es154	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es153	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es152	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es151	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es150	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es149	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es148	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es147	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es146	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es145	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	
Es144	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()					Troncos: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()					Foto	

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DH = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Subzona 3

Imagen 1. Hoja uno de la subzona de tres

1

Ubicación: _____

Subzona: 03

Fecha: 77

Brigada: _____

Pub/Priv: _____

Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC1	CC2	%CF	%MD	ELC	Lab/Mant	RD	IF	Intolerancia	Observaciones
A-02	Cedro	30.9	30.9	6.7	21	21	7.33	11.14	40	0	2	3	0	10		
E1298	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-03	Cedro	11.6	11.6	7.1	26	26	4.93	5.61	80	80	1	6	2	20		
E1299	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-04	Cedro	25.6	25.6	4	34	34	5	7.39	60	0	2	3	0	3		
E1300	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-05	Cedro	24.7	24.7	5.1	25	25	5.19	11.38	40	0	2	3	0	12		
E1301	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-06	Cedro	25.2	25.2	5.7	35	35	3.2	11.58	35	35	2	3	0	0		
E1302	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-07	Cedro	26.1	26.1	3.9	32	32	5.6	5.20	13.63	50	0	2	3	0	7	
E1303	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-08	Cedro	26.1	26.1	6.1	42	42	4.45	9.96	60	0	2	3	0	0		
E1304	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-09	Cedro	28.6	28.6	4.7	54	54	3.98	12.94	40	0	2	3	0	0		
E1305	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-10	Cedro	26.4	26.4	6.8	33	33	2.30	11.26	35	0	2	3	0	5		
E1306	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-11	Cedro	30	30	5.3	59	59	4.93	15.51	35	0	3	3	0	0		
E1307	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-12	Cedro	28.6	28.6	7.2	59	59			5	0	3	3	0	0		
E1308	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-13	Cedro	15.4	15.4	2.9	12	12			40	40	1	6	2	3		
E1309	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-14	Cedro	21.5	21.5	4.4	34	34			35	0	3	3	0	5		
E1310	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-15	Cedro	21.9	21.9	4	36	36			25	0	3	3	0	0		
E1311	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										
A-16	Cedro	21.4	21.4	4.8	34	34			35	0	3	3	0	0		
E1312	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()	Folios DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncos/ramas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto										

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = Altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Lab/Mant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste.

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 2. Hoja dos de la subzona tres

②

Ubicación: _____ Subzona: 03 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	Labliant	RD	IF	Interferencia	Observaciones
A-17	Cedro	24.5	24.5	4.5	39	37.1			37	0	2	3	0	10		
E1394	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-18	Cedro	29.1	29.1	4.3	64	64.5			25	0	3	3	0	2		
E1395	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-19	Cedro	29.9	29.7	3	46	42			40	0	3	3	0	0		
E1396	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-20	Cedro	23.8	23.8	3.8	44	45.6			40	0	3	3	0	0		
E1397	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-21	Cedro	15.7	15.7	3.1	22	19.3			80	80	1	6	2	20		
E1398	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-22	Cedro	22.8	22.8	4.8	24	22.3			15	0	3	3	0	10		
E1399	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-23	Cedro	22.9	22.9	3.7	44	40.7			20	0	3	3	0	0		
E1400	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-24	Cedro	25.4	25.4	3.8	78	84.1			15	0	3	3	0	0		
E1401	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-25	Cedro	26.4	26.4	4.1	26	29.5			40	0	2	3	0	0		
E1402	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-26	Cedro	26.6	26.6	3	53	54.6			5	0	4	3	0	0		
E1403	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-499	Cedro	17.4	13.4	2.9	14	22			40	40	2	6	2	10		
E1404	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
A-493	Cedro	28	28	8.8	43	53			35	0	3	3	0	0		
E1405	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
497		27.6	27.6	8.5	43	44			55	0	2	3	0	0		
E1406	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
491		25.2	25.2	4.4	33	34			25	0	3	3	0	0		
E1407	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	
490		25.4	25.4	10.2	26	27			40	0	2	3	0	25		
E1408	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()						Foto	

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diametro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa fallante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Labliant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 3. Hoja tres de la subzona tres

