

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y TECNOLOGIA

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO



EVALUACIÓN DE CONFIGURACIONES DE ARBOLADO URBANO PARA LA MITIGACIÓN DE PM_{2.5} EN LA CIUDAD DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR

T E S I S

que para obtener el grado de

MAESTRA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

Presenta

AMÉRICA XIOMARA JIMÉNEZ PÉREZ

Directora de Tesis

DRA. MARÍA CRISTINA CASTAÑÓN BAUTISTA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, AGOSTO 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y LA TECNOLOGÍA



MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

EVALUACIÓN DE CONFIGURACIONES DE ARBOLADO URBANO PARA LA
MITIGACIÓN DE PM_{2.5} EN LA CIUDAD DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO PRESENTA

AMÉRICA XIOMARA JIMÉNEZ PÉREZ

Correo electrónico: america.jimenez@uabc.edu.mx
Identificador ORCID: 0000-0002-3162-4399

Director de tesis: Dra. María Cristina Castañón Bautista
Identificador ORCID: 0000-0001-5197-3951

Revisor de tesis: Mtro. Luis Alberto Montes Zaragoza
Revisor de tesis: Dr. Miguel Isaac Sahagún Valenzuela
Revisor de tesis: Dr. Alonso Hernández Guitrón
Revisor de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor

Ensenada, B.C. 15 de agosto de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



ARQUITECTURA
URBANISMO Y DISEÑO
MAESTRÍA Y DOCTORADO
Investigación de frontera en diseño



VOTO APROBATORIO SOBRE TRABAJO DE TESIS DE GRADO

ACTA DE VOTOS APROBATORIOS

El día 05 de agosto, siendo las 12:00 hrs, se reunieron en la Sala Virtual de la Plataforma Blackboard de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la UABC los miembros del Comité Revisor con el propósito de hacer las observaciones pertinentes a la Tesis de Maestría titulada:

Evaluación de configuraciones de arbolado urbano para la mitigación de PM_{2.5} en la ciudad de la Paz, Baja California Sur

Que en el Programa de Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño, presenta:

América Xiomara Jiménez Pérez

Los miembros del Comité Revisor:

Dra. María Cristina Castañón Bautista
M. C. Luis Alberto Montes Zaragoza
Dr. Miguel Isaac Sahagún Valenzuela
Dr. Francisco Fernández Melchor
Dr. Alonso Hernández Guitrón

Quienes hicieron las observaciones pertinentes anexas a la presente para ser corregidas antes de la impresión final, determinando su **APROBACIÓN**, y proceder a que la Dirección de la Facultad fije fecha de examen recepcional una vez cumplidos los requisitos que establezca la Coordinación de Servicios Estudiantiles y Gestión Escolar y el Reglamento de Estudios de Posgrado.

Dra. María Cristina
Castañón Bautista
Directora de Tesis

M. C. Luis Alberto Montes
Zaragoza
Miembro del comité

Dr. Miguel Isaac Sahagún
Valenzuela
Miembro del comité

Dr. Francisco Fernández
Melchor
Miembro del comité

Dr. Alonso Hernández
Guitrón
Miembro del comité

C. c. p. Expediente

Ensenada, Baja California, México. Agosto 2024

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Ensenada, B.C., 15 de agosto de 2024

América Xiomara Jiménez Pérez

AVAL DE TERMINACIÓN DE TESIS

Fecha: 15 de agosto de 2024

JULIÁN ISRAEL AGUILAR DUQUE
Director de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Presente.-

Para dar cumplimiento al artículo 106 del ESTATUTO ESCOLAR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, en su TÍTULO CUARTO DE LOS TÍTULOS PROFESIONALES, GRADOS ACADÉMICOS Y DIPLOMAS, CAPÍTULO ÚNICO, sobre los requisitos para la obtención del grado de **Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño**, como director de tesis en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño Se emite la presente acta que avala que la estudiante:

AMÉRICA XIOMARA JIMÉNEZ PÉREZ

ha concluido su tesis de grado titulada:

EVALUACIÓN DE CONFIGURACIONES DE ARBOLADO URBANO PARA LA MITIGACIÓN DE PM_{2.5} EN LA CIUDAD DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR.

Lo anterior en virtud de que se realizaron las correcciones y recomendaciones del comité tutorial, por lo que ha sido aprobada para el proceso de presentación de examen de grado.

DIRECTOR DE TESIS **DRA. MARÍA CRISTINA CASTAÑÓN BAUTISTA**



FIRMA

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme brindado salud y permitirme lograr mis metas.

A mi madre y a mi padre.

Por haberme cuidado y brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Les debo todo lo que soy y estaré eternamente agradecida con ustedes.

A aquellos que ya no están y que formaron parte crucial en mi vida.

Mis abuelos Juanita, Alberto, Catalina, y especialmente a mi abuelo Horacio, quien me aconsejó e impulsó a seguirme preparando. A mi tío Gilberto, quien siempre me procuró y orientó. Siempre los tendré en mis pensamientos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por permitirme realizar mis estudios de maestría y con ello darme la oportunidad de cumplir una de mis principales metas.

A Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por los recursos otorgados a través de la beca asignada para los estudios de maestría.

A mi directora de tesis, la Dra. María Cristina Castañón Bautista, por apoyarme en cada paso del desarrollo de este proyecto. Agradezco su paciencia y entrega durante este proceso.

A mi comité de tesis, el Mtro. Luis Alberto Montes Zaragoza, el Dr. Miguel Isaac Sahagún Valenzuela, el Dr. Francisco Fernández Melchor y el Dr. Alonso Hernández Guitrón por brindarme su tiempo y conocimientos.

Un agradecimiento especial al Dr. Mario Alberto Díaz López por sus valiosas observaciones y aportaciones que ayudaron a la mejora del proyecto.

Al cuerpo académico del MAUD por brindarme su conocimiento y enseñanza en los últimos dos años.

A la Cámara de Comercio, Servicios y Turismo (CANACO) de La Paz por permitir el acceso a sus instalaciones para la etapa de monitoreo.

A mis compañeros de generación Brenda, Vanessa, Abner y Nohemí, con quienes compartí esta etapa de mi vida y que me brindaron su compañía y amistad en los últimos años. A Sofía, quien me apoyo y aconsejo desde el primer día, lo que facilitó mucho el vivir este trayecto.

Finalmente, a mis padres por el apoyo que me han dado toda mi vida.

RESUMEN

La contaminación del aire por $PM_{2.5}$ repercute negativamente en la salud y la calidad de vida humana a nivel global. En zonas urbanas, los cañones urbanos tienden a presentar los niveles de contaminación más críticos. Por ello, este proyecto tendrá como objetivo sustentar cuál es la configuración de arbolado urbano óptima a nivel de cañón para lograr un impacto positivo en la calidad del aire, con respecto a las concentraciones de $PM_{2.5}$, en la ciudad de La Paz, B. C. S.

Se seleccionó un cañón urbano y se categorizó el estado actual de su vegetación. A la par, se monitorearon las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el sitio de estudio y uno de referencia con dos equipos PurpleAir Zen Air Quality Monitor. Finalmente, se realizó la simulación de cinco escenarios (un escenario base y cuatro propuestas de especies nativas) mediante el software i-Tree Eco versión 6 que permitirían la valoración de la calidad del aire. Los resultados del monitoreo revelaron que en verano 2023- invierno de 2024, las concentraciones de $PM_{2.5}$ fueron dominantes durante el verano en un 45.92 %. Entre las seis especies encontradas en el sitio de estudio, el Laurel llorón tuvo un mayor valor de importancia (88.5%) para la eliminación de $PM_{2.5}$. La configuración de vegetación urbana que mostró un mayor rendimiento en la eliminación de $PM_{2.5}$ es el escenario E-01, constituido por *Quercus brandegeei*. Esto demuestra que existen especies nativas que logran un resultado similar o superior al de las especies inducidas.

Palabras clave: $PM_{2.5}$, cañón urbano, estrategia de mitigación, arbolado urbano, simulación de escenarios.

ABSTRACT

Particle pollution from PM_{2.5} negatively impacts human health and quality of life globally. In urban areas, urban canyons tend to present the most critical levels of pollution. Therefore, this project will aim to support the optimal urban tree configuration at canyon level to achieve a positive impact on air quality, with respect to PM_{2.5} concentrations, in La Paz, B.C.S.

An urban canyon was selected and the current state of its vegetation was categorized. At the same time, PM_{2.5} concentrations were monitored at the study site and a reference site with two PurpleAir Zen Air Quality Monitor devices. Finally, five scenarios were simulated (a base scenario and four native species proposals) using the i-Tree Eco software version 6 that would allow the assessment of air quality. The monitoring results revealed that in summer 2023-winter 2024, PM_{2.5} concentrations were dominant during summer by 45.92%. Among the six species found at the study site, *Ficus benjamina* had a higher importance value (88.5%) for PM_{2.5} removal. The urban vegetation configuration that showed the highest performance in PM_{2.5} removal is scenario E-01, composed of *Quercus brandegeei*. This shows that there are native species that achieve a similar or superior result to that of the induced species.

Keywords: PM_{2.5}, urban canyon, mitigation strategy, urban trees, scenario simulation.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
LISTADO DE ABREVIATURAS, CARACTERES Y SIMBOLOS.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	4
1.2. Justificación	8
1.3. Pregunta de investigación e Hipotesis	11
1.3.1. Pregunta principal.....	11
1.3.2. Preguntas secundarias	11
1.3.3. Hipótesis.....	11
1.4. Objetivos de investigación	12
1.4.1. Objetivo general.....	12
1.4.2. Objetivos específicos.....	12
1.5. Alcances y Limitaciones.....	13
1.5.1. Alcances	13
1.5.2. Limitaciones.....	14
CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL.....	15
2.1. Marco conceptual.....	16
2.1.1. Urbanización.....	16
2.1.2. Morfología urbana.....	17
2.1.3. Cañón urbano	17
2.1.4. Relación aspecto	18
2.1.5. Emisiones vehiculares	20
2.1.6. Contaminación del aire	20
2.1.7. Índice de calidad del aire	22
2.1.8. Material particulado	22
2.1.9. PM _{2.5}	23

2.1.10.	Estrategias de mitigación.....	23
2.1.11.	Deposición.....	24
2.1.12.	Soluciones basadas en la naturaleza	24
2.1.13.	Servicios ecosistémicos.....	27
2.1.14.	Silvicultura urbana	28
2.1.15.	Infraestructura verde.....	29
2.1.16.	Vegetación urbana.....	31
2.1.17.	Simulación de escenarios.....	31
2.1.18.	Simulación CDF.....	32
2.1.19.	Modelo de deposición seca	32
2.1.20.	i-Tree	32
2.2.	Marco de referencial	33
2.2.1.	Estado del arte.....	33
2.2.2.	Antecedentes.....	41
2.2.2.1.	Urbanización.....	44
2.2.2.2.	Morfología urbana	45
2.2.2.3.	Cañón urbano.....	47
2.2.2.4.	Emisiones vehiculares.....	47
2.2.2.5.	Contaminación del aire.....	49
2.2.2.6.	Material particulado	49
2.2.2.7.	PM _{2.5}	50
2.2.2.8.	Estrategias de mitigación.....	51
2.2.2.9.	Deposición.....	54
2.2.2.10.	Soluciones basadas en la naturaleza	56
2.2.2.11.	Servicios ecosistémicos	57
2.2.2.12.	Infraestructura verde	58
2.2.2.13.	Vegetación urbana	60
2.2.2.14.	Simulación CFD.....	64
2.2.2.15.	Modelos de deposición seca	65
2.2.2.16.	I-Tree.....	66
2.2.3.	Marco Normativo	67

2.2.3.1.	Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire.....	67
2.2.3.2.	Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014.....	68
2.2.3.3.	Ley de Protección y Conservación de Árboles Urbanos y Zonas Verdes para el Estado y Municipios de Baja California Sur.....	69
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....		70
3.1.	Diseño de la investigación	71
3.2.	Diseño del experimento	72
3.2.1.	Resumen	72
3.2.2.	Herramientas, instrumento o software	73
3.2.3.	Objeto de estudio.....	75
3.2.4.	Procedimiento experimental	79
3.2.4.1.	Sitio de estudio	79
3.2.4.1.1.	Área de estudio	79
3.2.4.1.2.	Unidad de análisis	80
3.2.4.2.	Análisis de cobertura vegetal.....	82
3.2.4.3.	Definición de las configuración y conformación de escenarios. 84	
3.2.4.3.1.	Características de arbolado urbano	84
3.2.4.3.2.	Selección de especies.....	87
3.2.4.4.	Monitoreo en sitio de los niveles de PM _{2.5}	88
3.2.4.4.1.	Periodo de estudio	88
3.2.4.4.2.	Recolección de datos por monitoreo en sitio.....	88
3.2.4.4.2.1.	Monitoreo de periodo de verano	92
3.2.4.4.2.2.	Monitoreo de periodo de invierno	99
3.2.4.5.	Modelo i-Tree Eco para la simulación de escenarios	99
3.2.4.5.1.	Método de i-Tree Eco.....	100
3.2.4.5.2.	Planificación del proyecto.....	101
3.2.4.5.3.	Recopilación de datos	102
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		113
4.1.	Resultados.....	114
4.1.1.	Estado actual de la cobertura vegetal.....	114

4.1.2.	Selección de especies	117
4.1.3.	Resultados de monitoreo en sitio.....	123
4.1.3.1.	Monitoreo del periodo de verano	123
4.1.3.1.1.	Estación Hotel Perla.....	123
4.1.3.1.1.1.	Resultados diarios.....	123
4.1.3.1.1.2.	Resultados por hora	125
4.1.3.1.2.	Estación CANACO	126
4.1.3.1.2.1.	Resultados diarios.....	126
4.1.3.1.2.2.	Resultados por hora	126
4.1.3.1.3.	Análisis comparativo del monitoreo de periodo de verano en sitio de estudio y de referencia	127
4.1.3.1.3.1.	Datos diarios	127
4.1.3.1.3.2.	Datos horarios.....	128
4.1.3.2.	Monitoreo del periodo de invierno	129
4.1.3.2.1.	Estación CANACO	129
4.1.3.2.1.1.	Resultados diarios.....	129
4.1.3.2.1.2.	Resultados por hora	130
4.1.3.3.	Análisis comparativo de la estación CANACO en los periodos de verano e invierno.....	130
4.1.3.3.1.	Diario.....	130
4.1.3.3.2.	Por hora	131
4.1.4.	Simulación de escenarios por i-Tree Eco	132
4.1.4.1.	Escenario base.....	132
4.1.4.1.1.	Configuración del proyecto.....	132
4.1.4.1.2.	Integración de datos para el proyecto	134
4.1.4.1.2.1.	Datos climatológicos y de contaminación.....	134
4.1.4.1.2.1.1.	Datos climatológicos	134
4.1.4.1.2.1.2.	Datos de contaminación	139
4.1.4.1.2.1.2.1.	Análisis comparativo de los datos monitoreados por la estación CANACO y i-Tree Eco	139
4.1.4.1.2.2.	Recolección de información de especie	146

4.1.4.1.3. Eliminación de PM _{2.5} en el escenario base.....	148
4.1.4.2. Propuestas de configuraciones	154
4.1.4.2.1. Configuración del proyecto.....	154
4.1.4.2.2. Eliminación de PM _{2.5} en escenarios propuestos.....	156
4.2. Discusión	161
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	164
REFERENCIAS	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de crecimiento de la ciudad de la Paz, B.C.S.	7
Figura 2. Análisis bibliométrico VOSviewer, Network Visualization.....	16
Figura 3. Elementos de la infraestructura verde.....	30
Figura 4. Métodos en la etapa de investigación de la literatura consultada	31
Figura 5. Escenarios base de propuestas de infraestructura verde.	35
Figura 6. Método PSALSAR, con adaptación a CEE.	41
Figura 7. Temas periféricos de la investigación.	42
Figura 8. Revisión sistemática en base de datos Scopus.	43
Figura 9. Revisión sistemática en base de datos Web of Science.	43
Figura 10. Estrategias de mitigación empleadas en la literatura consultada.	53
Figura 11. Proceso metodológico.....	71
Figura 12. Diseño general de la investigación.....	72
Figura 13. Selección preliminar del sitio de estudio.	77
Figura 14. Ciudad de La Paz, Baja California Sur, México.....	79
Figura 15. Vista superior, Calle Carlos M. Esquerro.	81
Figura 16. Vista de calle, Calle Carlos M. Esquerro.	81
Figura 17. Cobertura vegetal en la calle Carlos M. Esquerro.	83
Figura 18. Estaciones de monitoreo reportadas por CERCA.	89
Figura 19. Ubicación de PurpleAir Zen Air Quality Monitor.	91
Figura 20. PurpleAir Zen Air Quality Monitor Hotel Perla.	92
Figura 21. Instalación de panel fotovoltaico en la estación Hotel Perla.....	93
Figura 22. Módulo solar EPCOM Power Line.....	93
Figura 23. Controlador de corriente SUNPOWER.....	95

Figura 24. Batería automotriz LTH.	96
Figura 25. Instalación de PurpleAir Zen Air Quality Monitor Hotel Perla.	96
Figura 26. PurpleAir Zen Air Quality Monitor CANACO.....	97
Figura 27. Outdoor Power Supply CANACO.}.....	98
Figura 28. Instalación de PurpleAir Zen Air Quality Monitor CANACO.....	98
Figura 29. Diagrama del proceso básico de i-Tree Eco.	100
Figura 30. Árbol de decisión i-Tree Eco	101
Figura 31. Resumen “características medidas directamente en campo se utilizan para estimar variables derivadas y servicios ecosistémicos”	105
Figura 32. Resultados de monitoreo de verano diarios en Estación Hotel Perla	124
Figura 33. Resultados de monitoreo de verano horarios en Estación Hotel Perla	125
Figura 34. Resultados de monitoreo de verano diarios en Estación CANACO ..	126
Figura 35. Resultados de monitoreo de verano horarios en Estación CANACO	127
Figura 36. Resultados de monitoreo de invierno diarios en Estación CANACO	129
Figura 37. Resultados de monitoreo de invierno horarios en Estación CANACO	130
Figura 38. Estación meteorológica NCEI 764050-99999	135
Figura 39. Precipitación anual 2020	136
Figura 40. Precipitación mensual 2020	137
Figura 41. Temperatura anual 2020	137
Figura 42. Temperatura mensual 2020	138
Figura 43. Niveles de PM _{2.5} anuales 2020.....	139
Figura 44. Datos comparativos de estación CANACO y i-Tree Eco por día.....	140
Figura 45. Datos comparativos de estación CANACO y i-Tree Eco por hora.....	141

Figura 46. Comparación de datos diarios en periodo de verano	142
Figura 47. Comparación de datos horarios en periodo de verano.....	143
Figura 48. Comparación de datos diarios en periodo de invierno	144
Figura 49. Comparación de datos horarios en periodo de invierno	145
Figura 50. Porcentaje de la población de árboles vivos por área de origen	149
Figura 51. Eliminación anual de la contaminación por árboles urbanos.....	151
Figura 52. Eliminación de la contaminación por árboles mensual promedio	152
Figura 53. Datos comparativos de la precipitación y eliminación mensual de PM _{2.5}	153
Figura 54. Mejoramiento de la calidad del aire por arboles	154
Figura 55. Eliminación anual de PM _{2.5} por árboles urbanos en los escenarios..	157
Figura 56. Comparación de la eliminación de PM _{2.5} por árboles mensual promedio de los escenarios	158
Figura 57. Mejoramiento de la calidad del aire por árboles en cada escenario..	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nivel 1 de jerarquización de cañones urbanos.	19
Tabla 2. Nivel 2 de jerarquización de cañones urbanos.	19
Tabla 3. Tipos de contaminantes en el aire.	21
Tabla 4. Categorías del índice de calidad del aire (ICA).	22
Tabla 5. Soluciones basadas en la naturaleza y sus beneficios.	25
Tabla 6. Clasificación de coberturas terrestres de tipo vegetal.	28
Tabla 7. Casos de estudio de PM _{2.5} y vegetación.	38
Tabla 8. Ámbito de la investigación para la revisión sistemática de la literatura basado en la aplicación del marco PICOC a los objetivos determinados.	41
Tabla 9. Estudios de la calidad del aire según la geometría del espacio.	46
Tabla 10. Niveles estipulados por las directrices para la calidad del aire y sus metas intermedias.	68
Tabla 11. Valores límites de las concentraciones de PM ₁₀ y PM _{2.5}	69
Tabla 12. Recursos.	73
Tabla 13. Características del cañón urbano para su selección.	75
Tabla 14. Análisis comparativo de cañones urbanos.	78
Tabla 15. Características del sitio.	82
Tabla 16. Características del arbolado urbano.	84
Tabla 17. Características a considerar para la selección de especies.	87
Tabla 18. Especificaciones técnicas del PurpleAir Zen Air Quality Monitor.	90
Tabla 19. Especificaciones técnicas del módulo solar EPCOM Power Line.	94
Tabla 20. Especificaciones técnicas del controlador de corriente SUNPOWER. .	95
Tabla 21. Comparación de empleo de muestras o inventarios completos.	102
Tabla 22. Variables centrales del árbol utilizadas en i-Tree Eco.	103

Tabla 23. Campos de especies para la base de datos i-Tree Eco.....	106
Tabla 24. Campos de ubicación para la base de datos i-Tree Eco.....	107
Tabla 25. Campos de precipitación para la base de datos i-Tree Eco.....	109
Tabla 26. Requisitos de formato para la plantilla de contaminación	110
Tabla 27. Campos de contaminación para la base de datos i-Tree Eco.....	112
Tabla 28. Paleta vegetal del estado actual del sitio de estudio	114
Tabla 29. Selección de especies para las propuestas de configuraciones de arbolado urbano del proyecto.....	117
Tabla 30. Configuración del proyecto	132
Tabla 31. Lugar.....	132
Tabla 32. Opciones de recopilación de datos	133
Tabla 33. Ficha de datos de especies de vegetación	146
Tabla 34. Especies de mayor importancia en Carlos M. Esquerro	150
Tabla 35. Eliminación de la contaminación por árboles (media, mínima y máxima)	151
Tabla 36. Escenarios e información de especies de vegetación	155
Tabla 37. Eliminación de la contaminación por árboles promedio de los escenarios	157

LISTADO DE ABREVIATURAS, CARACTERES Y SIMBOLOS

Material particulado	PM
Material particulado con diámetro menor a 1 μm	PM ₁
Material particulado con diámetro menor a 2.5 μm	PM _{2.5}
Material particulado con diámetro menor a 4 μm	PM ₄
Material particulado con diámetro menor a 7 μm	PM ₇
Material particulado con diámetro menor a 10 μm	PM ₁₀
Material particulado	PMX
Partículas suspendidas totales	TSP
Partículas ultrafinas	UFP
Ozono	O ₃
Dióxido de nitrógeno	NO ₂
Óxidos de nitrógeno	NO _x
Óxido de carbono	CO
Dióxido de azufre	SO ₂
Carbón negro	BC
Concentración de número de partículas	PNC
Índice de calidad del aire	ICA
Cañón urbano	CU
No cañón urbano	NCU
Cañón urbano y viaducto	CUV
Ancho entre altura (relación aspecto)	H/W
Soluciones basadas en la naturaleza	SbN
Infraestructura verde urbana	IVU
Techo verde	TV
Paredes vivas	PV
Muros verdes	MV
Velocidad de deposición seca	Vd
Diámetro a la altura del pecho	DAP
Presión arterial sistólica	PAS
Presión arterial diastólica	PAD
Presión de pulso	PP
Dinámica de fluidos computacional	CFD
Índice de confianza	IC
Autorregresivo	AR
Promedio móvil	MA
Promedio móvil autorregresivo	ARMA
Promedio móvil integrado autorregresivo	ARIMA
Promedio móvil integrado autorregresivo estacional	SARIMA
Densidad del área foliar	LAD
Diámetro a altura de pecho	d.a.p.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo generar estrategias de mitigación para la reducción de PM_{2.5} en el ambiente a través de la implementación de arbolado urbano nativo, la cual será un área de oportunidad en la búsqueda de soluciones factibles que no solo contribuyan a la calidad del aire sino también a la creación de un mejor hábitat para las especies silvestres y al reforzamiento de identidad del entorno natural de la zona, que dada la adaptabilidad de éstas, reduce la necesidad de mantenimiento.

En los últimos tiempos se ha observado el aumento acelerado de la población en zonas urbanas, esto debido a la creciente necesidad del hombre de buscar nuevas oportunidades y mejorar la calidad de vida (World Health Organization [WHO], 2010). Desafortunadamente, estos cambios han incidido en el deterioro ambiental. La centralización de la población genera un aumento en la densidad de tráfico y las actividades industriales, lo que implica una mayor emisión de contaminantes, por lo que se identifica que el crecimiento urbano juega un papel crucial en la calidad del aire (Fang et al., 2015; Heal et al., 2012, como se citó en Kumar et al., 2019). A partir de este hecho, investigadores de todo el mundo contribuyeron al estudio y entendimiento de esta problemática para definir posibles soluciones (Dhital & Rupakheti, 2019).

Southerland et al. (2022) exponen que sin lugar a dudas la calidad del aire debe ser un tema de preocupación para todo el mundo, ya que la exposición a estos agentes provoca un aumento en la tasa de mortalidad en diversos países.

En respuesta a este hecho surge la necesidad de crear iniciativas para mitigar este problema. Estudios recientes demostraron que el contacto con árboles y el acceso a áreas verdes influye positivamente en la salud pública (Suppakittpaisarn et al., 2017), ya que estos pueden reducir los niveles de contaminación emitidos por las actividades antropogénicas (Jo et al., 2020), por lo que una buena planeación de la plantación de arbolado puede generar beneficios sociales, económicos y ecológicos (Nyelele & Kroll, 2021).

Para este estudio se seleccionó un cañón urbano de acuerdo con una serie de características definidas a través de la literatura (ubicación, relación aspecto, cobertura

vegetal, aforo vehicular) y se categorizó el estado actual de la vegetación presente. Con base en el catálogo de especies nativas, se seleccionaron las de mejor desempeño en la captura de partículas. A la par, se monitoreó la concentración de PM_{2.5} en el sitio de estudio por medio de dos campañas de monitoreo ejecutadas en los periodos de verano e invierno, para lo cual se emplearon dos equipos de monitoreo PurpleAir Zen Air Quality Monitor. Finalmente, de acuerdo con la información obtenida de vegetación y del estado de la calidad del aire, se realizó la simulación de cinco escenarios (estado actual y cuatro propuestas) en el modelo i-Tree Eco versión 6 que permitirían la selección de la especie óptima y la valoración de la calidad del aire.

Asimismo, el presente documento consta de cinco capítulos: introducción, marco teórico, metodología, resultados y discusión, y conclusiones.

En el capítulo I, denominado introducción, se presenta un panorama general de la investigación, a través de los apartados de planteamiento del problema, justificación, preguntas de investigación, hipótesis, objetivos generales y específicos, alcances y limitaciones.

El capítulo II, marco referencial, está integrado por el marco conceptual y referencial que sustentan el proceso metodológico de esta investigación.

El capítulo III, metodología, describe el diseño de la investigación y experimento, donde se resalta la metodología aplicada para el desarrollo del estudio.

El capítulo IV, resultados y discusión, se dan a conocer los valores obtenidos durante la campaña de monitoreo del sitio de estudio y de referencia, así como los cinco escenarios simulados (escenario base y propuestas). Posteriormente, se realizó una discusión de los resultados y la literatura consultada.

Finalmente, el capítulo V, conclusión, da lugar a las ideas generadas a partir de los resultados obtenidos a través del desarrollo de esta investigación.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Actualmente, la contaminación del aire ha causado preocupación en todo el mundo. La exposición a agentes contaminantes como el material particulado (PM, por sus siglas en inglés), el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el dióxido de azufre (SO₂) y el monóxido de carbono (CO) tienen un impacto negativo para la salud y la calidad de vida humana. El contacto con estos agentes repercute en la aparición de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como el cáncer de pulmón (World Health Organization [WHO], 2021b).

Entre los agentes contaminantes que son foco de interés en materia de salud pública se encuentra el PM_{2.5} (material particulado con un diámetro menor o igual a 2.5µm), ya que, al estar compuesto de partículas muy pequeñas, estas son capaces de traspasar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo, lo que ocasiona daños graves al ser humano y posiciona a este contaminante como uno de los de mayor peligro (World Health Organization [WHO], 2021a).

Para los seres humanos, el aire inhalado que ingresa al aparato respiratorio incide directamente con el correcto funcionamiento del organismo. De aquí la importancia del estudio del material particulado en fracciones más pequeñas, ya que del tamaño de estas depende el lugar en donde se van a depositar al ser inhaladas y las afectaciones que su ingreso podría provocar (Castañón et al., n.d.).

Por ello, desde 1987, la Organización Mundial de la Salud (OMS) periódicamente publica directrices que establecen parámetros de la calidad del aire, para que de esta forma países de todo el mundo puedan tomar las medidas necesarias para salvaguardar la salud de su población. Desafortunadamente, en la actualidad la calidad del aire en países de mediano y bajo ingreso sigue deteriorándose (WHO, 2021b). Esta situación ha generado alerta, ya que la exposición a estos contaminantes puede ser causa de muerte, especialmente en la población perteneciente a grupos vulnerables como de personas de la tercera edad e infantes (Autrup, 2010).

Particularmente las ciudades tienden a tener niveles de contaminación superiores que otras áreas del mismo país por factores como la concentración geográfica de personas

y actividades económicas desempeñadas, lo que tiene como consecuencia mayores emisiones de distintas fuentes (The Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2018). Esto demuestra que la morfología de la ciudad influye en la dispersión de estos contaminantes. Cañones urbanos, donde el valor de la relación de aspecto sea alto, es decir, caracterizados por ser profundos y estrechos, se presentan niveles de contaminación más elevados, ya que estas condiciones limitan el flujo de aire que permite la dispersión de los mismos (Zhou et al., 2022).

La altura de los edificios cumple un papel crucial en la calidad del aire. Los autores Fu et al. (2017) establecieron la relación entre la altura de los edificios y la contaminación del aire. Determinaron que, a mayor altura, mayores son las concentraciones de contaminantes a nivel peatón dentro de los cañones urbanos, lo que repercute directamente sobre la salud de estos. Sin embargo, no solo la geometría de los edificios impacta en la dispersión de contaminantes, sino también la morfología de la infraestructura verde urbana, puesto que una inadecuada configuración puede maximizar las concentraciones de contaminantes como el material particulado en el ambiente (Kokkonen et al., 2021b).

Dentro de los cañones urbanos, uno de los principales emisores de material particulado en el ambiente es el tráfico urbano (Pant & Harrison, 2013). Globalmente, se estima que el 25 % de la población se trasporta a través de sistemas no motorizados, sin embargo, en la ciudad de La Paz solo el 5.5 % recurre a esta alternativa, esto debido a las condiciones climáticas desfavorables y al estado actual de la infraestructura vial (H. XVI Ayuntamiento de La Paz, 2018).

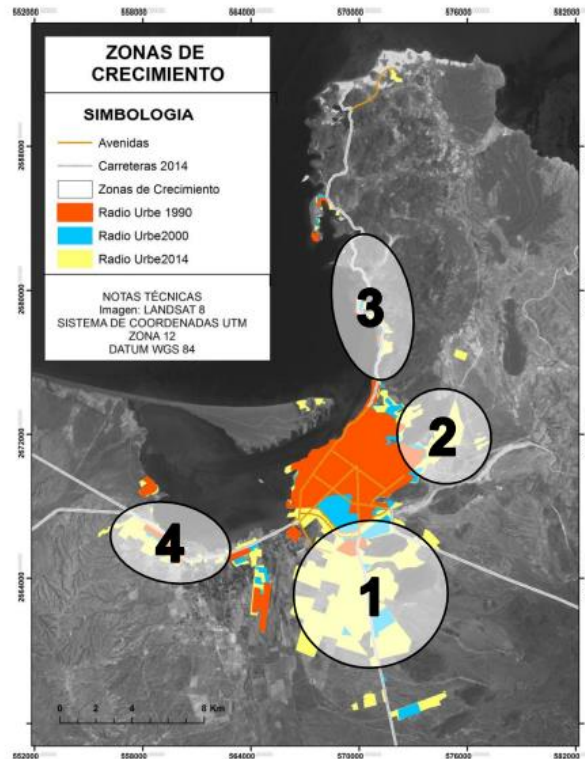
El crecimiento de la ciudad ha generado un incremento en las distancias internas para el traslado, lo que implica un problema para sus habitantes. Hasta el momento, solo se han aplicado medidas que favorecen al transporte particular y se ha dejado de lado la implementación de infraestructura adecuada para el transporte público y no motorizado, lo cual dificulta su empleo. Aunque en la capital del estado el 41.5 % de los habitantes optan por el uso del transporte público, aún falta trabajar en una red de transporte eficiente y seguro que incentive a más personas a recurrir a este medio (H. XVI Ayuntamiento de La Paz, 2018). Cabe resaltar que el estado de Baja California

Sur, en el año 2018, se posicionó como el segundo estado de la república con más automóviles particulares, con una cifra de 5,552 automóviles por cada 10,000 habitantes (México ¿Cómo Vamos?, 2020).

En las últimas décadas, se ha presentado una urbanización acelerada significativa, donde, en general, ciudades grandes de países de ingresos bajos y medio bajos, presentaron un mayor crecimiento de la población en zonas urbanas, además de que en países de ingresos medio altos la expansión de las ciudades fue tres veces mayor que la de países de ingresos altos (L. Sun et al., 2020). Este hecho ha generado resultados adversos, como el deterioro a la calidad del aire, ya que se ha detectado que existe una correlación positiva entre la urbanización y las concentraciones de PM_{2.5} en el ambiente (Luo et al., 2021). De 1990 a 2014, La Paz demostró un crecimiento en cuatro direcciones que amplió el uso del espacio urbanizado (Figura 1) (Moreno Gómez, 2016), lo cual de seguir la tendencia potencializaría el riesgo a presentar mayores emisiones dentro de la ciudad.

Figura 1.

Zonas de crecimiento de la ciudad de la Paz, B.C.S.



Nota. Obtenido de *Capacidad de Carga Urbana y Análisis Espacio-Temporal del Crecimiento de La Paz, B.C.S., México [Tesis de Maestría]* (página 28), por Moreno Gómez, (2016), Universidad Autonoma de Baja California Sur.

Por otra parte, la generación de pérdidas en la cobertura vegetal, contribuyen la disminución de la riqueza de especies de plantas (Salgado et al., 2022), así como daños a las funciones ecosistémicas que estas nos proveen, como la reducción de agentes contaminantes para la mejora de la calidad del aire (Meerow & Newell, 2017).

Por tal motivo, la presente investigación tiene como fin sustentar cuál es la configuración de arbolado urbano óptima a nivel de cañón para lograr un impacto positivo en la calidad del aire, con respecto a las concentraciones de PM_{2.5}, en la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

1.2. Justificación

La rápida urbanización ha implicado un aumento en las actividades antropogénicas dentro de las ciudades, por ello las concentraciones de PM_{2.5} han incrementado significativamente. Este hecho resulta ser de interés y ha generado la necesidad de desarrollar medidas para su pronta regulación (Han et al., 2016). Un ejemplo de esto es la NOM-025-SSA1-2014, Norma Oficial Mexicana que insta los límites aceptables de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ (material particulado con un diámetro menor o igual a 10µm), y define los criterios de evaluación, para salvaguardar la salud de los mexicanos (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2014).

La inadecuada dispersión de partículas atenta contra la salud y el bienestar humano, además de producir otros efectos ambientales nocivos. Se manifestó que la exposición al PM_{2.5} está asociado a una menor expectativa de vida, se estima que el 3 % y 5 % de las muertes en el mundo por enfermedades cardio pulmonares, así como cáncer de tráquea, bronquios y pulmón respectivamente son originadas por el material particulado presente en la atmósfera (Apte et al., 2018; Ezzati et al., 2004).

La contaminación por PM_{2.5} surge de reacciones complejas de sustancias químicas como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, emitidos por las actividades antropogénicas (como centrales eléctricas, industrias y automóviles) (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2022). Una de las mayores fuentes de PM_{2.5} a nivel global es el tráfico urbano, el cual provoca en promedio el 25 % de las emisiones globales. Aunque países como la India, el sureste y el sur de Asia, el suroeste de Europa, Brasil y parte de los países del continente americano (incluido México) presentan cifras de más del 30 % (Karagulian et al., 2015).

Particularmente en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, debido al rápido crecimiento territorial y por ende el incremento de las distancias para el transporte de la población, se provocó un aumento en la tasa de motorización. En el año de 1990 se registraban menos de 30 vehículos por cada 100 habitantes, sin embargo, para el año 2015 esta cifra aumento a casi 80 vehículos (Bermúdez, 2016). De aquí la necesidad de tomar medidas por parte de las autoridades y la ciudadanía para prevenir daños que puedan ser causados por estas actividades.

Apte et al. (2015) mencionan que acciones mínimas que ayuden a mitigar el PM_{2.5} en regiones generalmente consideradas limpias, como es el caso de América del Norte y Europa, pueden contribuir a evitar una alta tasa de mortalidad, en función a factores demográficos y la relación no lineal de concentración-respuesta, que describe el riesgo de la exposición a PM debido a la relación que se le da con distintas causas de muerte.

La implementación de espacios verdes en zonas urbanas es una de las técnicas de mitigación que ha ganado mayor interés en los últimos años, ya que se demostró que ayudan a reducir los niveles de PM_{2.5} en zonas locales y áreas adyacentes a estas (C. Xu et al., 2020), sin embargo, debe tenerse en consideración que estas también pueden ser emisoras de compuestos orgánicos (entre estos, terpenos), una de las fuentes naturales de PM_{2.5} (INE-SEMARNAT, 2012), razón por la cual es necesaria una adecuada selección de plantas.

La integración de arbolado en los espacios genera un sinfín de beneficios, tanto ambientales, como sociales y económicos, ya que tienen la capacidad de trabajar como una capa protectora contra el ruido y el viento, capturan partículas de polvo (lo que ayuda a reducir la contaminación), generan oxígeno y reducen las temperaturas, además de ser parte fundamental de la estructura de las ciudades (H. Congreso del Estado de Baja California Sur, 2019).

Las plantas endémicas o nativas son una buena alternativa para las prácticas de infraestructura verde, dada su adaptabilidad al entorno, que fomentan la creación de un mejor hábitat para las especies silvestres y ayudan a reforzar la identidad del entorno natural de la zona (MacAdam et al., 2014). Por ello se deben crear estrategias inteligentes que tomen en consideración las utilidades que puedan aportar las especies seleccionadas, así como la posición en las que se deben colocar para aprovechar al máximo sus beneficios y convertir a nuestras ciudades en espacios óptimos para sus habitantes (Ferrini et al., 2020).

Esta investigación pretende contribuir con lo establecido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Principalmente, el denominado "Salud y Bienestar", el cual tiene como meta 3.9 disminuir para el año 2023 el número de enfermedades y muertes asociadas a la contaminación atmosférica. Así mismo, se considera el objetivo que

hace referencia a “Ciudades y Comunidades Sostenibles” y que tiene como meta 11.6, para el 2030, reducir los efectos negativos que genera la contaminación del aire en zonas urbanas, especialmente la reducción de concentraciones de PM_{2.5} (Naciones Unidas, 2018).

Por otra parte, a nivel nacional se atenderá lo establecido en el eje 4 de la Estrategia Nacional de la Calidad del Aire Visión 2017-2030, que tiene como objetivo “consolidar los instrumentos y la investigación científica y técnica que generan información sobre la calidad del aire para articularlos con las políticas y programas que la gestionan” (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], n.d., p. 44), así como “la creación de métodos para la implementación de un sistema de alerta temprana que permita mitigar con acciones específicas de cada sector, los efectos de la mala calidad del aire” (SEMARNAT, n.d., p. 45).

Al tomar en cuenta estas premisas, la investigación plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es la configuración de arbolado urbano a nivel de cañón, que genera un impacto positivo en la mejora de la calidad del aire, con respecto a las concentraciones de PM_{2.5}, en la ciudad de La Paz, Baja California Sur?

1.3. Pregunta de investigación e Hipotesis

1.3.1. Pregunta principal

¿Cuál es la configuración de arbolado urbano a nivel de cañón, que genera un impacto positivo en la mejora de la calidad del aire, con respecto a las concentraciones de $PM_{2.5}$, en la ciudad de La Paz, Baja California Sur?

1.3.2. Preguntas secundarias

¿Cuál es el cañón urbano, ubicado en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, que cumple con las características definidas para el estudio?

¿Cuál es el estado actual de la cobertura vegetal presentada en el cañón urbano ubicado en La Paz, Baja California Sur?

¿Cuál es la condición actual de la calidad del aire con respecto a las concentraciones de $PM_{2.5}$ presentadas en el sitio de estudio y de referencia?

De acuerdo con los resultados de simulación, ¿cuáles son las características que deben tener las cuatro configuraciones de arbolado urbano para la disminución de $PM_{2.5}$ en la zona?

¿Cuál es la especie óptima para la eliminación de $PM_{2.5}$ en el cañón urbano con base al catálogo de especies nativas de Baja California Sur?

¿Cuál es la cantidad de $PM_{2.5}$ removidas por la implementación de arbolado en el cañón urbano?

1.3.3. Hipótesis

La implementación de una configuración de arbolado urbano, que integre especies nativas de la región en un cañón urbano ubicado en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, influirá positivamente en la disminución de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la calidad del aire del sitio de estudio.