Ubicación: _____ Subzona: 03 Fecha: 3

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC1	CC2	%CF	%MD	ELC	Lab/Man	RD	IF	Interferencia	Observaciones:
487	C	23.7	23.7	11.5	25.2	22.5	70.2		70	0	1	3	0	10		
488	C	24.7	24.7	7.6	32.2	20.6			35	0	2	3	0	10		
487	C	27	27	10.1	28.6	51.5			55	0	2	3	0	0		
486	C	21.8	21.8	8.6	23.5				5	0	2	3	0	5		
485	C	27.4	27.4	9.5	52	42.7			70	0	2	3	0	0		
484	C	25.5	25.5	9	54.1	47			15	0	2	3	0	15		
483	C	27.2	27.2	10.2	58	62			40	0	2	3	0	4		
487	C	23.8	23.8	4.6	55	47.5			55	0	2	3	0	10		
481	C	23.2	23.2	7.2	53	52.2			75	0	2	3	0	25		
480	C	17.6	17.6	8.5	27	47.4	22.8		60	0	1	3	0	10		
474	C	21.3	21.3	8.3	40.6	49.6			55	0	1	3	0	0		
478	C	31.4	31.4	8	38.9	42			35	0	2	3	0	5		
477	C	29.1	29.1	8.5	51.3	27	24		70	0	2	3	0	0		
476	C	28.7	28.7	6.1	42	21	20.5		65	0	2	3	0	0		
475	C	33.8	33.8	6	38.5	43.6	27		55	0	2	3	0	0		

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = Altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Lab/Man = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Subzona 4

Imagen 1. Hoja uno de la subzona cuatro

Ubicación: _____

Subzona: 04

Fecha: 13-11-22

Brigada: _____

Pub/Priv: _____

Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC1	CC2	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones:		
79-71	Ficus	28.3	28.3	1.4	4.8		8.5		10	0	3	0	0	20				
E384	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-279	P.	14	14	1.68	2.8		2.8		15	25	4	3	0	17		Hojas / No ingresado		
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-278	Cedro	14.8	14.8	1.47	4.2		4.2		20	0	1	4	0	2				
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-182	Pino	3.3	3.3	3.4	2.32		2.32		70	0	3	3	0	10		Problema		
E386	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-104	Pino	17.5	17.5	8.2	87.5		87.5		29	0	3	3	0	5				
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-47	Cedro	7.1	7.1	1.8	2.4		2.4		15	0	2	3	0	0		Dinámico		
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-270	Cedro	4.7	4.7	9.8	8.8		8.8		10	0	3	3	0	5		Dinámico		
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-100	Cedro	1.4	1.4	4.0	3.6		3.6		35	0	4	3	0	10		Dinámico		
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-100	Cedro	26.2	26.2	5.1	8.1		8.1		60	0	3	3	0	5				
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-103	Cedro	28.5	28.5	9.3	4.7		4.7		35	0	3	3	0	0		Obc		
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-154	Cedro	23.2	23.2	8.9	4.5		4.5		50	0	3	3	0	0				
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-144	Cedro	17	17	6.0	9.6		9.6		20	0	2	3	0	5				
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-329	Cedro	23.3	23.3	4.6	4.3		4.3		10	0	3	13	0	0				
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-320	Cedro	11	11	6.7	2.6		2.6		90	90	0	6	2	10		Soprimido		
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-277	Cedro	3.7	3.7	6.6	8.3		8.3		0	0	3	3	0	5				
E385	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamos	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 2. Hoja dos de la subzona cuatro