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. *Objetivo general*

Sustentar cuál es la configuración de arbolado urbano óptima a nivel de cañón para lograr un impacto positivo en la calidad del aire, con respecto a las concentraciones de PM_{2.5}, en la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- I. Evaluar y seleccionar el área de estudio de acuerdo con las características definidas para cañón urbano (ubicación, relación aspecto, cobertura vegetal, aforo vehicular) en la ciudad de La Paz, Baja California Sur.
- II. Categorizar el estado actual de la cobertura vegetal presente en el sitio de estudio: cañón urbano ubicado en la calle Carlos Manuel Esquerro de la ciudad La Paz, Baja California Sur.
- III. Medir con dos equipos de monitoreo *PurpleAir Zen Air Quality Monitor* la cantidad de PM_{2.5} durante los meses julio-agosto de 2023 (verano) y el durante los meses de enero-marzo del 2024 (invierno) para dos sitios:
 - Hotel Perla ubicado en Carlos M. Esquerro y Agustín Arriola M (sitio de estudio).
 - Estacionamiento de la Cámara de Comercio, Servicios y Turismo de La Paz (CANACO), ubicado en la calle 16 de septiembre y Carlos M. Esquerro (sitio de referencia).
- IV. De acuerdo con los resultados de la cobertura y datos de las especies de vegetación, realizar una simulación para cinco escenarios (estado actual y cuatro propuestas) mediante el modelo i-Tree Eco versión 6.
- V. Determinar cuál la especie óptima para la eliminación de PM_{2.5} en el cañón urbano con base al catálogo de especies nativas de Baja California Sur.
- VI. Valorar la calidad del aire generada a partir de la eliminación de PM_{2.5} por la configuración de arbolado urbano obtenida para el cañón urbano.

1.5. Alcances y Limitaciones

1.5.1. Alcances

De acuerdo con los objetivos específicos descritos, se seleccionará un sitio de estudio, ubicado en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, el cual deberá reunir las siguientes características:

El sitio deberá considerarse un cañón urbano. Conforme a lo estipulado con los autores Fu et al., (2017), la geometría de la ciudad es un factor fundamental en la dispersión de contaminantes; ya que edificios más altos dificultan la ventilación dentro de los cañones urbanos, y como consecuencia contienen mayores concentraciones de contaminantes dentro, con respecto a los niveles presentados fuera de estos. Asimismo, encontró que alturas desiguales en los edificios de una calle representan un mayor obstáculo para el efecto de dispersión.

En términos de vegetación, el sitio deberá contar con dos secciones, una con alta cobertura vegetal y otra carente de la misma y con espacio disponible para la reforestación, o en su caso implementar el concepto de efecto nodriza en las especies vegetales.

El sitio deberá presentar niveles de tráfico vehicular constantes, ya que un alto flujo vehicular es considerada una de las fuentes importantes de $PM_{2.5}$ dentro de los cañones urbanos (B. Wang et al., 2021).

De ser posible, el sitio de estudio debe tener acceso a una estación de monitoreo activa de $PM_{2.5}$ operada por las autoridades municipales, estatal o regionales.

Para la etapa de simulación de escenarios se empleará el software i-Tree Eco versión 6, un modelo de deposición seca completamente gratuito, el cual permite el análisis del estado forestal urbano, así como de los beneficios que estos proporcionan en sitios a pequeñas y grandes escalas (USDA Forest Service et al., 2017).

Finalmente, la presente investigación tendrá como fin generar una propuesta de arbolado urbano para la mitigación de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ambiente en el sitio de estudio propuesto.

1.5.2. Limitaciones

Para el desarrollo del estudio se presentan una serie de limitaciones dadas en función de lo siguiente:

Este estudio se realizará en un solo sitio de estudio, puesto que La Paz, Baja California Sur, al ser una ciudad pequeña, en proceso de crecimiento, de tan solo 250,141 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020), cuenta con pocos sitios acorde a las características requerida para esta instigación.

Para la etapa de simulación de escenarios se empleará el software i-Tree Eco versión 6, un modelo de deposición seca completamente gratuito, el cual cuenta con ciertas limitaciones. La base de datos de I-Tree Eco cuenta con información del tiempo a partir del año 2002 al 2021 y de contaminación del aire en 2015 y 2020 (correspondiente a la ciudad del La Paz), si bien, es posible incluir nuevos datos al sistema, la administración requiere datos de monitoreo del año completo.

El plazo disponible para el desarrollo de proyecto de investigación es de dos años, sin embargo, al tratarse de un estudio ubicado en una ciudad distinta a la residencia actual de la estudiante, para la etapa experimental solo se podrá disponer de los periodos de verano e invierno para ejecutar las actividades relacionadas con el monitoreo simultáneo del sitio y el levantamiento del cañón urbano. Durante la época de verano, el monitoreo en sitio se llevó a cabo en la estación Hotel Perla (sitios de estudio) y estación CANACO (sitio de referencia), no obstante, durante la transición entre los dos periodos el Hotel Perla sufrió cambios significativos que impidieron una segunda campaña de monitoreo, motivo por el cual, solo la estación CANACO cuenta con los datos completos.

Una vez finalizado el estudio, se espera tener como resultado el diseño óptimo de arbolado urbano para la mejora de la calidad del aire con respecto a los niveles de $PM_{2.5}$ en el cañón urbano, diseño que posteriormente será entregado a la autoridad correspondiente y el estudio estará limitado a esta entrega.

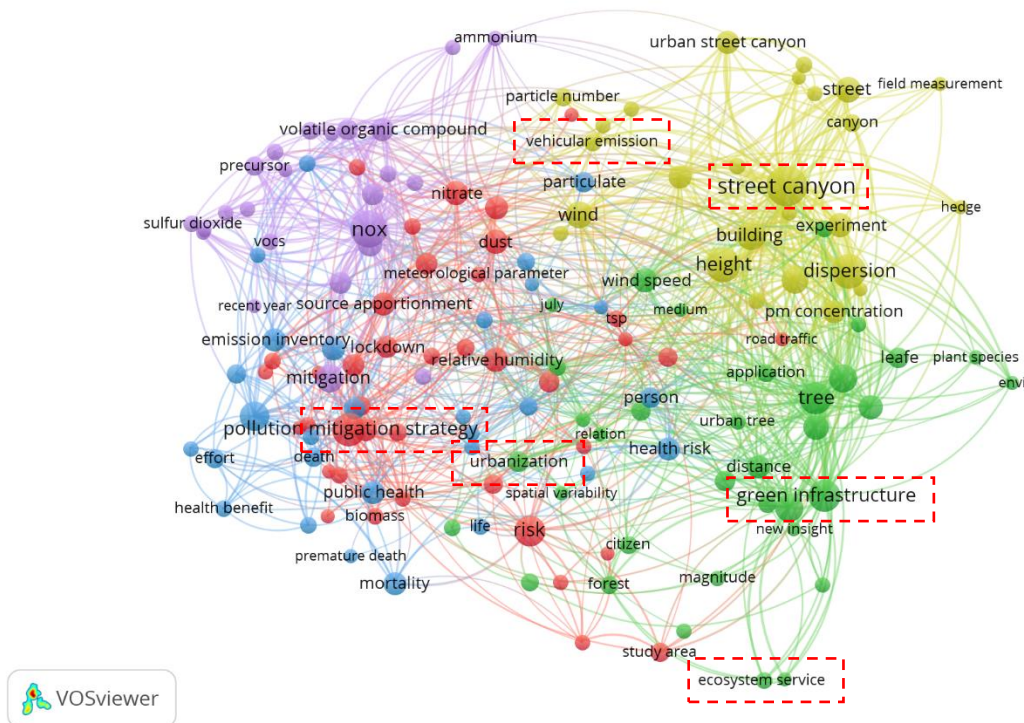
CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco conceptual

Se realizó un análisis bibliométrico por medio del software VOSviewer con el objetivo de identificar palabras claves asociadas a la investigación que servirán como base para la conformación de los puntos a desarrollar dentro del marco conceptual, en función de la cual se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 2.

Figura 2.

Análisis bibliométrico VOSviewer, Network Visualization



Nota. Elaborado a partir de VOSviewer, con base a documentos recuperados de la herramienta Scopus.

2.1.1. Urbanización

La población urbana a nivel mundial ha presenciado un aumento acelerado de 751 millones en 1950 a 4200 millones en 2018. Al día de hoy, el 55 % de la población global reside en zonas urbanas, y se estima que para el año 2050 esta cifra

incremente a un 68 %. Asimismo, para este mismo año, se calcula un aumento de 2.5 billones de personas en zonas urbanas en consecuencia de la urbanización, la migración de los habitantes de áreas rurales a urbanas y el crecimiento de la población mundial. América del Norte (82 %, de las personas viviendo en zonas urbanas al año 2018), América Latina y el Caribe (81 %), Europa (74 %) y Oceanía (68 %), se posicionan como las regiones más urbanizadas del mundo (United Nations Departments of Economic and Social Affairs, 2018).

La urbanización acelerada es uno de los mayores desafíos para la sustentabilidad en el último siglo. Entre estos desafíos se estima que América Latina se convierta en una de las regiones con mayor crecimiento urbano, sin embargo, ante esto aún falta trabajo por realizar en relación con las variaciones en cobertura de suelo y calidad del aire.

Las diferencias en los niveles de contaminación del aire entre áreas urbanas y no urbanas son significativas. Las concentraciones de gases en las ciudades son de 5 a 25 veces mayores que en las áreas rurales, y las partículas y los aerosoles están 10 veces más concentrados en las áreas urbanas (Bonilla-Bedoya et al., 2021).

2.1.2. Morfología urbana

Se define como morfología urbana al estudio de las formas urbanas, al igual que los procesos y elementos que repercuten en sus cambios con el paso del tiempo. La forma urbana hace referencia a los elementos físicos que influyen para dar forma a la ciudad, entre los que se pueden encontrar: calles, espacios públicos, manzanas, edificios, entre otros (Oliveira, 2020).

La morfología urbana es un factor crucial en términos de contaminación ambiental, ya que una buena planificación podría minimizar los efectos negativos que esta provoca en la ventilación urbana (Kokkonen et al., 2021a).

2.1.3. Cañón urbano

Se define cañón urbano a una calle estrecha acompañada por edificios alineados continuamente por los costados (Nicholson, 1975). Sin embargo, este concepto también puede ser aplicado a calles más grandes, las cuales se denominan como

cañones de avenida. Hoy en día este término se ha ampliado, calles urbanas, no necesariamente están delimitadas por edificios continuos, y que cuentan con ciertas aberturas a lo largo del cañón, también son denominados de esta manera.

Las dimensiones de un cañón urbano se presentan a través de una relación de aspecto, la cual se calcula al dividir la altura del cañón entre el ancho (H/W, por sus siglas en inglés). Un cañón urbano regular debe de tener una relación aspecto igual a 1 y carecer de aberturas importantes en su longitud. Por otra parte, un cañón de avenida puede presentar una relación de aspecto igual a 0.5, mientras que un cañón profundo un valor de 2 (Vardoulakis et al., 2014).

2.1.4. Relación aspecto

Muhammed et al. (2021) define a la relación de aspecto de un cuerpo geométrico como “la relación de sus tamaños en las diferentes dimensiones” (p. 11). En un objeto rectangular, la relación de aspecto es el resultado de la relación entre el lado más largo (ancho) y el más corto (alto) (Muhammed et al., 2021).

Recientemente, Hu et al. (2020), presentó una propuesta para la jerarquización de los cañones urbanos y los clasificó en función de sus características, para lo cual propuso tres niveles:

Nivel 1, basado en su relación H/W, se encuentran divididos en dos secciones: no cañones urbanos y cañones urbanos. Las categorías en este nivel se presentan de la siguiente manera (Tabla 1):

Tabla 1.

Nivel 1 de jerarquización de cañones urbanos

Nivel 1 (H/W)				
No cañones urbanos				H/W=0
Cañones urbanos	0<H/W<1	1<H/W<2	2<H/W<4	H/W>4

Nota. Elaborado a partir de “*Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning*” (p. 3.), por Hu et al., (2020). *Building and Environment*, 167(May 2019), 106424.

En el Nivel 2, una vez corroborado que el objeto se considera un cañón urbano, se procederá a clasificarlo según su simetría, como cañón urbano asimétrico y cañón urbano simétrico, lo cual está determinado por la altura de los edificios a ambos lados de la calle.

Los cañones urbanos basados en la simetría, donde H1 es la altura del edificio en el lado izquierdo de la calle y H2 es la altura del edificio en el lado derecho, se establecen de la siguiente forma (Tabla 2):

Tabla 2.

Nivel 2 de jerarquización de cañones urbanos

Nivel 2 – Basado en la simetría			
Cañones asimétricos	urbanos	H1>H2	H1<H2
Cañones simétricos	urbanos	H1=H2	

Nota. Elaborado a partir de “*Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning*” (p. 3), por Hu et al., (2020). *Building and Environment*, 167(May 2019), 106424.

El Nivel 3 se divide con base a una serie de características geométricas complejas para necesidades de aplicaciones específicas. Estos son clasificados en

intersección general, cañón urbano general, intersección bajo viaducto, sin intersección bajo viaducto, en viaducto y barrera acústica. Sin embargo, cabe resaltar que no se limita a estos seis tipos de urbanos.

Debido a sus características, los cañones urbanos tienden a ser uno de los puntos de mayor contaminación dentro de las ciudades, ya que por su geometría limitan la dispersión de contaminantes y provocan una mayor acumulación de los mismos (Kumar et al., 2022).

2.1.5. Emisiones vehiculares

La contaminación por fuentes vehiculares es considerada el principal factor responsable de la contaminación del aire dentro de las ciudades. Este hecho fue detonado por el rápido aumento de número de vehículos y factores como la congestión de tráfico y la mala calidad de los combustibles. Los vehículos no procesan por completo el combustible dentro del motor y provocan que partículas no deseables se liberan en el ambiente, hecho que altera completamente al ecosistema (Kumar et al., 2020).

Otro factor a considerar es la infraestructura vial urbana. Las emisiones de PM_{2.5} por fuentes vehiculares en múltiples ocasiones se derivan de la congestión vehicular provocada por una forma urbana ineficiente (L. Wang et al., 2022). Este problema se enfatiza durante las horas pico que producen dichas congestiones (B. Wang et al., 2021).

2.1.6. Contaminación del aire

La contaminación del aire es considerada una amenaza para el medio ambiente. Las actividades antropogénicas, como la producción energética y los procesos industriales, son algunas de las principales fuentes de estos agentes contaminantes (The Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2019).

Nriagu (2019) menciona que a pesar de que los contaminantes del aire presentan diferencias en sus características físicas y químicas, así como en los impactos que generan en la salud y el medio ambiente, también presentan similitudes entre ellos, por lo tanto, pueden asociarse de la siguiente manera (Tabla 3):

Tabla 3.

Tipos de contaminantes en el aire

Grupos	Generalidades	Tipos
Contaminantes gaseosos	Son una de las principales causas de los cambios en la composición atmosférica. Principalmente, provienen de los combustibles fósiles.	Este grupo incluye el SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y compuestos orgánicos volátiles.
Contaminantes orgánicos persistentes	Son un conjunto de sustancias químicas tóxicas encontradas en el medio ambiente durante periodos prolongados, lo que provoca un aumento en sus concentraciones al pasar el tiempo, así como en los efectos negativos que estos provocan.	Entre estos contaminantes podemos encontrar plaguicidas, dioxinas, furanos y bifenilos policlorados PCB.
Metales pesados tóxicos	Son contaminantes de origen natural, no se destruyen ni se disipan, suelen transportarse a través del aire y causar afectaciones a nivel hídrico y alimentario. Proviene de fuentes como la combustión, descarga de aguas residuales e instalaciones de fábricas.	Entre los metales pesados tóxicos podemos encontrar el plomo, mercurio, cadmio, níquel, vanadio, cromo y magnesio.
Partículas	Están compuestas de una mezcla de partículas microscópicas y gotas de líquidos que se encuentran suspendidas en el aire, estas pueden presentar diferentes características en cuanto a su tamaño y composición, asimismo provienen de diversas fuentes naturales y antropogénicas	PM _{2.5} PM ₁₀

Nota. Elaborado a partir de *Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)*, por Nriagu (2019). *Elsevier*.

2.1.7. Índice de calidad del aire

El índice de calidad del aire (ICA) es un indicador (diario) del estado de la calidad del aire. Este determina las condiciones del aire en el ambiente (limpio o contaminado), así como cuáles podrían ser los efectos en la salud y si estos deberían ser motivo de cuidado.

El ICA se basa en un criterio que va de 0 a 500, y cuan mayor sea el nivel de contaminación en el aire, mayor será la preocupación por atender el problema (Environmental Protection Agency [EPA], 2022). Asimismo, este se divide en seis categorías (Tabla 4):

Tabla 4.

Categorías del índice de calidad del aire (ICA)

Índice de calidad del aire (ICA) Valores	Niveles de preocupación por la salud	Colores
Cuando el ICA está en este rango:	...las condiciones de calidad del aire son:	...como lo simboliza el color:
0-50	Bueno	Verde
51-100	Moderado	Amarillo
101-150	Malsano para grupos sensibles	Naranja
151-200	Malsano	Rojo
201-300	Muy malsano	Púrpura
301-500	Peligroso	Marrón

Nota. Elaborado a partir de Air Data Basic Information [Tabla], por EPA, (2022). U.S. Environmental Protection Agency.

2.1.8. Material particulado

El material particulado (PM) se refiere a una combinación de elementos que presentan variaciones tanto en sus características químicas y físicas. Debido a su naturaleza tan cambiante, el estudio del PM y el riesgo potencial de la exposición a

este se ha visto obstaculizado. Sus variaciones en tamaño (y otras características físicas), su composición química y las fuentes donde se originan pueden ser datos significativos para diversos efectos en la salud. Sin embargo, se le ha dado prioridad a su clasificación en torno a las propiedades aerodinámicas que este posea, puesto que a partir de estas características se puede definir los procesos de dispersión en el aire, así como los puntos de deposición y la manera en la que son eliminados dentro del tracto respiratorio (WHO, 2006).

Este contaminante principalmente proviene de las industrias, las centrales eléctricas, los incineradores, los vehículos de motor, la construcción, los incendios y el polvo natural. Como bien fue mencionado, su tamaño tiende a variar, por lo que son clasificadas como partículas ultrafinas: con un diámetro aerodinámico inferior a $0.1 \mu\text{m}$, partículas finas: con un diámetro aerodinámico inferior a $1 \mu\text{m}$, y partículas gruesas, con un diámetro mayor a de $1 \mu\text{m}$ (Nriagu, 2019).

2.1.9. $PM_{2.5}$

Se denomina $PM_{2.5}$ a las partículas finas inhalables que presentan un diámetro de $2.5 \mu\text{m}$ o menos (EPA, 2022). Este es uno de los contaminantes que genera mayor preocupación al ser humano, dado al impacto negativo que ocasiona a salud de la población. La exposición a estos agentes es una de las causas de enfermedades cardíacas y respiratorias, entre las que se encuentran, el cáncer de pulmón, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias. Uno de los componentes más destacables del $PM_{2.5}$ es el carbono negro, ya que participa en el proceso de aceleración del calentamiento global y el deshielo. Las emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de transporte, el sector industrial, la producción de energía eléctrica, la agricultura y las fuentes domésticas son una de las principales causas de contaminación en exteriores (OECD, 2019).

2.1.10. Estrategias de mitigación

Para la reducción de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en entornos urbanos se emplean principalmente tres tipos de estrategias de mitigación: reducción de emisiones, maximización de la dispersión y aumento de la deposición (Wu et al., 2021).

2.1.11. Deposición

La eliminación de partículas se manifiesta cuando estas impactan con una superficie después de alguno de los siguientes procesos: (1) sedimentación; (2) difusión; (3) turbulencia; (4) lavado; y (5) deposición oculta (Beckett et al., 1998). Al ser emitidos, los contaminantes son transportados a través del aire y “regresan a la tierra” por medio de dos procesos: deposición húmeda y seca (Samson et al., 2017).

La deposición seca, se presenta cuando las sustancias químicas en el ambiente se transfieren a las superficies por medio de los flujos de viento. La sedimentación gravitacional incide en la deposición de partículas, particularmente en aquellas que superan en dimensión a unos pocos micrómetros (Wesely & Hicks, 2000). Por su parte los autores Diener y Mudu (2021) definen este término como “una residencia temporal o permanente de PM en la superficie de una planta, ya sea por “adsorción” o por gravedad” (p. 3-4). Además, las plantas tienen la capacidad de “absorber” partículas por medio de sus estomas o las membranas celulares de sus componentes, específicamente de sus hojas. Cabe señalar que una vez que las partículas son depositadas sobre la superficie pueden experimentar una “resuspensión” a la atmósfera, que puede ser provocada por los flujos de viento y/o una “eliminación” a través de lavado de las hojas (Diener & Mudu, 2021). Dicho efecto de lavado es conocido como deposición húmeda, el cual es definido como es otro medio por el cual liberar y limpiar a la atmosfera de contaminantes a través de la precipitación (Wesely & Hicks, 2000) y el material disuelto que se distribuye homogéneamente sobre distintas superficies (Samson et al., 2017).

2.1.12. Soluciones basadas en la naturaleza

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) son una de las estrategias primarias, altamente recomendadas, para mitigar altas temperaturas presentadas en entornos urbanos y para la mejora de la calidad del aire, hecho por el cual estas se han convertido en objeto de investigación por la comunidad científica (Donateo et al., 2021).

Las SbN tienen una mayor relevancia para todas las sociedades que enfrentan la amplia gama de desafíos que representan las zonas urbanas (Gómez-Moreno et al., 2019).

La Tabla 5 menciona algunas SbN, los tipos de ecosistemas que las proporcionan y la naturaleza de los beneficios generados.

Tabla 5.

Soluciones basadas en la naturaleza y sus beneficios

Sistema	Soluciones basadas en la naturaleza	Beneficio social
Bosques	Preservación	Secuestro de carbono en biomasa en vegetación y suelos; protección de la biodiversidad; protección contra inundaciones, sequías y erosión, recreación y turismo, infiltración y almacenamiento de agua.
	Restauración	
	Gestión mejorada para la cosecha de leña	Secuestro de carbono en biomasa en vegetación y suelos; suministro de combustible y productos forestales a los usuarios locales; protección contra inundaciones, sequías y erosión.
Pastizal/Sabana	Producción	Secuestro de carbono en biomasa en pie y productos cosechados; ingresos sostenibles; infiltración y almacenamiento de agua; reducción de la presión sobre los bosques naturales.
	Preservación	Secuestro de carbono en biomasa en vegetación y suelos; protección de la biodiversidad; estabilización de taludes.
	Restauración	
Costero/Ribereño	Manejo de pastoreo	Secuestro de carbono en biomasa en vegetación y suelos; estabilización de taludes.
	Preservación	

	Restauración	Proteger vidas y propiedades de tormentas e inundaciones; secuestro de carbón; mejora de la biodiversidad y la producción pesquera.
	Mantenimiento de la vegetación de ladera	Reducción de la erosión y estabilización de taludes.
	Mantenimiento de la vegetación costera, de llanuras aluviales y ribereñas	Proteger vidas y propiedades de tormentas e inundaciones; secuestro de carbón.
Agricultura	Agroforestería	Secuestro de carbono en suelos y biomasa; erosión reducida; mantenimiento de la fertilidad del suelo; hábitat de polinizadores; protección contra tormentas; sombreado.
	Reducir la labranza y las prácticas de restauración de carbono	Secuestro de carbono en los suelos; mantenimiento de la fertilidad del suelo
	Intensificación agrícola	Mejora de la seguridad alimentaria; presión reducida para la conversión de otras áreas.
Urbano	Bosques urbanos y espacios verdes	Secuestro de carbono en biomasa en la vegetación; sombreado; eliminación de aguas pluviales y protección contra inundaciones; recreación.
	Techos verdes	Enfriamiento; control de aguas pluviales; reducción de la contaminación; secuestro de carbón.

Nota. Elaborado a partir de *The Economics of Nature-Based Solutions: Current Status and Future Priorities*, por Simpson, (2020). United Nations Environment Programme.

2.1.13. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son las condiciones y procesos naturales por los cuales los ecosistemas proveen y satisfacen las necesidades de los seres humanos. Se encargan de mantener la biodiversidad y los bienes ecosistémicos, tales como, madera, combustibles de biomasa, fibras naturales, entre otros, los cuales cumplen como fuentes importantes para la economía humana. Entre algunos de los servicios ecosistémicos podemos encontrar:

- Eliminación de contaminantes del aire y el agua.
- Prevención de inundaciones y sequías.
- Polinización de cultivos y vegetación natural.
- Conservación de la biodiversidad.
- Estabilización parcial del clima.
- Controlar las temperaturas extremas y la fuerza del viento y las olas (Daily, 1997).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021) define el término servicios ambientales o ecosistémicos como aquellos que la naturaleza o las transformaciones ecológicas disponen para los seres vivos y el planeta. Se dividen en cuatro tipos de servicios:

- Abastecimiento: Beneficios materiales adquiridos a través de los ecosistemas, tales como agua, alimentos, medicinas y materias primas.
- Regulación: Estos servicios abarcan el clima y la calidad del aire, el secuestro y almacenamiento de carbono, el control de fenómenos naturales, el tratamiento de aguas residuales, la prevención de la erosión y preservación de la fertilidad de suelos, el control de plagas, la polinización y regulación de los flujos del agua.
- Apoyo: Los ecosistemas son la base de los espacios que habitan la flora y la fauna. Además, permiten mantener la diversidad de plantas y animales de

complejos procesos que mantienen el funcionamiento de otros servicios ecosistémicos.

- **Culturales:** Son beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas. Incluyen la inspiración estética, la identidad cultural, el sentimiento de apego al entorno que los rodea y la experiencia espiritual relacionada con el espacio natural (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2021).

2.1.14. *Silvicultura urbana*

Se define como el arte, la ciencia y la tecnología del manejo de los árboles y los recursos forestales dentro y alrededor de los entornos urbanos con el fin de obtener beneficios fisiológicos, sociológicos, económicos y estéticos para la sociedad a través de la vegetación. Debido a la importancia dada a esta rama, se han hecho esfuerzos en zonas como América del Norte y Europa para definir “bosque urbano”, “silvicultura urbana” y otros términos relacionados.

Los árboles, los arbustos y el césped son tres de las principales coberturas terrestres de tipo vegetal (Ayhan & Kwan, 2020). La Tabla 6 define cada uno de ellos según sus características.

Tabla 6.

Clasificación de coberturas terrestres de tipo vegetal

Tipos de vegetación	Características
Árbol	Se define como cualquier planta leñosa con un d.a.p. (diámetro a 1.37 m [4.5 pies] de altura) mayor o igual a 2.54 cm (1 pulgada).
Arbusto	Cualquier planta leñosa con un d.a.p. menos de 2.54 cm. También, los arbustos pueden ser diferenciados de los árboles según la especie (hay especies que solo se presentan como arbusto y especies que solo se presentan como arboles).

Césped

Las plantas leñosas que no miden 30.5 cm (12 pulgadas) de altura se consideran cobertura herbácea (por ejemplo, plántulas).

Nota. Elaborado a partir de *A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services*, por D. Nowak et al., (2008). *Arboriculture & Urban Forestry*.

2.1.15. Infraestructura verde

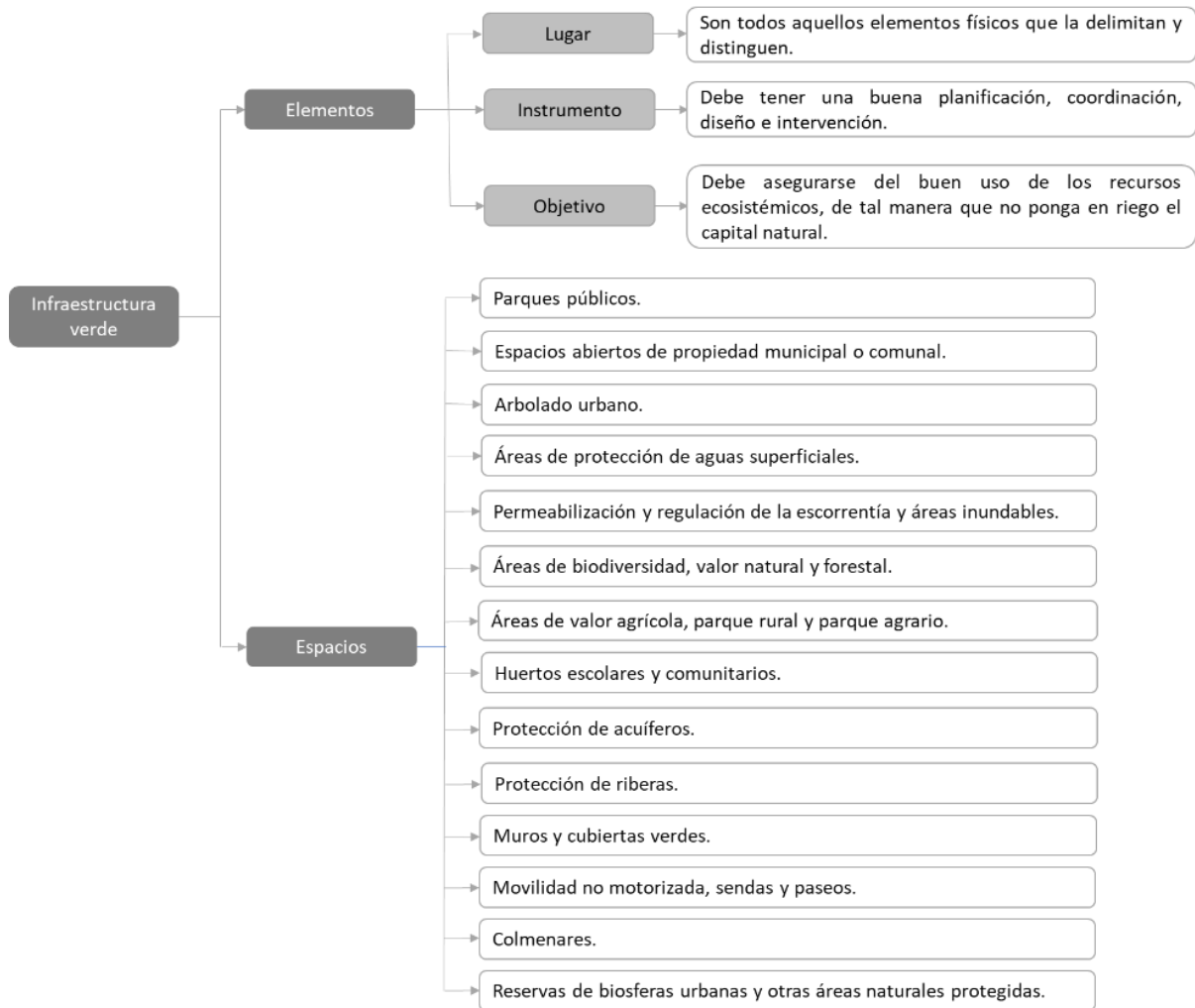
Benedict y McMahon (2006) en su libro *Green infrastructure: linking landscapes and communities*, describen el concepto de infraestructura verde como:

Una red interconectada de áreas naturales y otros espacios abiertos que conserva los valores y funciones de los ecosistemas naturales mantiene el aire y el agua limpios y proporciona una amplia gama de beneficios para las personas y la vida silvestre. Usada en este contexto, la infraestructura verde es el marco ecológico para la salud ambiental, social y económica - en resumen, nuestro sistema natural de apoyo a la vida (p. 1).

Como se muestra en la Figura 3, la infraestructura verde está compuesta por elementos territoriales que son la base de la sociedad y el buen funcionamiento de los ecosistemas naturales (de Lucio, 2016).

Figura 3.

Elementos de la infraestructura verde



Nota. Elaborado a partir de “*Infraestructura Verde Urbana*” (p. 67, 70), por de Lucio, (2016), *Ambienta*, 60–75.

La infraestructura verde tiene la capacidad de reducir las concentraciones de agentes contaminantes en el ambiente a través de los procesos de deposición y dispersión. Los mayores beneficios se logran a través de la implementación de especies vegetales en zonas cercanas a la fuente del contaminante para maximizar el efecto de deposición de los mismos (Tiwari & Kumar, 2020).

2.1.16. Vegetación urbana

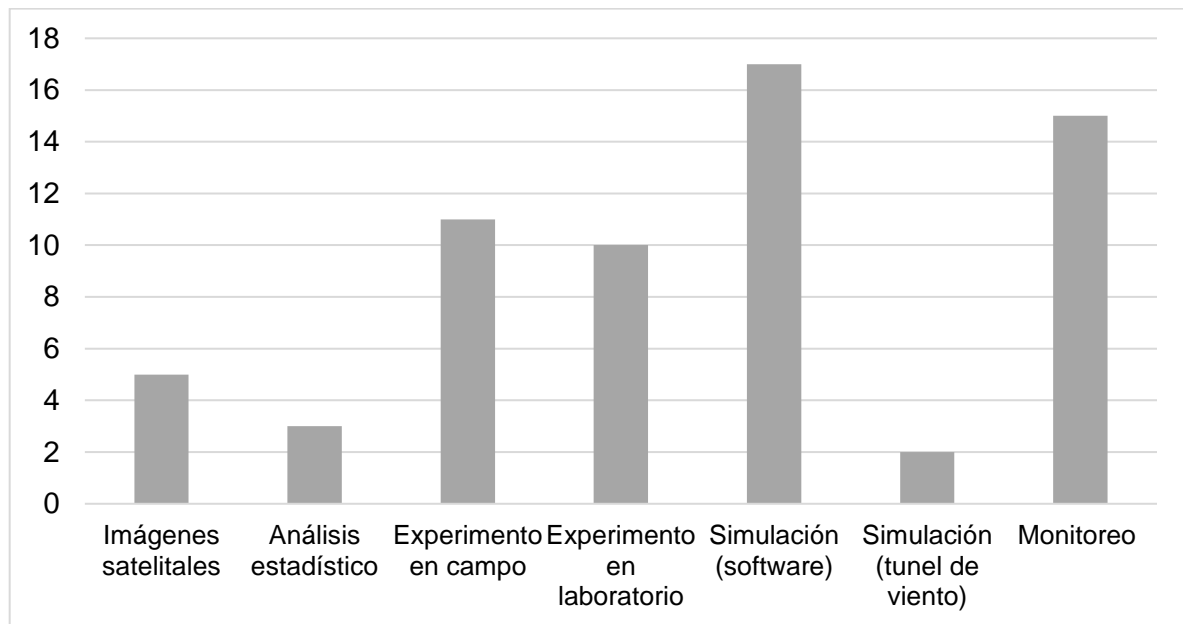
En los últimos tiempos la vegetación urbana ha ganado popularidad debido a los servicios ecosistémicos que esta puede proveer (Janhäll, 2015). Entre los efectos positivos que proporciona destacan sus efectos sobre la calidad del aire, sin embargo, también puede proporcionar múltiples beneficios para la mitigación de los efectos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar y el calentamiento global (Andersson-Sköld et al., 2015).

2.1.17. Simulación de escenarios

Con base en la revisión de los artículos seleccionados, se concluyó que el uso de software en la simulación de escenarios fue el recurso mayormente empleado para el desarrollo de la etapa experimental de las investigaciones consultadas (Figura 4).

Figura 4.

Métodos en la etapa de investigación de la literatura consultada



La simulación consiste en la imitación de los procesos o sistemas que se desarrollan en el mundo real a través del tiempo. Por medio de esta, es posible generar una situación artificial del sistema para su futura observación, la cual permitirá obtener

inferencias de las características operativas de la situación real que se representa. Es una herramienta muy útil para el análisis y diseño de sistemas reales, tanto los ya existentes como los conceptuales, que pueden ser modelados a través de la simulación, y que permiten generar soluciones de problemas del mundo real (Banks, 1999).

2.1.18. Simulación CDF

Sharma (2022) define la dinámica de fluidos computacional (CFD) como:

Un método teórico de investigación científica y de ingeniería, que se ocupa del desarrollo y la aplicación de una cámara de vídeo como herramienta (software) que se utiliza para el análisis unificado basado en causa y efecto de un problema de dinámica de fluidos, así como de transferencia de calor y masa (p.3).

2.1.19. Modelo de deposición seca

Se define el término modelo como una representación de un sistema o proceso. Un modelo de simulación consiste en la representación de los cambios que ocurren en el paso del tiempo. Existen los modelos denominados discretos, los cuales se basan en los cambios de puntos discretos en el tiempo, es decir, que no se presentan de manera continua. Los modelos se basan en aspectos lógicos, matemáticos y estructurales del sistema o proceso.

Desde una perspectiva conceptual, el estado de un modelo es un vector (largo), o visto de otra forma, una serie de valores que en su conjunto pueden definir el estado general del sistema en cualquier punto del tiempo. En cambio, visto desde la práctica, es definido por el estado interno de todos los caracteres empleados en el paquete de software de simulación (Carson, 2004).

2.1.20. i-Tree

Se trata de un software adaptado del modelo Urban Forest Effects, creado por la Estación de Investigación del Norte del Servicio Forestal de EE. UU. (NRS), el Programa Forestal Urbano y Comunitario y Área del Noreste de Silvicultura Estatal

y Privada del USDA, Davey Tree Expert Company y la Facultad de Ciencias Ambientales y Silvicultura de la Universidad Estatal de Nueva York.

i-Tree Eco es utilizado para la cuantificación de la estructura forestal, sus impactos ambientales, así como el valor que genera para la población, a través del empleo de datos de campo, de registros de ubicación de árboles y parcelas de la zona, y datos meteorológicos y de contaminación del aire. Tiene la capacidad de procesar datos de diversos contaminantes como PM_{2.5}, monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de sulfuro (USDA Forest Service et al., 2017). Asimismo, i-Tree Eco es un modelo que tiene la facultad de integrar distintas variables meteorológicas, de contaminantes atmosféricos y de estructura forestal urbana para realizar los procesos de simulación de eliminación de polvo (B. Zhang et al., 2021).

2.2. Marco de referencial

2.2.1. Estado del arte

La contaminación atmosférica es un tema de preocupación desde la antigüedad, las primeras evidencias documentadas se remontan a los años 400 a.C. en la época de Hipócrates (Hipócrates, trad. en 1923), pero no fue hasta el siglo XVIII que debido al *boom* generado por la revolución industrial que los niveles de contaminación llegaron a cifras alarmantes para la sociedad. Sin duda alguna, uno de los sucesos que significaron un parteaguas para la prevención de la mala calidad del aire se dio a raíz de “El Gran Smog de Londres” en 1952, ya que a partir de ese evento se formuló en 1956 la primera Ley del Aire en el Reino Unido (Fowler et al., 2020). Paralelamente, en Estados Unidos se presentó la primera legislación federal relacionada con la contaminación del aire llamada La Ley de Control de la Contaminación del Aire de 1955, la cual fue un impulsor en la investigación de la contaminación ambiental (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2017).

Por otro lado, en 1975, Nicholson, en su obra *A pollution model for street-level air* muestra su interés en la dispersión de contaminantes a nivel de cañón urbano. Trabajó en el desarrollo de un modelo enfocado en la circulación de vórtices que se

produce en los cañones urbanos cuando los flujos de viento son perpendiculares a la calle (Nicholson, 1975).

A nivel global, durante los últimos años se registró un notable incremento en proyectos de investigación relativos a temas de deterioro ambiental, en lo cual Estados Unidos y China son los países líderes con mayor presencia en el área, con más del 30 % y el 17 % de las investigaciones, respectivamente (Dhital & Rupakheti, 2019). Sin embargo, cabe destacar que este interés no solo se ha presentado de forma puntual en ciertas regiones, ya que en todo el mundo se han registrado investigaciones enfocadas al estudio de este fenómeno, sus implicaciones y técnicas para su mitigación.

Fue en el año 1994 cuando se menciona por primera vez el término de infraestructura verde por la Comisión de Vías Verdes de Florida. Con el surgimiento de este concepto se buscaba integrar las áreas verdes urbanas y rurales existentes como un sistema interconectado con el fin de lograr una conexión entre las personas y la naturaleza (Florida Greenways Commission, 1994).

Jayasooriya et al. (2017) en The Brooklyn industrial precinct en Victoria, Australia, emplearon el software i-Tree con el que realizaron simulaciones para la valoración de la calidad del aire en distintos contextos. Para ello se crearon tres escenarios base (Figura 5) con distintas propuestas de infraestructura verde (arbolado, muros verdes y techos verdes), así como otros tres con la combinación de los mismos, las cuales fueron evaluadas bajo indicadores ambientales, sociales y económicos. De esta manera, se buscó determinar qué alternativa se adaptaba mejor a las características el sitio de estudio para la mitigación de contaminantes, principalmente partículas menores a 10 μm de diámetro (PM_{10} , por sus siglas en inglés), las cuales son las de mayor relevancia en la zona. Como resultado, se obtuvo que el arbolado tiene mayor eficiencia en la reducción de contaminantes, además de sus costos accesibles; sin embargo, la combinación de estos con muros y techos verdes brindan mayores beneficios a largo plazo en las áreas locales, especialmente en el ahorro de energía de los edificios.

Figura 5.

Escenarios base de propuestas de infraestructura verde



Nota. Obtenido de “*Green Infrastructure Practices for Improvement of Urban Air Quality.*” (páginas 40-41), por Jayasooriya et al., (2017), *Urban Forestry and Urban Greening*, 21.