Ubicación: _____

 Subzona: 04

 Fecha: 13-11-22

Brigada: _____

Pub/Priv: _____

Uso de suelo: _____

N° Inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC'	CC''	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones		
A-331	Cedro	31.1	31.1	4.6	2.592		2.592		60	60	3	3	0	5				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-332	Cedro	31.2	31.2	5.5	4.23	3.26	1.97		15	0	4	3	0	7				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-333	Cedro	28.3	28.3	2.1	2.75		2.75		25	0	3	3	0	0				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-337	Cedro	30.2	30.2	5.4	4.43	4.51	0.08		5	0	3	1.4	0	3				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-410	Cedro	7.6	7.6	7.2	38.3	7.9	3.2	28.5	10	0	3	3	0	0				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-477	Cedro	35.9	35.9	7.4	100	9.7	2.9	2.0	70	0	3	3	0	0				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-488	Cedro	19.6	2.7	2.7	23.2	20.8	2.4	2.4	90	90	1	6	2	7		Sup		
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-787	Cedro	31	31	4.3	51.1	32.3	18.8	5.9	20	0	3	3	10	5				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-789	Cedro	26.7	26.7	4.3	51.8	35.0	16.8	4.16	10	0	4	3	0	3				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-790	Cedro	27.8	27.8	7.7	83.3	32.3	14.0	1.9	35	0	4	3	0	7				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-100	Cedro	2.9	12.9	6.7	51.3	37	10.0	3.20	70	0	4	16	0	70		Sup		
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-119	Cedro	11.7	11.7	5.2	14	14	6.3	4.5	2	0	4	3	0	3				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-160	Durazno	242	242	1.53	5.4		5.35		90	90	2	6	2	50		Sup / Ex. blanq.		
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-150	Cedro	20.1	20.1	1.6	59.6		59.6		15	0	3	3	2	15				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto
A-155	Cedro	24.1	24.1	8.1	94	45	4.6		25	0	3	1		10				
ESTAD	MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Folaje	DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Tronco/ramas	SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 3. Hoja tres de la subzona cuatro

Ubicación: _____

Subzona: 04

(3)

Fecha: 13-11-22

Brigada: _____

Pub/Priv: _____

Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones
A-158	Cedro	73.8	73.8	7.7	49	51	84	76	35	0	3	1	0	15		
E3194	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-149	Cedro	21.1	21.1	6.6	41	57	94	90	100	100	7	6	1	10		Descastrador
E3195	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-148	Cedro	29.4	29.4	7.1	61	38	100	90	40	0	3	1	0	5		
E3195	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-177	Cedro	27.2	27.2	6.4	38	61	100	90	30	0	3	1	0	2		
E3196	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-138	Cedro	26.2	26.2	6.5	41	57	94	90	75	0	3	1	0	10		
E3197	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-157	Cedro	29.5	29.5	8.7	38	61	100	90	30	0	3	3	0	25		
E3198	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-103	Cedro	21.5	21.5	3.5	41	57	94	90	35	0	3	1	0	45		
E3199	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-105	Cedro	10.70	10.70	6.1	41	57	94	90	100	100	3	6	1	0		Descastr
E3200	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-106	Cedro	28.8	28.8	4.6	100	0	100	5.5	40	0	3	3	0	10		
E3201	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-107	Cedro	29.2	29.2	5.7	51	48	100	90	10	10	3	3	0	75		
E3202	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-108	Cedro	32	32	7	61	38	100	90	10	5	3	3	0	15		
E3203	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-109	Cedro	31.4	31.4	9	51	48	100	90	5	5	3	1	0	25		
E3204	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-107	Cedro	21.1	21.1	5.1	51	48	100	90	45	0	4	3	0	10		
E3205	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-102	Cedro	27	27	4.7	37	62	100	90	70	0	4	3	0	2		
E3206	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	
A-206	Cedro	18.9	18.9	4.6	41	57	94	90	75	0	3	3	0	5		
E3207	MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()				Folaje	DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()				Troncalinas	SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()				Foto	

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Subzona 5

Imagen 1. Hoja uno de la subzona cinco

Inv	Med	BEP	MAR	FAM	AHU	Folaje	DEF	COL	FAN	PLA	AFE	Troncofajas	SIG	PLA	ENF	LAF	CAN	Foto
Z-57 A-260	45.4	45.4	17.8			35						40	0	2	3	0	3	
A-261	16.1	16.1	6.1			35						35	0	3	3	0	0	
A-267	23.8	23.8	8.7			35						20	0	3	3	0	25	
A-269	26.8	26.8	8.5			35						35	0	3	3	0	12	
A-257	24.1	24.1	9.7			38						40	0	2	3	0	3	
A-258	24.8	24.8	13.7			38						50	0	2	3	0	5+	Banquete P. Domingo
A-222	13.8	13.8	7.1			35						15	0	4	3	0	15	
A-219	23.8	23.8	5.6			38						10	0	3	3	0	5	
A-118	13.8	13.8	6.2			35						65	0	1	6	2	2	Banquete
A-115	12.5	12.5	3.4			35						5	0	4	3	0	5	
A-121	11.9	11.9	2.3			35						7.10	0	2	3	0	10	

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = Altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 2. Hoja dos de la subzona cinco