Otro ejemplo fue el estudio realizado por Riionato et al. (2020) en Drumcondra Road Lower ubicado en Dublín, Irlanda, el objetivo de este fue atender dos planteamientos; primeramente, analizar dos entornos con diferentes características, un cañón urbano rodeado de cobertura vegetal y otro con carencia de la misma, a distintas horas del día y con condiciones de tráfico variables, esto con la finalidad de determinar la eficacia de las áreas verdes para la reducción de partículas finas durante las horas de alto y bajo tránsito vehicular. Adicionalmente, tuvo como segundo fin validar el modelo i-Tree Eco, para lo cual se monitoreó la calidad del aire por medio dos sensores Smart Citizen 2.1 entre el periodo del 21 de octubre de 2019 al 30 de octubre del 2019. Los resultados indicaron que durante los periodos de baja densidad de tráfico vehicular no hubo una diferencia significativa en la disminución de las concentraciones de PM_{2.5}, por otra parte, los resultados en las

horas pico fueron favorables. El modelo i-Tree estimó una reducción de 3 kg de $PM_{2.5}$ sobre la base anual, en cambio, el monitoreo calculó una mejora del 126 %, más del doble de lo previsto por i-Tree, esto posiblemente debido al uso de datos desactualizados de la zona presentados en el modelo.

Jeong et al. (2022) presentaron un estudio en donde realizaron simulaciones de escenarios con distintas características de ancho de carretera y composición de áreas verdes a partir de la ejecución del modelo ANSYS Fluent 19.2 con la finalidad de analizar de manera cuantitativa las características del flujo de PM, para lo que se consideraron los efectos aerodinámicos y de deposición del mismo. Para ello tuvieron como objetivo evaluar el flujo de los contaminantes respecto a los distintos escenarios propuestos, comparar las concentraciones de PM a altura de respiración de acera de cada uno de los escenarios y finalmente determinar las características de vegetación que generarán mayor impacto en la reducción de PM. Como resultado, se obtuvo que en comparación con la plantación de estructuras de una sola capa (solo árboles), la plantación de múltiples capas (árboles y arbustos) fue el método más efectivo para la reducción de PM a nivel de acera, asimismo este método fue el más eficiente en caminos más anchos. En cuanto a las características de la vegetación en carretera, el volumen y el ancho apropiados para la reducción de PM en la carretera de cuatro carriles fueron 0.6 m^3 y 0.4 m respectivamente. Respecto al volumen estimado de vegetación y el ancho de las carreteras de ocho carriles deberá ser de 1.2 a 1.4 m^3 y 0.8 a 0.93 m , respectivamente.

En la investigación desarrollada en Leicester, Reino Unido, JeanJean et al. (2016) tuvieron como objetivo analizar la aerodinámica y los efectos del proceso de deposición de los árboles y hierbas para la reducción de $PM_{2.5}$ generado por el tráfico vehicular, para lo cual se realizaron simulaciones de mecánica de fluidos computacional (CFD) por medio del software OpenFOAM. Como resultado se obtuvo que el efecto dispersivo aerodinámico de los árboles disminuyó en un 9 % las concentraciones de $PM_{2.5}$. Por otra parte, se presenta una reducción de 2.8 % por deposición en árboles y 0.6 % en césped. Cabe resaltar que, en el centro de la ciudad se presentó un efecto menor en la reducción, la deposición en edificios fue de menos del 0.03 %.

El primer indicador de problemas con la calidad del aire en Ciudad de México fue registrado en la década de 1940, cuando la población se percató de la deficiente visibilidad en la zona, pero no fue hasta la década de 1950 cuando se empezaron a hacer las primeras investigaciones del tema. Años después se inicia el primer programa de monitoreo, el Programa Coordinado para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1979-1982, para lo cual se instalaron las primeras estaciones de monitoreo en la zona (Programa para Mejorar la Calidad del Aire [ProAire], n.d.).

Baca-Santini y Vázquez-Gálvez (2015) en su artículo, Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, realizó un monitoreo de PM en dos sitios, uno caracterizado con arbolado y otro carente del mismo, presentado durante el mes de noviembre de 2014, esto con el objetivo de evaluar las concentraciones de diferentes fracciones de PM en el Parque Chamizal, el cual cuenta con una vasta extensión de árboles, y áreas aledañas a la misma con características similares, pero que a diferencia de la primera carecen de cobertura vegetal. Se determinó que hubo una reducción de PM en zonas de arbolado, principalmente en fracciones de PM más grandes ($>10 \mu\text{m}$). Asimismo, el estudio señala el valor de las áreas verdes para la mitigación de PM en zonas semiáridas.

Dados los efectos adversos en la salud pública, durante los últimos años se ha presentado un aumento considerable en investigaciones enfocadas en la calidad del aire. Este aumento fue percibido principalmente en el número de estudios de material particulado y sus implicaciones a la salud humana, esto debido al especial interés presentado a nivel global (Lee et al., 2021).

En la Tabla 7 se muestran investigaciones con características similares al presente estudio, donde se analizaron los efectos de la infraestructura verde sobre agentes contaminantes en diversos contextos al emplear diferentes métodos con énfasis en el estudio de $\text{PM}_{2.5}$.

Tabla 7.

Casos de estudio de PM_{2.5} y vegetación

Autor, Año	Lugar	Procedimiento	Variables Indicadores	o Instrumentos y Software	Resultados y Hallazgos Principales
Karttunen et al. (2020)	Helsinki, Finlandia.	Se realizó la simulación de cinco escenarios de distribución de distintas composiciones de áreas verdes y un escenario de referencias sin vegetación alguna con el software de simulación PALM.	Áreas verdes PM _{2.5} PM ₁₀ Adicionalmente, se tomó en consideración la ventilación paralela y perpendicular en la zona.	PALM model SALSA model (componente de PALM-4U) ALISA model LIPASTO data base FORE model Estación meteorológica de Kaisaniemi	Se determinó que a pesar de encontrarse escenarios con mayores concentraciones de PM _{2.5} y PM ₁₀ a nivel de acera, las partículas más pequeñas presentadas a nivel peatón se redujeron hasta un 50 %, lo que convierte a las áreas verdes en una buena opción para la mitigación de estos agentes contaminantes.
Junior, Bueno, and da Silva (2022)	Río de Janeiro, Brasil.	Se realizaron muestreos en las dos zonas de estudio de las concentraciones de PM _{2.5} suspendidas en el aire desde septiembre de 2017 a marzo de 2018 a partir de un muestreador de gran volumen.	PM _{2.5} Áreas verdes	Muestreador de gran volumen de PM _{2.5} .	Los filtros utilizados para la recolección de la muestra presentaron mayores masas en la zona de Rebouças Tunnel en comparación con el Río de Janeiro Botanical Garden, por lo tanto, se estiman mayores concentraciones del PM _{2.5} en Rebouças Tunnel.

Seok et al. (2022)	Suwon en Gyeonggi-do, Corea del Sur.	Se localizaron las tres zonas de áreas más vulnerables al PM _{2.5} encontradas en Suwon, Corea del Sur, de las cuales se seleccionó el sitio de estudio. Posteriormente, se realizó un análisis por medio de un escenario base y ocho propuestas de áreas verdes con el fin de comparar su capacidad de absorción de PM _{2.5} , por medio del modelo de sistema dinámico (SD Model).	PM _{2.5} Vegetación	ArcGIS SD Model Satellite maps STELLA Professional ver 2.0	<p>Estos hechos sugieren que la presencia de vegetación es un elemento clave para la mitigación de este contaminante.</p> <p>A partir de este análisis se encontró que debe haber un balance entre la absorción de PM_{2.5} y la conservación de la vegetación, por lo que ambos factores deben de ser tomados en cuenta para el diseño urbano.</p> <p>Dicho lo anterior, aumentar la cantidad y diversidad de las especies en el sitio es la mejor forma de mejorar la absorción de PM_{2.5} y el mantenimiento de las especies.</p>
Zhang et al. (2021)	Beijing, China.	Se propuso un índice de demanda de ecologización por medio de la combinación de datos del sistema de información geográfica (GIS) de cobertura no verde, las concentraciones de	Demanda de ecologización. PM _{2.5} Áreas verdes	Sistema de información geográfica (GIS). i-Tree Eco	La demanda de ecologización aumenta a lo largo del gradiente urbano y es mayor en áreas impermeables que en otros tipos de suelo. También se encontró que para aliviar la demanda de ecologización urbana-suburbana, la

PM_{2.5} y la densidad de la población. Asimismo, se simularon tres escenarios con diferentes configuraciones de arbolado a partir del empleo del software i-Tree Eco, con el fin de evaluar sus efectos en las concentraciones de PM_{2.5} de la zona.

ecologización en áreas impermeables es la clave; y para aliviar la demanda de ecologización urbana-suburbana estacional, el enverdecimiento de hoja perenne en el área de bosques y áreas impermeables es crucial. Asimismo, se estima que los árboles de hoja perenne son los más eficaces para la eliminación de PM_{2.5} atmosférico.

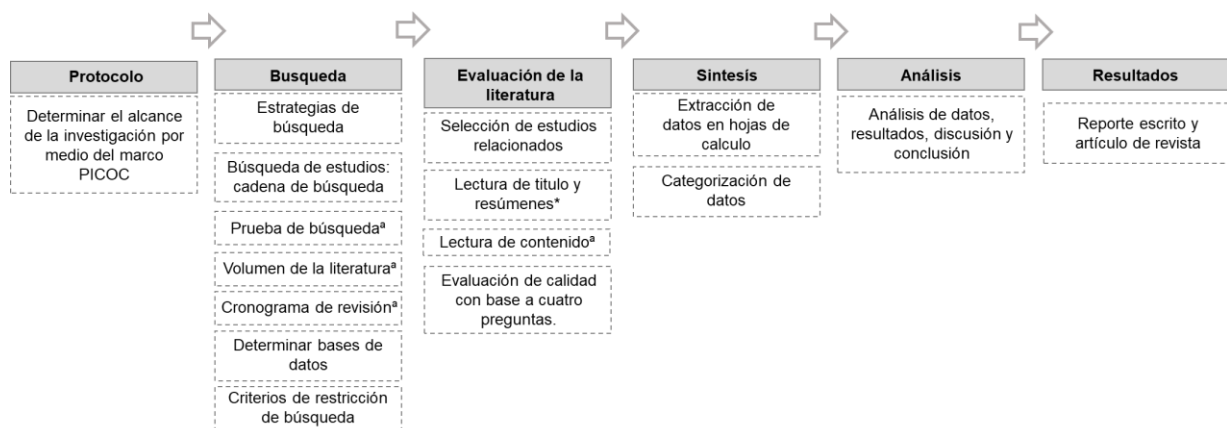
Kandelan et al. (2022)	India, Bahrein, China, Irán, África, Reino Unido, Alemania, Estados Unidos de América y Bahamas.	Se seleccionaron nueve de las ciudades más contaminadas según los registros de 2019. Se presentaron cuatro escenarios de distintas configuraciones de infraestructura verde, por lo cual se consideraron distintas variables para determinar el escenario más adecuado a través de un proceso de optimización.	PM _{2.5} Vegetación Dirección del viento Velocidad del viento. Temperatura del aire. Humedad. H/W	ENVI-met	Se presentó una reducción significativa en las concentraciones de PM _{2.5} en el ambiente relacionada con la implementación de espacios verdes y la dirección de los vientos. En cuanto al escenario óptimo, logró una reducción del 33 % de PM _{2.5} a 1.75 m del nivel del suelo, correspondiente al nivel respirable de las personas. El modelo predictivo estima un 95% de precisión.
------------------------	--	--	--	----------	---

2.2.2. Antecedentes

Se ejecutó una búsqueda sistemática para la revisión de artículos basada en el método PSALSAR (Mengist et al., 2019) con adaptación al método de Collaboration for Environmental Evidence (CEE) (2013). Al desarrollar esta adecuación, se incluyeron en el método PSALSAR tres nuevos pasos en la etapa de búsqueda y uno en la etapa de evaluación de la literatura, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6.

Método PSALSAR, con adaptación a CEE



Nota. Adaptado de “Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research” (p. 3-10), por Mengist et al., 2019, *MethodsX*. ^a Pasos adaptados a partir del método Collaboration for Environmental Evidence (CEE) (2013).

Para dar inicio a la revisión sistemática, por medio de los elementos especificados en la Tabla 8, se desarrolló la aplicación del marco PICOC (población, intervención, comparación, resultados y contexto) a los objetivos planteados (Mengist et al., 2019).

Tabla 8.

Ámbito de la investigación para la revisión sistemática de la literatura basado en la aplicación del marco PICOC a los objetivos determinados

Elementos	Aplicación
Población	Niveles de PM _{2.5} en el ambiente
Intervención	Vegetación urbana (estrategia de mitigación)

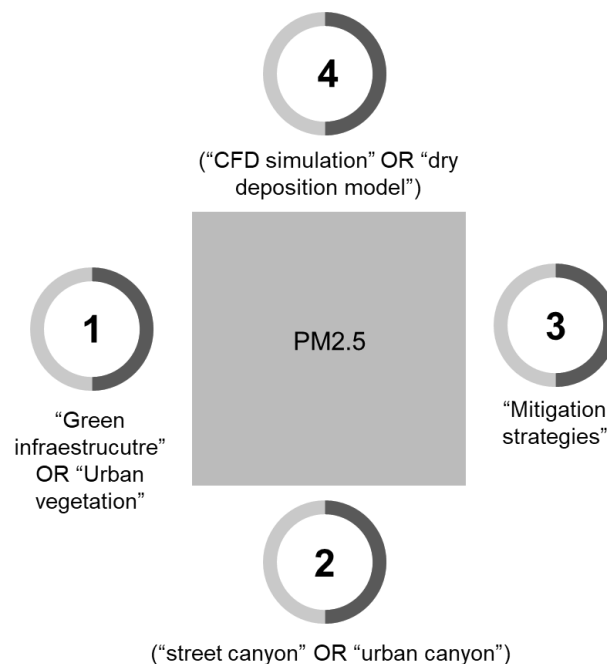
Comparación
 Resultados
 Contexto

Dispersión y deposición (estrategia de mitigación)
 Cambios en los niveles de PM_{2.5} en el ambiente
 Cañón urbano

Posteriormente, al conocer la aplicación de cada uno de los elementos que conforman el marco PICOC, se prosiguió a delimitar los puntos periféricos en torno al tema principal de la investigación (PM_{2.5}) (Figura 7).

Figura 7.

Temas periféricos de la investigación



A partir de esto, se construyó la configuración de conceptos para la búsqueda mediante operadores lógicos a través las bases de datos seleccionadas, Scopus y Web of Science. Dicha búsqueda está conformada de la siguiente manera: (PM_{2.5} AND ("green infrastructure" OR "urban vegetation") OR ("street canyon" OR "urban canyon") OR "mitigation strategies" OR ("CFD simulation" OR "dry deposition model")), la cual tuvo como resultado 494 documentos en Scopus y 25,715 en Web of Science. Para delimitar el número de artículos, se decidió aplicar filtros que incluyeron la fecha de publicación, temática, tipo de documento e idioma. Los resultados arrojaron 274 y 357

artículos, respectivamente, los cuales se sometieron a una revisión de título y resumen para finalmente seleccionar los 50 artículos que formarían parte del presente marco teórico-referencial (Figura 8 y Figura 9).

Figura 8.

Revisión sistemática en base de datos Scopus

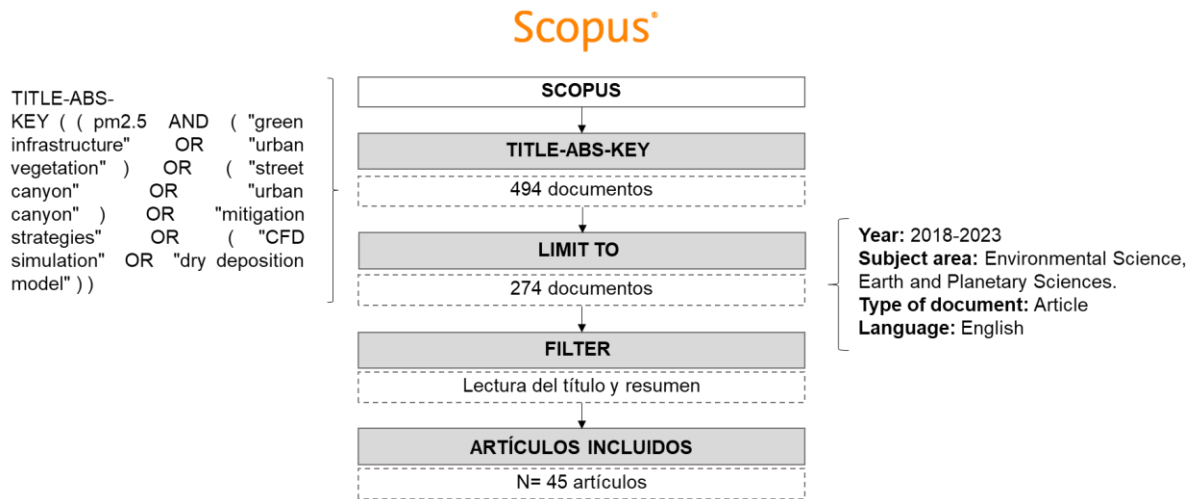
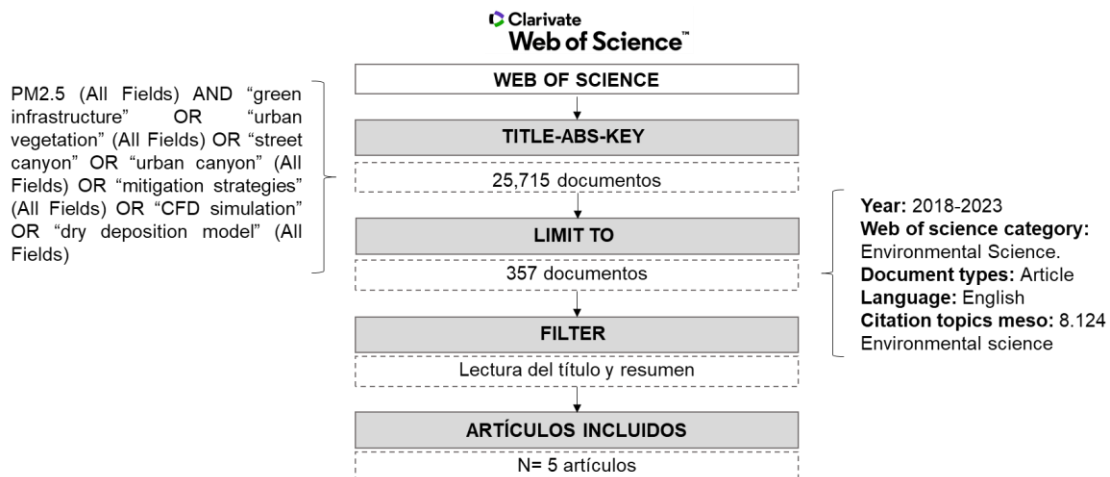


Figura 9.

Revisión sistemática en base de datos Web of Science



2.2.2.1. Urbanización

Las características y las actividades desarrolladas dentro de las ciudades son un factor crucial para la calidad del aire, como lo demostró East et al. (2021). En su estudio se desarrolló un marco de modelación basado en el Sistema Comunitario Multiescala de Modelación de la Calidad del Aire (CMAQ) que sirvió como base para la ejecución de simulaciones estacionales de la contaminación del aire en Bogotá, y determinaron cuáles fueron las áreas de mayor contribución para la emisión de $PM_{2.5}$. A partir de este proceso se proyectaron y compararon los beneficios aportados por diferentes estrategias de mitigación para los contaminantes emitidos por las fuentes urbanas. Como resultado, se obtuvo que el polvo resuspendido de calles no pavimentadas contribuye en un 30 % de las concentraciones de $PM_{2.5}$ dentro de las ciudades, lo que la convirtió en la principal fuente encontrada. Asimismo, los vehículos, la actividad industrial y el polvo emitido por calles no pavimentadas en su conjunto, generaron el 60 % de la contaminación por $PM_{2.5}$ a nivel local. En relación con los escenarios propuestos, se demostró que implementar estrategias como la pavimentación de calles podría influir en la reducción de $PM_{2.5}$ en casi $10 \mu g/m^3$ para 2030 en ciertas zonas de la ciudad. Finalmente, se infiere que la implementación de estrategias de mitigación en sectores con mayores niveles de $PM_{2.5}$ pueden evitar en gran medida los aumentos previstos en las concentraciones de contaminantes.

Por otra parte, Li et al. (2021), desarrollaron un estudio al que nombraron *Multiscale analysis of the effects of urban green infrastructure landscape patterns on $PM_{2.5}$ concentrations in an area of rapid urbanization*. Este consistía en un análisis de las variaciones y relaciones entre el $PM_{2.5}$ y la infraestructura verde urbana (IVU) a escala de aglomeración urbana y de barrio, basado en la integración de un modelo de regresión de panel, la regresión de cresta y el modelo BRT. Se determinó que, a escala de aglomeración urbana, los niveles de $PM_{2.5}$ fueron afectados en mayor medida por la velocidad del viento y la humedad relativa que por los patrones del paisaje de IVU. Asimismo, las menores y mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ ocurrieron en invierno ($66.79 \mu g/m^3$) y verano ($24.32 \mu g/m^3$). Por otro lado, otros estudios se han concentrado en la pérdida de servicios forestales debido a la urbanización acelerada y sus afectaciones a la calidad del aire, como es el caso del trabajo desarrollado por

Lin et al. (2020), donde se recopilaron datos de 71 estaciones de monitoreo, así como datos vectoriales, estadísticos y de cuadrícula para posteriormente realizar un análisis de los mismos. En este, se encontró que el uso de suelo forestal e industrial tuvieron mayores efectos en las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ambiente que otros tipos de uso de suelo. Asimismo, el industrial o urbanizado tuvieron mayor impacto durante el invierno. Estos tipos de uso de suelo tuvieron un gran impacto en el aumento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ambiente, mientras que la distribución y el cambio de la tierra forestal en la eliminación de este. Cabe resaltar que, la eliminación de $PM_{2.5}$ fue en general mayor en áreas rurales que en urbanas. La cantidad absoluta capturada por bosques de $PM_{2.5}$ fue de 1800 toneladas en 1000 y 3013 toneladas en 2015. Finalmente, se encontró que, en zona rural, debido a los bosques forestales se eliminaron 0.032 % de $PM_{2.5}$ en 2000 y 0.028 % en 2015.

Entre los mayores puntos de preocupación se encuentran las zonas vulnerables de las ciudades. En un estudio desarrollado en Corea del Sur, se utilizó un modelo de siembra de vegetación para la reducción de PM aplicable a zonas socialmente vulnerables, con lo que posteriormente se evaluaron los efectos en la calidad del aire. Con base a las condiciones climáticas y de calidad del aire se estudiaron los cambios en las concentraciones de polvo fino en función de las condiciones climáticas. Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de polvo dentro y fuera del área sembrada. Con una tasa de plantación mayor a 50% se logró una reducción de PM, para la cual la multicapa fue la más efectiva en la reducción de PM en comparación a la de una sola capa (Choi et al., 2021).

2.2.2.2. *Morfología urbana*

En un estudio propuesto por Ezhilkumar et al. (2022), se analizó el efecto generado por la geometría de las calles en la dispersión vertical de las PM ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en un no cañón urbano (NCU), un cañón urbano (UC) y un cañón urbano y viaducto (CUV) durante los cuatro periodos estacionales. A partir de este estudio se descubrió que la concentración en masa de PM en los cañones urbano se manifestó conforme a un orden jerárquico (CUV > CU > NCU). En todas las alturas analizadas las concentraciones de PM en CU y CUV superaron los límites establecidos por Normas

Nacionales de Calidad del Aire Ambiente (NAAQS) y en las tres geometrías las establecidas por las directrices de la Organización Mundial de la Salud. La tendencia vertical de concentración de PM fue significativa en los periodos de invierno y verano en NCU y CU. Asimismo, se descubrió que la estabilidad atmosférica, las velocidades del viento relacionadas con la morfología de las calles y las fuentes de emisión tuvieron gran influencia en el cambio estacional en la tendencia vertical de las PM.

La composición de los árboles es otro factor importante para considerar al estudiar cómo la morfología afecta a la calidad del aire. Con el fin de comprobar este hecho, se realizaron observaciones de todas las escalas de densidades urbanas, que incluyeron 31 estaciones de medición de 8 sectores con direcciones de viento distintas y características morfológicas diferentes. Se llegó a la conclusión de que los árboles dentro de los cañones urbanos maximizan las concentraciones de PM_{2.5} en el ambiente, sin embargo, en áreas abiertas estos pueden generar una mejora significativa. En cañones urbanos generan un porcentaje de deterioro del 24 %, mientras que, en zonas abiertas presentan un porcentaje de mejora del 6 % (Kokkonen et al., 2021a).

Como bien fue mencionado, debido a la importancia de la morfología urbana en las ciudades, estudios se han enfocado en investigar como la calidad del aire se ve influenciada por características como la geometría de sus calles (Tabla 9).

Tabla 9.

Estudios de la calidad del aire según la geometría del espacio

Autor y año	Clasificación	Ancho (m)	Altura (m)
Kumar et al., (2022)	Cañón urbano	32	13
Grylls y van Reeuwijk, (2022)	Cañón urbano	32	32
Jeong et al., (2023)	Calle	37	20
Ezhilkumar et al., (2022)	Cañones urbanos	15 30	10 10

		30	15
Niu et al., (2018)	Cañón urbano	50	50
Zavala-Reyes et al., (2019)	Cañón urbano	18	18

Nota. Los artículos descritos son aquellos que enfatizan las dimensiones del espacio en función de los efectos que generan en la calidad del aire.

A partir de esto se puede destacar la importancia del cañón urbano como objeto de estudio para las investigaciones enfocadas a la calidad del aire en entornos urbanos.

2.2.2.3. *Cañón urbano*

Niu et al. (2018) emplearon un modelo de simulaciones de dinámica de fluidos computacional en 3D para determinar el flujo del viento y el efecto de dispersión de contaminantes en cañones urbanos de diferente relación aspecto, separación entre edificios y dirección del viento. Los resultados arrojan que los niveles más altos de concentraciones de $PM_{2.5}$ son 46.4, 37.5, 28.4 lg/m^3 cuando $x = -88, -19.3, -19.3$ m a 1.5 m sobre el nivel del suelo y con una relación aspecto de 1:1, 1:2 y 2:1, respectivamente. Las diferencias en las relaciones aspecto de los cañones urbanos también afectan el flujo alrededor de la parte superior del edificio y el flujo libre entre los edificios, lo que incide en la difusión de las partículas finas. Las más altas concentraciones de $PM_{2.5}$ son 88.1, 31.6 y 33.7 lg/m^3 cuando $x = 148.0, -92.3$ y -186.7 m, a nivel del suelo a una altura de 1.5 m y una separación entre edificios de 0, 20 y 40 %, respectivamente. Los flujos de aire están divididos por el espacio libre en los cañones urbanos, y tienen características segmentarias. Las mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ son de 10.6, 11.2 y 16.0 lg/m^3 cuando $x = 165.3, 58.0$ y 1.5 m por encima del nivel del suelo a 1.5 m de altura con dirección del viento paralela a la calle, perpendicular a la calle y suroeste, respectivamente.

2.2.2.4. *Emisiones vehiculares*

Tal ha sido el interés por entender cómo mitigar este problema que estudios como Urban vegetation and particle air pollution: Experimental campaigns in a traffic hotspot, desarrollado por Gómez-Moreno et al. (2019), utilizaron dos enfoques de medición

diferentes para el monitoreo de PM_1 (partículas menores a 1μ), $PM_{2.5}$, PM_{10} y carbón negro (BC, por sus siglas en inglés); primero el enfoque estático, donde se monitorearon constantemente variables climatológicas y los niveles de material particulado dentro y fuera de un primer sitio mediante las herramientas Grimm 1107 y Grimm 365, en el parque del Retiro, Madrid, España. Como segundo enfoque, en este caso dinámico, se realizaron las mediciones a partir de instrumentos portátiles móviles (DustTrak) en calles a distintas distancias del parque. A partir de esto se descubrió que hubo una diferencia significativa en la calidad de aire de los puntos de tráfico y el parque, donde en verano, hubo una reducción del 25 % de PM_{10} y $PM_{2.5}$ a 20 m y del 50 % a 200 m del punto de tráfico; por su parte en invierno la reducción de PM_{10} y $PM_{2.5}$ a 200 m de la calle fue del 50 %, mientras que del BC fue el 20 % a esta misma distancia.

En otro estudio ejecutado por Zavala-Reyes et al. (2019), se utilizó un sistema computacional para la simulación de los procesos de movilidad urbana, dinámica de fluidos validada y un modelo integral de exposición, para determinar el nivel de exposición de ciclistas y peatones a PM_x y NO_x . Para la simulación de los escenarios se creó un cañón urbano por medio del ordenador, donde se caracterizaron emisiones de vehículos diésel y gasolina de las tecnologías Euro 5 y Euro 6, en escenarios de tráfico continuo y de parada y arranque, y tres distintas direcciones del viento a dos velocidades. En consideración de que peatones lentos y rápidos se verían expuestos, como resultado se obtuvo que los peatones lentos se expusieron los contaminantes en un 17 % más de tiempo que los peatones rápidos debido a una permanencia en la acera. En comparación con los peatones, corredores y ciclistas aumentaron su exposición en un 57 % y un 73 %, respectivamente. Asimismo, la tecnología del vehículo tuvo una gran influencia en las emisiones y por consecuencia en la exposición de contaminantes: los vehículos pesados Euro 6 disminuyeron un 86% la exposición a $PM_{2.5}$ y un 66 % a NO_x en comparación con los vehículos Euro 5. En relación con los flujos de viento, se puede destacar que cuando la velocidad del viento se duplicó de 2 a 4 m s^{-1} , la concentración de exposición disminuyó en torno al 45 %, lo cual confirmó la importancia de estos en la dispersión de contaminantes a nivel de cañón urbano.

2.2.2.5. *Contaminación del aire*

En el año 2020, se planteó como meta estudiar la contaminación en el aire a través procesos que les permitan comprender las características que influyen en los aumentos de contaminantes atmosféricos en entornos urbanos, cuantificar los impactos que generan en la salud una exposición prolongada a contaminantes y los beneficios que implicaría la implementación de medidas para su prevención. Por medio de un estudio se realizó una comparación de distintos indicadores urbanos (volumen/área media diaria de tráfico, número de paradas/área de transporte público y porcentaje de zonas verdes y de ocio al aire libre) a través una herramienta de minería de datos de código abierto que ayudaría a definir estrategias potenciales para la optimización de la calidad del aire. A partir de los escenarios planteados, se encontró que se podría lograr una disminución de 1.7 % de la mortalidad prematura por la exposición a PM_{2.5}, generadas por el tráfico vehicular, y de un 1.0 % por la exposición a NO₂, en promedio para todas las ciudades. Finalmente, se determinó que si bien, se logró una mejora al aplicar las estrategias, se requieren de medidas más ambiciosas para lograr mejores resultados (Reche et al., 2022).

2.2.2.6. *Material particulado*

L. Li et al. (2021) en Bottom-Up Emission Inventory and Its Spatio-Temporal Distribution from Paved Road Dust Based on Field Investigation: A Case Study of Harbin, Northeast China, desarrollaron una investigación a través de trabajo de campo, donde se realizó un inventario de alta resolución de las emisiones de polvo de carreteras pavimentadas, por periodos mensuales y características espaciales, con una resolución de 1 km × 1 km en Harbin para el año 2016, para ello, utilizaron datos de fácil acceso a nivel de condado, información estacional y parámetros locales obtenidos por medio de la investigación de campo para incrementar la resolución temporal-espacial. Los resultados mostraron que las emisiones totales de polvo de carreteras pavimentadas de TSP, PM₁₀ y PM_{2.5} en Harbin fueron de 270.207 t, 54.597 t y 14.059 t, respectivamente. En comparación con las zonas circundantes, las emisiones de contaminantes mostraron una mayor relación con red de carretera de la zona central de Harbin. Como conclusión, los escenarios simulados mostraron la

importancia de emplear medidas de mitigación para mantener los niveles de contaminación dentro del rango permisible en función de la salud de la población.

Por otro lado, en materia de las afectaciones a la salud, Waidyatillake et al. (2021) ejecutaron búsquedas sistemáticas por medio las bases de datos Medline, CINAHL y Global Health. Desarrollaron un metaanálisis jerárquico bayesiano, donde emplearon un prior no informativo para investigar si los coeficientes de regresión presentaban diferencias significativas entre las observaciones por la heterogeneidad entre los estudios. Como resultado de esta búsqueda, el metaanálisis reveló que la mortalidad anual prematura debido a las exposiciones a $PM_{2.5}$ era de 253 por cada 1,000,000 de habitantes (IC del 95 %: 90, 643) y en el caso de PM_{10} , de 587 por 1,000,000 de habitantes (IC del 95 %: 1, 39.746).

2.2.2.7. $PM_{2.5}$

Debido a las implicaciones a la salud por la exposición a $PM_{2.5}$, autores se han preocupado por el estudio de este contaminante, como Z. Zhang et al. (2018), quienes realizaron un estudio enfocado en 361,560 adultos (de los cuales 125,913 participantes no eran hipertensos). Por medio de un modelo espaciotemporal basado en satélites se calcularon las concentraciones medias de $PM_{2.5}$ de la residencia de cada participante de un periodo de 2 años. Se utilizó la regresión lineal multivariable para el análisis de los datos transversales con el total de participantes, posteriormente se estudió la relación entre las $PM_{2.5}$ y la presión arterial sistólica (PAS), la presión arterial diastólica (PAD) y la presión del pulso (PP), y se empleó la regresión de riesgos proporcionales de Cox para examinar los datos de cohortes con los participantes no hipertensos, que permitió estudiar la relación entre los niveles de $PM_{2.5}$ y la hipertensión en los pacientes. Como resultado se obtuvo que cada vez que se presentó un aumento de $10 \mu g/m^3$ en la concentración promedio de $PM_{2.5}$ en el periodo de 2 años, hubo un incremento de 0.45 mmHg [IC del 95 %: 0.40, 0.50], 0.07 mmHg (IC del 95%: 0.04, 0.11) y 0.38 mmHg (IC del 95 %: 0.33, 0.42) en la PAS, PAD y PP, respectivamente. Asimismo, cada aumento de $10 \mu g/m^3$ en la concentración promedio de $PM_{2.5}$ en los 2 años se relacionó con un incremento del 3 % en el riesgo de padecimiento de hipertensión [cociente de riesgos = 1.03 (IC del 95 %: 1.01; 1.05)].

2.2.2.8. *Estrategias de mitigación*

Estudios se han dedicado a investigar la eficacia de la reducción de emisiones de contaminantes como estrategia de mitigación, como el propuesto por J Liu et al. (2021), quienes emplearon el modelo WRF-Chem para cuantificar la eficacia de la mitigación de las emisiones en la contaminación por partículas en la cuenca de Guanzhong en el periodo de diciembre de 2013 a 2017, para lo cual se tomaron en cuenta diversas variables como parámetros meteorológicos, contaminantes atmosféricos y componentes de aerosoles. Como resultado, se determinó que una reducción en las emisiones de $PM_{2.5}$ generan una disminución del 17 % en las concentraciones de partículas finas en el ambiente, asimismo, aproximadamente la mitad de las concentraciones de partículas observadas disminuyeron en el periodo de diciembre de 2013 a 2017, lo que demuestra el papel que juegan las condiciones meteorológicas en la modulación de la contaminación por partículas. Con respecto a otros contaminantes como SO_2 , CO y O_3 , las reducciones fueron de un 55 %, 17 % y 7 %, respectivamente, sin embargo, hubo un aumento en las concentraciones de NO_2 en un 27%.

En términos de deposición, se llevó a cabo un proyecto de investigación donde se calculó la eliminación de $PM_{2.5}$ de la atmósfera en la llanura del norte de China por medio de deposición seca en el periodo de 1999 a 2013. Para desarrollar este trabajo emplearon el método inferencial, que integra los niveles en las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el aire obtenidas de la teledetección por satélite y las velocidades de deposición seca (V_d) calculadas por un modelo de deposición seca de partículas a granel. Los resultados mostraron que los flujos de deposición procedentes del método inferencial y de WRF-Chem incrementaron de manera considerable durante la década de 2000 en consecuencia al aumento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la llanura del norte de China. El incremento en V_d de $PM_{2.5}$ y tres especies de aerosoles adicionales en la llanura están relacionadas con la presencia de una mayor cobertura vegetal y una velocidad del viento superior. Finalmente, se concluyó que tanto las concentraciones de $PM_{2.5}$ y aerosoles inorgánicos secundarios como una mayor V_d debido a las actividades de forestación extensiva han contribuido positivamente a los flujos de deposición y una mayor eliminación de $PM_{2.5}$ de la atmósfera (Du et al., 2019).

En relación con la dispersión de contaminantes, investigadores como Karttunen et al. (2020b) realizaron las simulaciones de cinco escenarios de distribución de distintas composiciones de áreas verdes y un escenario de referencias carente de las mismas con el software de simulación PALM. Descubrieron que, si bien, la variabilidad en altura de árboles puede permitir una mejor ventilación y deposición de partículas, una conformación de árboles urbanos ineficiente puede llegar a causar un deterioro del 123 % para PM_{10} , 72 % para $PM_{2.5}$ y 53 % para número total a nivel acera, por lo que una correcta composición de los mismos es fundamental para la calidad del aire.

También podemos encontrar estudios que integran tanto el proceso de dispersión como de deposición de contaminantes, como se presentó en el artículo Integrated dispersion-deposition modelling for air pollutant reduction via green infrastructure at an urban scale, por Tiwari y Kumar (2020), que simularon ocho escenarios de infraestructura verde en carriles de tráfico para evaluar los sus efectos individuales y la reducción de agentes contaminantes por deposición y dispersión que genera. Se desarrolló un escenario situado en el 2015 (actual) y otros siete escenarios a 2039 (futuros). Adicionalmente, se creó un mapa de calidad del aire en función de la infraestructura urbana propuesta en los 8 escenarios diferentes para comparar la reducción anual entre estos. Entre los hallazgos se encontró que, en función de la composición de infraestructura verde y las emisiones de tráfico, la deposición anual de contaminantes varía de $0.27-2.77 \text{ t}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ para NO_x , $0.46-1.03 \text{ t}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ para PM_{10} y $0.08-0.23 \text{ t}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ para $PM_{2.5}$. En relación con las especies, las coníferas tuvieron mejor desempeño en promover la dispersión y la deposición de contaminantes en conjunto. En el escenario denominado 2039-MAX-Dec, se obtuvo una reducción del 10 % en NO_x , 1 % en PM_{10} y 0.8 % en $PM_{2.5}$ por dispersión. En conjunto, por deposición y dispersión, se redujo en un 35 % en NO_x , 21 % en PM_{10} y 8 % en $PM_{2.5}$ con un 75 % de infraestructura verde en 2015.

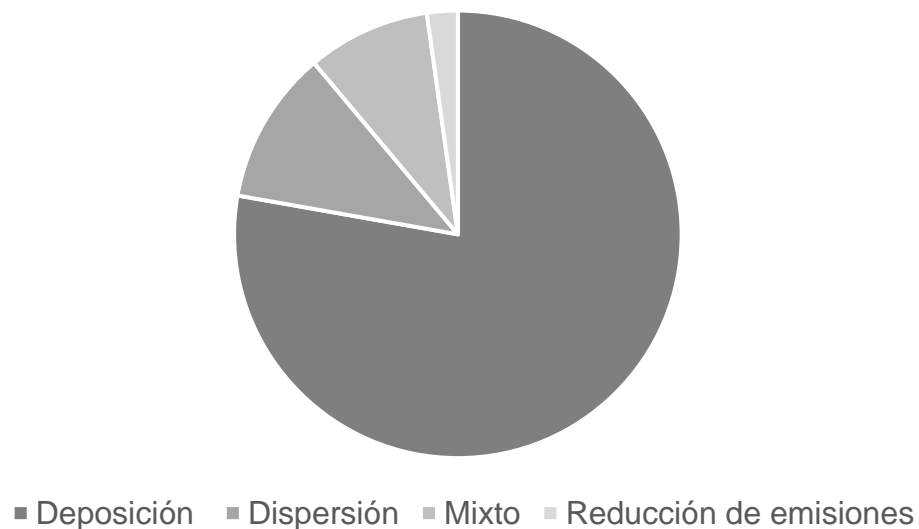
Investigadores han buscado crear nuevas alternativas para la reducción de contaminantes del aire, como es el caso de Donateo et al., (2021), quienes caracterizaron un innovador panel verde, denominado CityTree, al cual aplicaron a un entorno urbano real. Se calculó la tasa de abatimiento de PM_x , NO_x y BC por cada CityTree durante tres campañas de campo desarrolladas en la ciudad de Moderna,

Italia. A partir de esto, afirmaron que los biofiltros de musgo tienen un mejor desempeño en la eliminación de agentes contaminantes del aire que la infraestructura verde estándar para la aplicación en sitios reales, con reducción de hasta el 19-23 % en PM₁₀, del 15-20 % en PM_{2.5}, del 11-13 % en PM₁, del 38 % en partículas ultrafinas y del 17 % en BC. Por su parte, Pettit et al. (2021) propuso la colocación de tres diferentes prototipos de biofiltros botánicos en distintos sitios en dos entornos diferentes de carretera en Sidney, Australia, sitios que posteriormente fueron monitoreados para evaluar la eficiencia de la biofiltración de contaminantes. Al concluir el experimento, los índices de PM_{2.5}, O₃ y NO₂ registrados en los tratamientos de biofiltración fueron menores a los encontrados en el ambiente, con una mejora del 71.5 % en NO₂, 28.1 % en O₃ y 22.1 % en PM_{2.5}, por lo que el experimento fue exitoso.