Ubicación: _____

Subzona: 05

Fecha: 28/11/22

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC'	CC²	%CF	%MDR	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones:
1-37	Pino	4.9	4.9	3.5	33.4				40	5	3	3	NA			
148		22.4	22.4	10.7	30	46.5	7.3		20	0	2	3	0	12		
149		18.1	18.1	6.8	31	33.1	23.5		37	0	7	3	0	2		
150		22.8	22.8	6.3	31.5	42.5	7.2		30	0	3	3	0	5		
154		22.5	22.5	3.7	31.1	35.3	17.9	6.5	25	0	3	3	0	10		
155		23.1	23.1	8.2	30.7	34.1	6.2		30	0	3	3	0	0		
245	Cedro	14.3	14.3	4.5	28.7	18.8	8.6	4.8	50	50	2	6	2	2		
246	Cedro	18.1	18.1	5.7	31.9	41.7	8.5	7.4	25	0	4	3	0	2		
246	Pino	7.9	7.9	3.5	19.7		7.9	3.9	45	45	2	4	0	25	Bungeob	Sop? / Poda Elev
277	Pino	11.1	11.1	3.3	19.8	18.4	7.4	4.8	50	50	7	4	0	0		Sop? / Poda Elev
158	Pino	4.9	4.9	1.3	14.3	16.3	3.2	3.1	15	0	4	3	0	5		
160	Pino	5.4	5.4	0.7	13.9	14.1	3.7	2.4	0	0	5	1	0	0		
149	Cedro	16.2	16.2	5.3	13.2	14	5.9	5.4	20	0	3	3	0	0		
244	Cedro	14	14	4.3	19.8		5.6	4.5	45	0	3	3	0	0		P.-dentibol
158	Pino	10.6	10.6	2.6	11.4		7.4	4.4	0	0	5	1	0	5		Bolsa

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = Altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MDR = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 3. Hoja tres de la subzona cinco

(3)

Ubicación: _____ Subzona: 05 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC ¹	CC ²	%CF	%MD	ELC	Labliant	RD	IF	Intolerancia	Observaciones
A-78	Coco	17.5	22.5	2.7	35		10		30	0	4	3	0	5		
A-79	Coco	12.8	12.8	5.4	35		10		5	0	4	6	2	8		Pelada Cope
A-82	Pino	1.4	1.4	1.6	20		31		5	0	5	1	0	2		
A-83	Coco	12.9	12.9	1.9	35		10		5	0	4	3	0	2		
A-84	Coco	7	7	2.5	13		10		20	80	1	6	2	2		
A-70	Coco	15.3	15.3	3.3	35		10		5	0	4	3	0	3		
A-73	Coco	21.9	21.9	7	40		10		45	0	2	3	0	5		
A-38	Coco	12.8	12.8	1.7	35		10		35	0	4	3	0	10		
A-083	Pino	4.2	4.2	2	36		10		20	0	5	3	0	25		
A-005	Coco	17.8	17.8	18.4	31		10		10	0	3	3	0	3		
A-006	Coco	18.7	18.7	5.3	35		10		20	0	3	3	0	5		
A-68	Coco	6.4	6.4	1.4	59		33		10	0	4	3	0	5		
A-007	Coco	19.2	19.2	3.4	35		10		15	0	4	3	0	2		
A-65	Coco	21.3	21.3	5.4	36		10		35	0	4	3	0	0		
A-64	Coco	20.4	20.4	2.7	35		10		30	0	3	3	0	5		

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Labliant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Subzona 6

Imagen 1. Hoja uno de la subzona seis

Ubicación: _____ Subzona: 06 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: 2

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC1	CC2	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones
61	P	7.1	7.1	3	25		5.45	5.56	70	0	2	3	0	35		
63	Cedro	8.9	8.9	6	10.9	12.0	3.43	2.32	70	0	1	4	0	10		Sop.
64	Cedro	12.7	13.7	5.6	15.9	17.7	2.44	2.70	75	0	2	4	0	12		Sop.
65	Cedro	26.7	26.7	5.6	41.5	48.2	12.32	4.44	75	0	3	3	0	0		
66	Cedro	13.3	13.5	6.1	14.4	15.2	5.84	3.98	50	0	3	3	0	2		Desmoche/Sop
70	Cedro	31	31	12.6	60.5	55.7	9.98	4.10	40	0	3	3	0	0		
72	Cedro		23.1	13.8	30.2	30.2	6.40	4.14	5	0	3	3	0	3		
76	Cedro	28.2	0	14.9	43.3	49	6.06	3.35	100	100	7	6	7	0		
78	Cedro	29.3	29.5	14.4	41.5	41.5	7.70	6.75	45	0	3	3	0	2		
131	P	9.4	9.4	4.6	18.6	20.6	4.23	6.17	35	0	3	2	0	15		
132	P	15.7	15.1	7.8	33.5	38.1	8.91	7.79	10	0	4	3	0	5		
133	P	14.4	14.4	9.6	20.9	24.4	4.23	6.82	40	0	4	3	0	32		
14	Cedro	9.9	9.9	4.2	10.0	11	4.16	4.0	5	0	3	3	0	7		
15	Cedro	22.4	22.4	3.1	38.8	43.3	5.14	3.08	5	0	3	3	0	2		
17	P	4.0	4.0	0.1	7.05	7.05	2.95	3.79	15	0	5	3	0	0		

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 2. Hoja dos de la subzona seis

Ubicación: _____

 Subzona: 06

 Fecha: 07

Brigada: _____

 Pub/Priv: U 0

Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC1	CC2	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones:
29	Cedro	24.6	24.2	6.2	30.9	18.6	7.80	2.22	70	0	3	3	0	0		
31	Cedro	24.6	24.6	6.4	34.7	17.7	4.67	2.84	40	0	3	3	0	10		
37	Cedro	16.9	16.9	3.6	32.9	15.7	6.71	3.61	10	0	3	3	0	0		
58	Cedro	12.2	12.2	4.9	20.0	10.0	6.28	5.17	10	0	3	3	0	10		
41	P	4.6	4.6	1.8	25.0	12.5	3.5	2.33	7.97	60	10	5	3	0	7	
43	Cedro	18.7	18.7	4.5	37.4	18.7	7.08	8.17	5	0	3	3	0	5		
47	Cedro	12.9	12.9	4.7	20.0	10.0	5.40	3.39	2	0	2	3	0	10		
49	Cedro	22.2	22.2	6.3	43.6	21.8	5.87	2.24	15	0	2	3	0	10		
51	Cedro	16.3	16.3	3.2	29.7	14.8	3.55	3.30	25	0	2	3	0	2		
52	Cedro	18.8	18.8	3.1	36.0	18.0	7.21	4.25	15	0	2	3	0	9		
55	Cedro	24.4	24.4	9.6	39.2	19.6	5.41	3.67	5	0	2	3	0	9		
56	Coccoloba	21.6	21.6	3.3	33.4	16.7	2.76	1.25	10	0	4	3	0	22		
57	Cedro	14.8	14.8	3.3	25.5	12.7	3.40	4.21	70	0	2	6	2	5		Sop
156	P	14.9	14.9	7.6	33.2	16.6	5.99	4.70	30	0	3	3	0	20		

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 3. Hoja tres de la subzona seis

Ubicación: _____ Subzona: 06 fecha: 3

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC'	CC''	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones:
157	P	18.7	18.7	4.5	37.5		7.67	6.19	45	0	2	3	0	45		
181	P	18.4	18.4	4.8	38.8		6.70	4.11	50	0	2	3	0	70		
183	P	16.7	16.7	7.8	33.9		7.72	6.38	45	0	3	3	0	20		
201	P	13.1	13.1	3.3	19.2		5.53	6.18	7	0	5	3	0	10		
221	Cedro	21.8	21.8	4.7	34.5		8.63	8.10	35	0	3	3	0	10		
333	P	11.4	11.4	2.9	22.9		10.77	9.24	5	0	4	3	0	10		
335	Cedro	32.6	32.6	7.6	24.3		18.47	11.7	20	0	3	3	0	5		
336	P	14.4	14.4	7.6	21.3		8.49	8.04	20	0	4	3	0	0		
337	P	5.8	0	0	77		0	0	100	100	0	6	1	0		
338	Cedro	23.7	23.7	3.9	30.5		13.33	15.85	5	0	5	3	0	0		
415	Cedro	24.3	24.3	8.7	36.57		8.69	4.67	45	0	2	3	0	0		
413	Cedro	18.8	18.8	11.2	20.9		5.56	3.98	50	0	2	6	7	15		SUP
411	Cedro	30	30	10.2	50.8		10.47	5.18	5	0	4	3	0	5		
410	Cedro	24	24	8.3	34.3		8.97	6.08	10	0	4	3	0	5		
409	Cedro	26.8	26.8	17.1	34.5		7.40	5.50	35	0	3	3	0	0		