Cabe resaltar que, de acuerdo con la literatura consultada, de los 50 artículos: 35 (70 %) emplean la deposición como técnica de mitigación, cinco (1 %) la dispersión, cuatro estrategias mixtas (deposición y dispersión) y solamente uno reducción de emisiones (Figura 10).

Figura 10.

Estrategias de mitigación empleadas en la literatura consultada



2.2.2.9. *Deposición*

Su et al. (2021) desarrollaron un experimento de campo con cinco especies de árboles autóctonos típicos de Taiwan para analizar el proceso de deposición seca de PM en las hojas en un entorno real, posteriormente, los resultados fueron comparados con los parámetros proporcionados por el software i-Tree. Asimismo, se analizaron las correlaciones entre el flujo de deposición seca y los niveles de PM, y entre la velocidad de deposición seca y las condiciones meteorológicas. Como resultado se obtuvo que las velocidades promedio de deposición seca de TSP, PM₁₀ y PM_{2.5} fueron 0.63, 0.062 y 0.028 cm s⁻¹, respectivamente. Por otra parte, se descubrió que hojas compuestas y ásperas, tiene un buen desempeño en la retención de PM_{2.5}, mientras que los de hojas delgadas y superficies de cera, tienen una menor retención de TSP. Finalmente, en relación con el modelo i-Tree se concluyó que debido a que los valores de deposición seca obtenidos en campo fueron similares a los generados por i-Tree, el software tiene gran potencial para el desarrollo de investigaciones análogas.

En el estudio, Individual effects of trichomes and leaf morphology on PM_{2.5} dry deposition velocity: A variable-control approach using species from the same family or genus, desarrollado por X. Zhang et al. (2021), con base a cuatro índices: densidad de tricomas, longitud del pecíolo, relación de aspecto (relación de ancho a largo) y desviación fractal; se eligieron 17 especies vegetales, de la misma familia o género para disminuir la interferencia generada por otros factores, y posteriormente realizar un proceso de tratamiento para cada uno de los índices mencionado por medio de un método indirecto original. Se determinó que los tricomas en la hoja tuvieron un efecto positivo para la velocidad de deposición seca de PM_{2.5}, mientras que una relación de aspecto de la hoja más baja, pecíolos más cortos y una desviación fractal de la hoja mayor también se relacionaron un aumento en la velocidad de deposición seca de PM_{2.5}.

Por su parte, T. Lee et al. (2021), por medio de dos experimentos de cámara, analizaron el efecto de los patrones de conglomerados en la capacidad de captación de PM, en tanto paralelamente se controlaban otras variables influyentes. Posteriormente, se realizaron tres propuestas de superficies arquitectónicas para

imitar los patrones de racimos de las hojas: una superficie base, una plegada, y una plegada y porosa, que fueron expuestas a PM proveniente de la cámara. A partir del estudio se encontró que el patrón de cúmulos pequeños y densamente organizados tuvo una mayor eficiencia en la eliminación de $PM_{2.5}$ y PM_{10} que el patrón de racimo grande y escasamente dispuesto. Asimismo, la superficie plegada y porosa fue la más efectiva. Finalmente, determinaron que, en función al patrón de racimo de las hojas, se puede lograr una mayor adsorción de PM.

En un estudio concentrado en la captura de partículas en época de invierno, se ejecutó una prueba de campo de cuatro especies de vegetación de hoja perenne representativas colocadas a borde de carretera (dos especies de arbustos y dos especies de árboles) en una calle principal ubicada en Hannover, Alemania, con el fin determinar su capacidad de captura en épocas de invierno (noviembre a marzo). A partir de esta prueba se descubrió que, *Taxus baccata* fue la especie más eficiente y *Prunus laurocerasus* fue el menos eficiente. En general, *Taxus baccata* fue la especie más estable tanto para la mitigación de PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante invierno, donde diciembre fue el mes de mayor captura. *Prunus laurocerasus* fue la especie más ineficiente durante todos los meses de invierno. Asimismo, una mayor cantidad de crestas y surcos generó mayor rugosidad de la superficie de la hoja de *Taxus baccata*, por lo que hubo una suficiente más amplia en la hoja para la captura de PM. Se encontró una correlación negativa entre el ángulo de contacto de la superficie de la hoja y su eficiencia en la captura de PM. *Prunus laurocerasus* al presentar un mayor ángulo de contacto, tuvo una menor capacidad de captura de PM, mientras. *Taxus baccata* tuvo el menor ángulo de contacto y es considerada la de mayor capacidad (He et al., 2020).

En Shanghai, China, se seleccionaron cinco especies de plantas representativas de la zona para estudiar la regularidad de la deposición de polvo en las hojas de la vegetación. Se concluyó que, en función del área foliar y las características de la superficie, la cantidad de polvo ($PM_{2.5}$) que retiene la vegetación difiere significativamente. De igual forma, la vegetación muestra diferente capacidad de captación de polvo de acuerdo a distintas intensidades de contaminación. Por otro lado, la cantidad de agua contenida en las hojas fue un factor crucial que incidió en la capacidad de retención de polvo de la vegetación. *Viburnum odoratissimum* y

Euonymusjaponicas tuvieron un mejor desempeño en la deposición de partículas (Y. Sun et al., 2021).

Debido al impacto que puede generar la deposición de contaminantes, autores han buscado nuevas soluciones como es el caso del proceso de deposición en hojas sintéticas. Weerakkody et al. (2018a), realizaron un estudio denominado Evaluating the impact of individual leaf traits on atmospheric particulate matter accumulation using natural and synthetic leaves, donde por medio de diseños experimentales estandarizados se emplearon hojas naturales y sintéticas en tres experimentos para cuantificar la acumulación de PM (PM₁, PM_{2.5} y PM₁₀) con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido ambiental y el software ImageJ. Posteriormente, las muestras fueron expuestas al tráfico para analizar su capacidad de retención de partículas. Se descubrió que el tamaño, la forma y la micromorfología de la hoja son factores importantes que influyen en la capacidad de retención de partículas en su superficie. Especies de hojas más pequeñas y con formas complejas (hojas lobuladas) tienden a tener mayor potencial para capturar y retener PM. Superficies foliares con características como pelos/tricomas, cera epicuticular y crestas superficiales retuvieron una mayor cantidad de PM en comparación con las superficies lisas; sin embargo, la velloidad de las hojas/presencia de tricomas fue el más importante.

2.2.2.10. *Soluciones basadas en la naturaleza*

Diversos estudios han trabajado con la implementación de espacios verdes para la mitigación de la contaminación en zonas urbanas como el caso de Y. Zhang et al. (2020), en Unexpected air quality impacts from implementation of green infrastructure in urban environments: A Kansas City case study, donde simularon escenarios de implementación de infraestructura verde en Kansas, City. Las simulaciones consistieron en escenarios temporalizados durante todo el año para un caso base y para distintas propuestas de GI por medio de dos esquemas de modelo de superficie terrestre, Noah y Pleim-Xiu, dentro de un modelo meteorológico. Encontraron que al implementar una configuración adecuada de GI se logró una disminución en O₃ promedio diario máximo de 8 horas y máximo diario de 1 hora durante el verano en 0.9 y 1.4 ppbv, respectivamente.

A su vez, Srbinovska et al. (2021) señalaron que la vegetación tiene un gran efecto en la reducción de PM y que existe una fuerte correlación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Para ello, se obtuvieron datos de mediciones continuas por medio de un sistema de pared verde y estaciones de monitoreo de calidad del aire basados en tecnología de red inalámbrica de sensores para posteriormente hacer uso de herramientas estadísticas (pruebas Friedman y Mann-Whitney) y así determinar el impacto generado por la posición relativa de los sensores de medición y la vegetación en las concentraciones de PM. Como resultado se obtuvo que, en comparación con la ausencia de vegetación, al implementarla se obtiene una mejora del 25 % en $PM_{2.5}$ y del 37 % en PM_{10} .

2.2.2.11. *Servicios ecosistémicos*

Se han realizado múltiples investigaciones acerca de los beneficios de los servicios ecosistémicos y de los impactos negativos que genera su pérdida. Tal es el caso del trabajo desarrollado por Ersoy Tonyaloğlu y Atak (2021), en el cual evaluaron los servicios ecosistémicos al observar las variaciones en la cobertura del suelo por medio del software i-Tree Canopy, desde año 2004 al 2021. Ejecutaron un análisis de los cambios presentados por medio de imágenes históricas de Google Earth Pro, para, finalmente, con i-Tree Canopy generar datos estimados de la calidad del aire en dichos años. Concluyeron que los servicios ecosistémicos generados por la cobertura vegetal benefician significativamente a la calidad del aire en entornos urbanos. Del año 2004 al 2021 se ha presentado una pérdida de la cobertura vegetal y como consecuencia de los servicios que esta provee. Encontraron que, en Turquía, la cubierta vegetal existente en 2004 y 2021 elimina 75,817.38 kg y 65,801.91 kg de agentes contaminantes por año, con lo cual se concluye la importancia de los servicios ecosistémicos en el entorno urbano.

Por otra parte, Mirsanjari et al. (2020) aplicaron cinco modelos de series temporales: autorregresivo (AR), promedio móvil (MA), promedio móvil autorregresivo (ARMA), promedio móvil integrado autorregresivo (ARIMA) y promedio móvil integrado autorregresivo estacional (SARIMA) con el fin de predecir cambios en la calidad del aire (CO_2 , SO_2 , O_3 , $PM_{2.5}$ y PM_{10}). Al aplicar los modelos AR (1) y ARIMA (1,2,1) se obtuvieron resultados aceptables para predecir la concentración de contaminantes del

aire en el área de estudio. Con lo que pudieron concluir que, al presentarse una pérdida de cobertura verde urbana, los servicios ecosistémicos disminuyen, lo que repercute en la calidad del aire de estas áreas.

Asimismo, en Tbilisi, Georgia, se empleó el modelo i-Tree Eco para cuantificar los servicios ecosistémicos proporcionados por los boques urbanos; se midieron los árboles de dos parques ubicados en Tbilisi, EXPO park y RED park, para posteriormente realizar una simulación del año 2018. Los bosques y arboles urbanos son una estrategia efectiva para la mitigación de agentes contaminantes y el cambio climático, ya que se descubrió que fueron capaces de retener carbono en sus tejidos leñosos (198.4 t para EXPO Park y 126.5 t para RED Park). Además, eliminan cada año 4.6 y 4.7 t de CO₂ en EXPO park y RED park, respectivamente. En general, los bosques y arboles urbanos se encargan de mitigar 119.6 y 90.3 kg de CO, NO₂, O₃, PM_{2.5} y SO₂ (Alpaidze & Pace, 2021).

Bonilla-Bedoya et al. (2021), por medio de imágenes ópticas Spot, cuantificaron los cambios en la cobertura terrestre, para posteriormente generar una clasificación basada en objetos. Se identificaron variaciones en las concentraciones de los agentes contaminantes y con ayuda de modelos de regresión lineal, se buscó explicar la relación espaciotemporal entre la cobertura de suelo y los contaminantes atmosféricos, adicionalmente, se consideraron algunos factores meteorológicos y climáticos. Entre sus hallazgos se determinó que los cambios en la cobertura de suelo indicaron una pérdida de vegetación urbana no forestal (infraestructura verde) por el aumento de cubiertas impermeables. La cobertura del suelo como bosques, árboles urbanos, factores meteorológicos y topográficos demostraron estar relacionados con la variación espaciotemporal de los contaminantes atmosféricos.

2.2.2.12. *Infraestructura verde*

Debido a la creciente necesidad de mitigar los problemas relacionado con la calidad del aire, el ser humano se ha orillado al desarrollo de diversas soluciones, en las cuales incluye la implementación de distintos tipos de infraestructura verde, como paredes verdes y techos verdes. Un ejemplo es el estudio realizado por Viecco et al., (2018), a partir del cual se evaluaron cinco especies de vegetación para techos verdes (TV) y

cuatro especies para paredes vivas (PV) en un laboratorio donde se lavaron, filtraron y pesaron las muestras para cuantificar la deposición seca de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la superficie de la hoja, así como las partículas capturadas por la cera de las hojas. En sus resultados describieron que la vegetación de TV y PV puede disminuir de manera significativa las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . *S. album* demostró un mejor desempeño en deposición seca total de PM ($29.3 \pm 8.7 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$), y los valores más bajos se generaron por la implementación de *L. angustifolia*, *E. karvinskianus* y *P. tobira*.

Por su parte, P Kumar et al. (2022) realizaron un estudio a través de la colocación de una serie de instrumentos a lo largo de un seto de 74 m de largo en 13 puntos fijos para evaluar el impacto de la cobertura en las distribuciones de concentración la vertical y horizontal de PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} , BC y la concentración del número de partículas (PNC). Como resultado se obtuvieron que, si bien, se observó una disminución a 1.7 m de altura, la reducción máxima correspondiente a un 17 % se dio a un metro de altura, asimismo, se encontró un aumento del 7-21 % entre la fachada del edificio y el seto.

Otro sistema empleado, consiste en la colocación de arbolado urbano. Diversos autores se han encargado de estudiar los efectos del arbolado urbano en las ciudades, como es el caso de Grylls y van Reeuwijk (2022) quienes por medio del modelo uDALE ejecutaron la simulación de cuatro escenarios: neutro, neutro con árboles, convectivo y convectivo con árboles, con el fin de evaluar la eficacia de los árboles para reducir las concentraciones de NO_x y $PM_{2.5}$. A partir de este estudio determinaron que existe una relación compleja entre los árboles y la calidad del aire en entornos urbanos, ya que si bien, la presencia de los árboles disminuye la concentración de agentes contaminantes en el entorno urbano por medio de la deposición, también afectan el flujo del aire, y consecutivamente el efecto de dispersión. Concluyeron que hubo una mejora en los niveles de fondo ($PM_{2.5}$) del 49 % con presencia de árboles en condiciones neutras y del 22 % en presencia de árboles en condiciones convectivas; y en emisiones locales (NO_x), una disminución del 4 % con la implementación de árboles en condiciones convectivas. Sin embargo, se presentó un deterioro del 64 % en emisiones locales (NO_x) con el empleo de árboles en condiciones neutras.

Otros estudios se han concentrado en determinar la configuración óptima para la retención de partículas. Un ejemplo de ellos es un estudio situado una calle típica de la ciudad universitaria de Shenzhen, Lishui Road. Se tomaron muestras de 23 especies frecuentemente encontradas en la zona, las cuales fueron analizadas para evaluar su capacidad de reducción de $PM_{2.5}$ a través de pruebas de túneles de viento. Asimismo, realizaron simulaciones de tres configuraciones de cinturones verdes viales con base en las especies de plantas analizadas. A partir de esto concluyeron que en términos de dispersión de $PM_{2.5}$ el uso de arbustos tuvo un mejor desempeño. En cambio, en el caso de la deposición, el uso de arbustos en combinación con árboles juega un mejor papel. Sin embargo, en general los arbustos en cinturones urbanos son más efectivos para mantener concentraciones bajas y una mejor deposición de $PM_{2.5}$, ya que lograron una reducción a nivel de respiración de un 15-20 % (Wu et al., 2021). De igual manera, también se estudió el efecto de la implementación de arbustos en la calidad del aire al investigar el efecto de deposición en la hoja de PM_{10-100} , $PM_{2.5-10}$, $PM_{0.2-2.5}$ y de 21 elementos adicionales en una barrera de vegetal ubicada a un lado de la carretera. Para ello, se empleó microscopía y análisis de imágenes para detectar PM_{10-100} negro y marrón, y la composición de elementos, en la hoja. Posteriormente, se calculó la deposición de contaminantes con muestreadores pasivos respecto a cinco distancias de la vialidad (2.0 m, 5.5 m, 9.0 m, 12.5 m, 19.5 m) en el área de la barrera y en una zona de césped continua. Como resultado de este análisis, se concluyó que las hojas de *V. lucidum* fueron más efectivas para la eliminación de $PM_{2.5-10}$ y $PM_{0.2-2.5}$ que *P. x fraseri*, sin embargo, en la mayoría de los elementos *P. x fraseri* fue más eficiente. Al aumentar la distancia a carretera, la mayoría de los contaminantes disminuyeron, además, se presentaron niveles más altos a 1.5 m que a 3.0 m. Finalmente, al implementar una mayor cantidad de *P. x fraseri* hubo una mejora en la deposición de PM_{10-100} y $PM_{2.5-10}$. Cabe señalar que, una mayor cantidad de *V. lucidum* no generó cambios considerables en la deposición (Mori et al., 2018).

2.2.2.13. Vegetación urbana

Diversos estudios se han enfocado en analizar el impacto de la vegetación en zonas urbanas. B. Zhang et al., (2021) utilizaron la fórmula de cálculo central del software i-Tree con el fin de cuantificar la retención de partículas por medio de árboles urbanos

y determinar cuál fue la mejora en la calidad del aire. Descubrieron que los bosques urbanos tienen un buen desempeño en eliminar $PM_{2.5}$ del ambiente. En 2017, en un área de 46161 ha, los bosques urbanos pudieron eliminar 874 t de $PM_{2.5}$ con un promedio de 18.94 kg/ha. Asimismo, los bosques latifoliados tuvieron un desempeño del 83 % de eliminación de $PM_{2.5}$.

Van Ryswyk et al. (2019), publicaron el estudio nombrado Does urban vegetation reduce temperature and air pollution concentrations? Findings from an environmental monitoring study of the Central Experimental Farm in Ottawa, Canada, que consistió en el monitoreo móvil en los periodos de otoño, invierno y verano, de $PM_{2.5}$, partículas ultrafinas (UFP), BC y temperatura. Posteriormente, calcularon los niveles promedios de exposición de toda la carretera que se aplicaron como datos de entrada para los modelos de regresión de uso de suelo específico de la temporada. Asimismo, se aplicó un modelo de regresión lineal para caracterizar la relación espacial entre el sitio de estudio, la contaminación del aire ambiental y las medidas de temperatura. Se descubrió que conforme aumentaba la distancia de la carretera al área de vegetación urbana se presentaban aumentos en las concentraciones de $PM_{2.5}$ en otoño (12.1 %, IC 95 %: 6.1 %–18.4 %), $PM_{2.5}$ en invierno (6.8 %, IC 95 %: 2.4 %–11.3 %), BC de verano (74.1 %, IC del 95 %: 12.2 %–167.7 %) y temperatura de otoño (2.8 %, IC del 95 %: 1.3 %–4.2 %), lo que indica que la vegetación tiene efectos positivos en las concentraciones de contaminación del aire y en la temperatura en condiciones de calor extremo.

Otro estudio que implica el monitoreo móvil de agentes contaminantes en función de la distancia a la vegetación es el desarrollado por J. Xu et al. (2023), donde elaboraron un modelo de regresión ponderado geográficamente para analizar el efecto de la vegetación a nivel de calle en la mitigación de $PM_{2.5}$ a través de imágenes Street View. Asimismo, se realizaron una campaña de monitoreo móvil para determinar las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la zona. Se concluyó que, desde una perspectiva 3D, el radio de afectación de la vegetación urbana en la contaminación del aire es de 300 m. Adicionalmente, se determinó que las altas concentraciones de contaminación y el efecto de cañón repercuten negativamente en la dispersión de la contaminación.

Finalmente, mencionan que se debe reconsiderar la plantación densa de árboles en cañones urbanos debido a la pérdida de ventilación que generan.

En relación con las características óptimas para las configuraciones de vegetación urbana y su incidencia en la calidad del aire en cañones urbanos, X. Wang et al., (2020) desarrollaron un experimento de campo en cuatro cañones urbanos representativos de la ciudad, en un periodo de 12 días, con el fin de examinar los efectos de los árboles urbanos para la eliminación de contaminación por material particulado (PM): PM₁, PM_{2.5}, PM₄, PM₇, PM₁₀, y TSP. Se consideraron cuatro tratamientos de densidad de dosel: espacios abiertos y áreas con escasa ($\leq 35\%$), media (35–70 %) y alta ($\geq 70\%$). Con este experimento se encontró que para la reducción de PM₁₀ y concentraciones de TSP el rango de densidad de dosel del 30 % al 36 % fue el más beneficioso, mientras que un rango del 24 % al 36 % es beneficioso más efectivo para la reducción de PM_{2.5}.

En otro estudio se integraron el promedio Reynolds y el modelo de flujo de deriva generalizado al modelo Navier-Stokes para determinar las particularidades de los campos de flujo de aire y la dispersión de PM_{2.5} que provoca bajo diferentes condiciones en cañones urbanos (vegetación con diferente morfología de copa, densidad de área foliar (LAD) y relación aspecto del cañón). Como resultado se obtuvo que, un LAD más alto aumenta el flujo inverso y disminuye la velocidad del aire. Hubo una disminución mínima de la velocidad con un LAD de 1.5 a 2.5 m²/m³ y un aumento significativo con un LAD entre 0.5 a 1.5 m²/m³. La relación de reducción máxima se clasificó de menor a mayor en orden de marquesinas cónicas, esféricas y cilíndricas. Un escenario de H/W = 1.0 y LAD = 1.5 se identifica como la combinación óptima para reducir las concentraciones de PM_{2.5} a nivel de peatones (Hong et al., 2017).