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diametro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona seis

4

Ubicación: _____

Subzona: 06

Fecha: _____

Brigada: _____

Pub/Priv: U O

Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC'	CC''	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones:
374	Cedro	26.7	26.7	9.4	54	28.8	10.9	2.77	30	0	3	3	0	5		
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
373	Cedro	27	27	9.9	55	28.8	6.09	5.69	5	0	4	3	0	5		
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU (2)	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
259	Cedro	30.3	30.3	10.3	51.9	28.8	10.36	4.72	20	0	4	3	0	5		
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU (2)	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
293	Cedro	11.1	11.1	3.7	78	30.2	5.20	4.31	5	0	2	3	0	5		
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
294	Cedro	9.9	9.9	4.8	53	28.8	5.00	3.30	5	0	2	3	0	5		
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
295	Cedro	20.9	20.9	7.5	72	30.2	8.04	4.78	55	0	2	3		11		
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	
Espej MED ()	BEP ()	MAR ()	FAM ()	AHU ()	Fotob DEF ()	COL ()	FAN ()	PLA ()	AFE ()	Troncofamas SIG ()	PLA ()	ENF ()	LAF ()	CAN ()	Foto	

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = Altura base de la copa, DN = diametro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Subzona 7

Imagen 1. Hoja uno de la subzona siete

①

Ubicación: _____ Subzona: 07 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC'	CC'	%CF	%MD	ELC	Labitant	RD	IF	Interferencia	Observaciones
123	Cedro		16.2	6	3.55		2.59	4.26	45	0	2	3	0	3		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
121	Cedro		14.5	6.6	4.2		4.53	13.51	87	0	2	6	2	0		Descolezador
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
120	Cedro		21.3	6.5	3.35		5.37	5.92	45	0	2	3	0	20		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
117	Cedro		29.7	4.7	3.53		4.23	1.09	40	0	3	3	0	10		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
115	Cedro		25.7	9.6	3.84		7.1	8.48	35	0	3	3	0	18		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
126	P		8.5	5	3.2		4.9	1.35	130	30	4	3	0	10		Esomas
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
106	Perico		22	2.6	4.2		5.99	10.2	45	0	2	3	0	5		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
107	Cedro		16.9	3.7	4.3		8.78	8.37	40	0	3	3	0	25		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
102	Cedro		21.1	3.6	4.2		6.67	14.48	33	0	3	3	0	5		Branqueta
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
103	Cedro		19.6	4.1	4.5		5.77	8.56	35	0	2	3	0	5		Branqueta
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
98	Cedro		17.9	4.8	3.8		4.93	6.09	5	0	4	3	0	5		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
99	Cedro		25.9	2.9	4.5		7.78	7.93	45	0	2	3	0	0		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
97	Cedro		10.9	3.4	3.4		5.02	2.49	55	0	2	3	0	4		Exposición
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
94	Cedro		27.6	3.4	3.3		8.02	9.91	30	0	4	3	0	3		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																
91	Purpureo		12.6	3.5	4.7		9.75	10.43	10	0	4	3	0	17		
Especie: MED () BEP () MAR () FAM () AHU () Folio: DEF () COL () FAN () PLA () AFE () Troncalomas: SIG () PLA () ENF () LAF () CAN () Foto																

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Labitant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 2. Hoja dos de la subzona siete

2

Ubicación: _____ Subzona: 07 Fecha: _____

Brigada: U 0 Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC1	CC2	%CF	%MD	ELC	Lablanti	RD	IF	Inferencia	Observaciones	
96	Eucalipto		78.3	13.5	39.6		4.32	8.44	10	0	4	3	0	10			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
301	Pino		16	2.7	31		9.65	9.29	30	0	4	3	0	3			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
303	Pino		19.1	2.6	44.4		12.72	8.06	15	0	4	3	0	0			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
83	Eucalipto		30.3	7.0	51.1		7.42	18.38	75	0	4	3	0	7			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
87	Pino		18.4	3.5	45.1		9.89	13.3	60	0	4	3	0	2			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
81	Cedro		19.8	2.0	48.6		7.57	8.24	30	0	3	3	0	0			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
80	Pino		19.3	3.6	42.4		10.49	9.35	75	0	3	3	0	2		Pequeña exudación base	
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
77	Pino		20.8	1.8	51.2		8.45	8.76	50	0	2	3	0	2			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
76	Cedro		21.2	4.1	40.4		6.58	6.77	40	0	2	3	0	5			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
305	Capulín		10.5	3.3	41.8		14.9	9.9	10.20	20	0	5	3	0	25		
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
306	Oyamel		12.9	2.9	15.8		3.83	2.85	5	0	4	1	0	0			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
309	Pino		15.8	3.7	42.2		10.46	6.70	5	0	5	3	0	0			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
310	Alamo		13.8	2.1	32.4		10.11	9.98	2	0	5	3	0	25			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
336	P		15.3	4.1	42.3		9.25	8.46	10	0	5	3	0	25			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
313	Pino		16.3	3.6	33.4		8.59	10.34	5	0	5	3	0	5			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Foliar DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Truncatamas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Lablanti = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 3. Hoja tres de la subzona siete

(3)

Ubicación: _____ Subzona: 07 fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC¹	CC²	%CF	%MD	ELC	LabMant	RD	IF	Interferencia	Observaciones	
317	Pino		17.4	2.0	34 36.3		8.10	11.50	5	0	5	3	0	10			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
323	Cuculido		29.2	8.5	37.2 46.5		11.10	11.80	5	0	5	3	0	25			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
322	Cuculido		24.1	16.9	30.1 22.1		10.7	9	10	0	5	3	0	25			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
319	Pino		19.9	4.4	35.3 22.3		11.20	9	5	0	5	3	0	5			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
320	Pino		16.8	9.1	37.5 22.6		12.20	9.10	70	0	4	3	0	3			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
324	Cuculido		22.6	11.2	21 24		3.10	4.10	80	80	5	6	2	5			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
67	Cedro		22.1	3.5	35.1 21.9		11.50	9.50	45	0	2	3	0	2			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
69	Cedro		26.3	1.9	30.3 21		8.80	9	35	0	3	3	0	7			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
71	P		18.5	3.4	22.1 22.2		8.30	8.10	70	70	1	6	2	45			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
70	Cedro		21.7	4.5	22.3 22.3		6.70	7	60	0	2	3	0	6			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
77	Cedro		23.5	4.9	40.1 41.7		8.20	8.08	40	0	3	2	0	7			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
73	Cedro		20.2	3.8	35.4 36.2		9.07	11.10	35	0	3	3	0	2			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
75	Cedro		7.1	1.9	11.8 11.5		4.50	4.06	60	60	1	6	2	25			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
74	Cedro		19.4	2.9	34.8 23.4		9.30	11.08	40	0	2	3	0	5			
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											
Especie MED () BEP () MAR () FAM () AHU ()		Folaje DEF () COL () FAN () PLA () AFE ()		Troncalinas SIG () PLA () ENF () LAF () CAN ()		Foto											

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = altura copa viva, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, LabMant = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Imagen 4. Hoja cuatro de la subzona siete

4

Ubicación: _____ Subzona: 07 Fecha: _____

Brigada: _____ Pub/Priv: _____ Uso de suelo: _____

N° inv (ID)	Especie	AT	ACV	ABC	DN1	DN2	CC¹	CC²	%CF	%MD	ELC	Lab/Man	RD	IF	Interferencia	Observaciones
1	P		10.3	4.7	4.5	4.5	9.0	7.50	80	80	4	6	X	45		Brayo (Descont)
5	Cedro		73.2	3.2	4.2	4.2	6.30	5.7	80	0	1	3	0	3		
7	Cedro		23.5	7.6	3.2	3.2	10	5.78	40	0	3	3	0	2		
8	Cedro		70.6	6.6	3.6	3.6	9.9	6.8	30	0	2	3	0	2		
9	Cedro		74.6	1.1	3.6	3.6	8.8	6.7	70	0	3	2	0	5		
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

N° inv = número de inventario, AT = altura total, ACV = altura de copa viva, ABC = Altura base de la copa, DN = diámetro normal, CC = cobertura de copa, %CF = copa faltante, %MD = muerte descendente, ELC = exposición de luz en la copa, Lab/Man = labor de mantenimiento, RD = razón de derribo, IF = inclinación del fuste

Fuente: (I Tree ECO, 2020).

Formatos de datos sanitarios I-Tree ECO

Imagen 1. Evaluación sanitaria en follaje, tronco, ramas y estrés

Facilitador: S. Fabiola López López
International Programs, USFS

Taller i-Tree Eco

Evaluación sanitaria - Detección de signos y síntomas (IPED)

Estrés

Signos y Síntomas	Descripción	
Muerte descendente o regresiva MED	0= Ninguna 1= >10% solo en ramillas	2= En toda la copa (generalizada)
Brotos epicórmicos BEP	1= SI	2= NO
Marchitez en la copa MAR	0= Ninguna 1= Parcial	2= En toda la copa (generalizada)
Factores ambientales FAM	0= Ninguna 1= Daño por heladas 2= Sequía / suelos pobres 3= Suelos anegados	4= Ramas quebradas 5= Granizo 6= Quemaduras por sol 7= Heridas por rayos 8= Otros
Estrés asociado al humano AHU	0= Ninguna 1= Desmoches 2= Daños mecánicos	3= Plantación inadecuada o en espacio restringido 4= Daños químicos 5= Otros

Follaje y ramillas

Signos y Síntomas	Descripción	
Defoliación DEF	0= Ninguna 1= Defoliación >10% pero puntual 2= Defoliación en toda la copa 3= Follaje minado >10% pero puntual	4= Follaje minado en toda la copa 5= Masticador de nervaduras
Coloración anormal COL	0= Ninguna 1= Manchas foliares 2= Necrosis marginal 3= Necrosis intervenal 4= Cenicillas 5= Carbones o fumaginas (manchas negras)	6= Moteados (evidencia de chupadores) 7= Clorosis completa 8= Necrosis completa 9= Royas (pústulas amarillas, naranjas o blancas) 10= Otros
Follaje anormal FAN	0= Ninguna 1= Atrofias en yemas y follaje	2= Escobas de bruja (enfermedad) 3= Otros
Plagas PLA	0= Ninguna 1= Orugas 2= Escarabajos 3= Áfidos	4= Escamas 5= Capullos 6= Gusanos tejedores 7= Otros
Afectación AFE	0= Ninguna 1= >10% y <30%	2= > 30% pero no en toda la copa 3= En toda la copa

Tronco y ramas

Signos y Síntomas	Descripción	
Signos SIG	0= Ninguno 1= Presencia de aserrín 2= Orificios con forma de "D"	3= Orificios redondos > a 2 mm 4= Orificios redondos < a 2 mm 5= Otros orificios (carpintero)
Plagas PLA	0= Ninguna 1= Orugas 2= Escarabajos 3= Áfidos	4= Escamas 5= Hormigas carpinteras 6= Otros

4

Fuente: (López, 2020).

Imagen 2. Evaluación sanitaria en tronco, ramas y razón de derribo

i-Tree
Tools for Assessing and Managing Forests & Community Trees

Taller i-Tree Eco

Facilitador: S. Fabiola López López
International Programs, USFS

Signos y Síntomas	Descripción	
Enfermedades ENF	0= Ninguna 1= Hongos de repisa 2= Hongos muclaginosos 3= Cancro	4= Exudación bacteriana 5= Resinosis / Gomosis 6= Agallas y tumores 7= Otros
Crecimiento anormal CAN	0= Ninguna 1= Desprendimiento de corteza 2= Presencia de rizomorfos	3= Cordones miceliares 4= Galerías 5= Otro
Lugar de afectación LAF	0= Ninguno 1= Ramas	2= Tronco y/o cuello de la raíz 3= Ambos

Razón de derribo

Clave	Razón de derribo
1	Árbol muerto
2	Árbol suprimido
3	Árbol con muerte descendente severa
4	Árbol de alto riesgo
5	Árbol con problemas sanitarios severos
6	Por afectación severa a infraestructura
7	Por obra pública o privada

5

Fuente: (López, 2020).

Imagen 1. Árbol maduro de fresno



Fuente: elaboración propia.

Imagen 2. Árbol adulto de cedro



Fuente: elaboración propia.

Imagen 3. Árbol adulto de eucalipto



Fuente: elaboración propia.

Imagen 4. Palma canaria adulta



Fuente: elaboración propia.