Li Li et al. (2023) utilizaron el modelo ENVI-met para comparar los efectos de distintas configuraciones de vegetación urbana en la dispersión de PM_{2.5} y el nivel de exposición de los usuarios. Con base a esto, encontraron que una propuesta de infraestructura verde cóncava reduce efectivamente los niveles de PM_{2.5} a nivel de autopista, asimismo, en general, los árboles presentan mejor desempeño en la purificación del aire a nivel acera. Por otro lado, en comparación con las propuestas tradicionales, los

techos y muros verdes son más efectivos en reducir las concentraciones bajo la exposición de viajeros. Finalmente, cuando un tipo de infraestructura verde logra disminuir la exposición de los peatones, otras pueden generar el efecto contrario bajo las mismas condiciones al aumentar la exposición en las autopistas.

Por su parte, Junyou Liu y Zheng (2023), por medio del modelo ENVI-met, construyeron un modelo base y otros cuatro modelos de propuestas con distintas alturas, cantidades y distancias entre los árboles urbanos en distintos periodos del año para determinar su comportamiento con relación a la disminución de $PM_{2.5}$ en el ambiente. Los resultados reflejaron que, si bien, una distribución densa de árboles perjudica la dispersión de contaminantes, una distancia moderada entre árboles puede contrarrestar este efecto. Los árboles de altura pequeña (5 m) pueden ser efectivos en cañones urbanos debido a su bajo impacto en la dispersión de $PM_{2.5}$. La concentración de $PM_{2.5}$ en cañones urbanos tiende a ser mejor cuando los árboles tienen 5 m de largo.

En los estudios relacionados con vegetación urbana hay quienes enfatizan la importancia de la composición de la hoja en la captura de partículas, como es el caso de Zhao et al. (2022), quienes, en *Trait-mediated leaf retention of atmospheric particulate matter in fourteen tree species in southern China*, midieron tres métricas de adsorción de material particulado y seis características funcionales para 14 especies, así como una estimación de la necesidad mínima de luz de cada una de ellas, por medio de un experimento en campo. El estudio dio como resultado que *C. concinna*, *X. hainanense* y *C. subulatum* son especies aptas en la captura de partículas. Las especies tolerantes a la sombra son más eficientes para la retención de partículas gruesas ($PM_{2.5-10}$) que las especies demandantes de luz. Además, en comparación con las especies adquisitivas, las especies conservadoras (mayor densidad de madera y grosor de hoja) se desempeñaron mejor en la captación de partículas. Finalmente, se obtuvo que especies de maderas más densas y hojas más pequeñas obtuvieron mejores resultados con PM_{10} , mientras que para $PM_{2.5}$ especies las hojas “caras” (alto nitrógeno o fósforo foliar) fueron más eficientes. De igual forma, Weerakkody et al. (2018), en su estudio, colocaron 20 plantas de muros vivos en una calle muy transitada en Strole-on-Trent, Reino Unido. Se utilizó un microscopio de barrido ambiental y el

software ImageJ para calcular la capacidad de retención de PM en las hojas. Por otra parte, se determinó su composición elemental mediante energía dispersiva de rayos X. Con base a las características de la hoja, se identificaron las diferencias en su capacidad de retención de PM con un modelo lineal generalizador de efectos mixtos. A partir de este proceso se determinó que las plantas en muros vivos capturaron un promedio de $122.08 \pm 6.9 \times 10^7$ de PM_{10} , $8.24 \pm 0.72 \times 10^7$ de $PM_{2.5}$ y $4.45 \pm 0.33 \times 10^7$ de PM_{10} por cada 100 m^2 . *Juniperus chinensis L.* tuvo mayor eficiencia en la absorción de partículas. La capacidad de retención de partículas especies de hojas pequeñas es superior al de las más grandes. El tamaño de la hoja influye en gran medida para la captación de partículas. La característica de mayor peso para la absorción de partículas fue la densidad estomática.

2.2.2.14. Simulación CFD

A lo largo de los años, la simulación CFD ha sido utilizada para el estudio de los efectos de dispersión y deposición. Jeong et al., (2023), en su estudio Effects of Green Network Management of Urban Street Trees on Airborne Particulate Matter ($PM_{2.5}$) Concentration utilizaron la simulación CFD para generar propuestas de distintas configuraciones de vegetación y determinar los cambios en las concentraciones de $PM_{2.5}$ con base a las características del viento y de composiciones de áreas verdes en acera y camellón. Encontraron que en cañones urbanos hubo menores concentraciones de $PM_{2.5}$ a 45° en dirección del viento, en comparación con los 0° . Asimismo, a medida que la velocidad del viento aumentaba, las concentraciones de $PM_{2.5}$ disminuían. También, cabe destacar que hubo una mayor eliminación de partículas en propuestas de plantación múltiple.

Uno de los programas más empleados en materia de calidad del aire es el software ENVImet. Liu et al. (2022), con ayuda del monitoreo de campo y la simulación de escenarios por el software ENVImet, analizaron el impacto que generan la altura de los árboles, colocados a ambos lados de la calle, en las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ambiente. Para ello, se consideraron cinco propuestas: árboles de 10 m de altura, árboles de 15 m de altura, combinación de árboles de 15 y 10 m de altura, árboles de 5 m de altura y un escenario con ausencia de árboles. Se concluyó que, bajo ciertas

condiciones, en cañones urbanos, los árboles pueden aumentar los niveles de contaminación por $PM_{2.5}$. Además, árboles de menor altura y ancho de copa (5 m y 3 m, respectivamente) tienen un mejor desempeño que aquellos de mayor dimensión (10 m y 7 m).

Otro de los estudios desarrollados a través de ENVI_{met} consistió en simular el sitio de estudio (edificios, vegetación, superficies pavimentadas y emisiones de tráfico) para calcular la reducción de $PM_{2.5}$ en escenarios con distintas alturas de edificios y propuestas de cobertura de techos verdes (TV) y muros verdes (MV). Asimismo, se realizó un análisis comparativo con un escenario base. A partir de esto, se logró concluir que la eficacia de TV y MV para la disminución de $PM_{2.5}$ está en función de la altura del edificio, la infraestructura urbana adyacente, la cubierta vegetal y la cercanía a la fuente contaminante. Los TV tienen un mejor desempeño en edificios menores a 10 m de altura, en cambio, los MV, en todos los casos la reducción de $PM_{2.5}$ fue favorable. Cabe destacar que, una cobertura de 50 % y 75 % en TV tienen un mejor desempeño, mientras que en el caso de MV corresponde al 25 % (Viecco et al., 2021).

2.2.2.15. Modelos de deposición seca

K. Li et al. (2023), en el artículo titulado Quantitative estimation of the $PM_{2.5}$ removal capacity and influencing factors of urban green infrastructure, realizaron un estudio en el cual extrajeron información a través de bases de datos, que posteriormente fue cuantificada por medio de un modelo de deposición seca basado en múltiples variables ambientales para finalmente someterse a un análisis estadístico por medio de la prueba Sen-MK y autocorrelaciones espaciales. Se descubrió que, del 2000 al 2019, se presentó un aumento en la eliminación de $PM_{2.5}$ por infraestructura verde urbana, con una eliminación de $PM_{2.5}$ de 20.64 Mg/a, un flujo de eliminación de $PM_{2.5}$ de 0.0258 g/m²/a y una tasa de eliminación de 0.377 %/a.

Chen et al. (2021) realizaron monitoreos simultáneos en periodos constantes en tres carreteras con eje oblicuo a la dirección dominante del viento, donde dispusieron de 24 cinturones de muestra para medir las concentraciones de TSP, PM_{10} y $PM_{2.5}$. Asimismo, la porosidad de la capa protectora fue empleada como representación de las configuraciones verticales de las barreras de vegetación. Determinaron que las

barreras de vegetación tienen la capacidad de reducir las concentraciones de PM₁₀ y TSP con cierto nivel de efectividad (del 5 al 23 % en áreas detrás de las barreras de vegetación en comparación con cañones de viento oblicuo), sin embargo, los efectos de reducción en PM_{2.5} eran inconsistente. Asimismo, los arbustos y setos con alturas menores a 2 m fueron los elementos claves para la mejora de la calidad del aire, por otro lado, deben evitarse el uso de árboles grandes y densos en carreteras de alto tráfico vehicular.

2.2.2.16. *I-Tree*

El modelo Urban Forest Effects (UFORE), ahora conocido como modelo i-Tree Eco, se ha empleado para evaluar la capacidad de eliminación de PM_{2.5} por medio de la vegetación urbana, así como para estimar la tasa de eliminación anual de diferentes tipos de vegetación. Un ejemplo de ello fue la investigación realizada por Wu et al. (2019), donde por medio del modelo espaciotemporal i-Tree Eco cuantificaron la heterogeneidad espacial vertical de la eliminación de PM_{2.5} por la implementación de vegetación urbana, asimismo, se analizaron cinco escenarios de plantación futuros. Sus principales hallazgos fueron que, en 2015, la vegetación urbana redujo 1000.1 ton de PM_{2.5}, y su tasa promedio de eliminación del contaminante fue de 1.6 g m⁻² year⁻¹. Los arbustos de hoja perenne, los bosques de hoja ancha perenne y los bosques con hojas aciculares perenne fueron los más efectivos en la eliminación de partículas con <100, 100–300 y >300 m, respectivamente. Para cinco escenarios de plantación futuros, al incrementar la cubierta vegetal en un 5 % en las distintas zonas de elevación planteadas, se lograría remover de 1220.6–1308 toneladas por año. Finalmente, una mayor cobertura de arbustos de hoja perenne en el área a <100 m podría lograr el mejor potencial de remoción.

2.2.3. Marco Normativo

2.2.3.1. *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire*

Si bien, las directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire no son normas jurídicamente vinculantes, son estatutos base que presentan recomendaciones fundamentadas en pruebas, y que pueden ser empleadas como pauta para establecer leyes y políticas en relación con los límites asociados a riesgos significativos para la salud. Sus objetivos específicos son:

- Generar recomendaciones fundamentadas en pruebas y manifestadas como niveles en las directrices, enfocadas en materia de salud y su relación con las concentraciones de PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ y CO que consideren los tiempos promedio relevantes.
- Proponer metas intermedias para países que superen de manera significativa los parámetros sugeridos por la presente recomendación, de tal manera que implementen las medidas necesarias para lograr alcanzar los niveles permisibles de manera paulatina.
- Poner al alcance de quien lo requiera declaraciones cualitativas con respecto a las buenas prácticas para la administración de ciertos tipos de material particulado, que incluyen, BC o carbono elemental, UFP y partículas que se originan de tormentas de arena y polvo, de los cuales se cuenta con poca información para establecer niveles dentro de estas directrices, pero recalca su importancia y la existencia de un riesgo potencial (WHO, 2021b).

A continuación, en la Tabla 10, se presentan las recomendaciones referentes a los niveles establecidos por las directrices, así como las metas intermedias propuestas para los siguientes contaminantes:

Tabla 10.

Niveles estipulados por las directrices para la calidad del aire y sus metas intermedias

Contaminante	Tiempo promedio	Meta intermedia				Niveles de las directrices sobre la calidad del aire
		1	2	3	4	
PM _{2.5} µg/m ³	Anual	35	25	15	10	5
	24 hora ^a	75	50	37.5	25	15
PM ₁₀ µg/m ³	Anual	70	50	30	20	15
	24 horas ^a	150	100	75	50	45
O ₃ µg/m ³	Temporada alta ^b	100	70	-	-	60
	8 horas	160	12	-	-	100
NO ₂ µg/m ³	Anual	40	30	20	-	10
	24 horas ^a	120	50	-	-	25
SO ₂ µg/m ³	24 horas ^a	125	50	-	-	40
CO µg/m ³	24 horas ^a	7	-	-	-	4

Nota. Elaborado a partir de *WHO global air quality guidelines* (p. 5), por WHO, (2021b).

^a Percentil 99 (es decir, 3-4 días de superación por año). ^b Promedio de las concentraciones máximas diarias de O₃ (medias octohorarias) en los seis meses consecutivos con la concentración media móvil de O₃ más alta.

2.2.3.2. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014

A nivel nacional, la NOM-025-SSA1-2014 establece los límites permisibles de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ suspendidas en el medio ambiente, así como las pautas para su evaluación.

Los valores establecidos (Tabla 11) en esta norma se presentan en función de salvaguardar la salud de la población. Por ello, establece los valores límites con

respecto a las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} , los cuales se presentan a continuación (DOF, 2014):

Tabla 11.

Valores límites de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$

Material particulado	Límite promedio de 24 horas	Límite promedio anual
PM_{10}	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$PM_{2.5}$	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Nota. Elaborado a partir de *Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014*, por Diario Oficial de la Federación. (2014). 1–9.

2.2.3.3. *Ley de Protección y Conservación de Árboles Urbanos y Zonas Verdes para el Estado y Municipios de Baja California Sur*

La Ley de Protección y Conservación de Árboles Urbanos y Zonas Verdes para el Estado y Municipios de Baja California Sur tiene como objetivo:

Establecer las disposiciones relativas a la ampliación, protección, manejo, preservación y restitución de las áreas verdes urbanas, palmas y árboles que se emplazan sobre áreas no forestales del estado, a fin de mejorar las condiciones ambientales, contribuyendo a elevar el nivel de vida para el desarrollo de la población (p. 4).

La presente ley determina los límites establecidos en la gestión de arbolado urbano presente en el estado, así como la protección de árboles considerados como patrimoniales que habitan en nuestro entorno.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

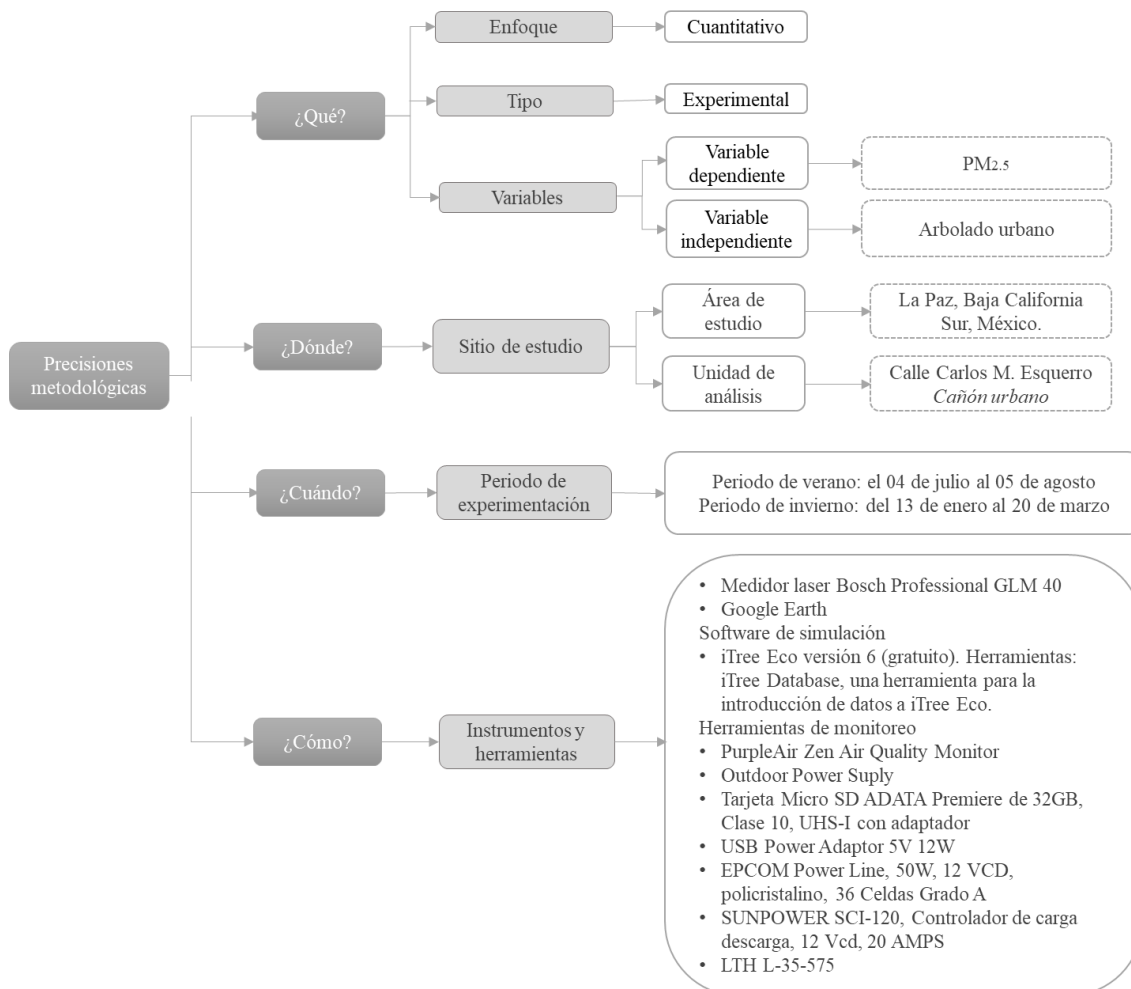
3.1. Diseño de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se considerará un enfoque cuantitativo de tipo cuasiexperimental. El estudio tendrá como finalidad evaluar la efectividad de la implementación de distintas configuraciones de arbolado urbano para la mitigación de PM_{2.5} en un cañón urbano ubicado en el centro de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México, la calle Carlos M. Esquerro.

En la Figura 11 se muestra un diagrama de flujo representativo, en manera de resumen, de las especificaciones correspondientes del proceso metodológico establecido en la presente investigación.

Figura 11.

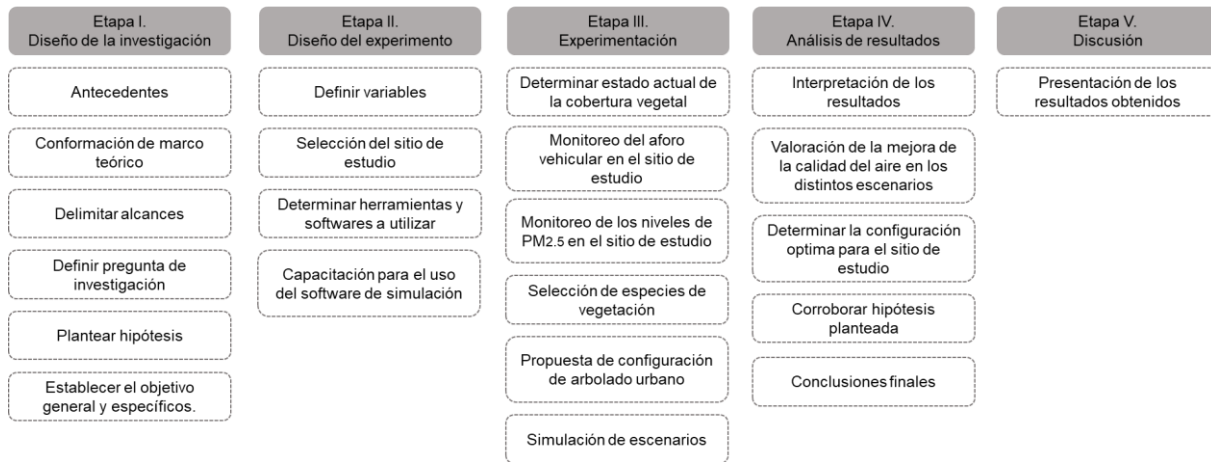
Proceso metodológico



La metodología aplicada para el estudio constará de cinco etapas, las cuales se simplifican en el siguiente esquema (Figura 12).

Figura 12.

Diseño general de la investigación



3.2. Diseño del experimento

3.2.1. Resumen

En el diseño del experimento, a partir de una amplia revisión de la literatura, se precisaron las variables a estudiar: PM_{2.5} como variable dependiente y arbolado urbano como variable independiente.

Para determinar la unidad de análisis se recurrió al empleo de imágenes satelitales y trabajo de campo, donde a partir de una serie de datos recolectados se seleccionó un cañón urbano como objeto de estudio.

Posteriormente, se realizó una visita de campo para determinar el estado actual del sitio de estudio y se elaboró un reporte fotográfico, conformado por imágenes de la especie de vegetación, que incluyen una captura general de la planta, así como de su hoja, tronco, flor, fruto y espinas.

Se seleccionaron las herramientas y el software que se emplearán durante la etapa experimental para la capacitación del uso del mismo.

Se realizó el monitoreo del sitio de estudio desde el 03 de julio al 05 de agosto de 2023 para el periodo de verano, y del 13 de enero al 20 de marzo para el periodo de invierno. Se colocaron dos equipos de monitoreo PurpleAir Zen Air Quality Monitor a una altura de 1.5 m correspondiente a la común de los órganos respiratorios humanos (X. Wang et al., 2020).



De acuerdo con sus características, que determinan su eficiencia para la captación de partículas, así como para su adaptabilidad al entorno, se hará una selección de las especies vegetales para el estudio, donde se priorizarán a las nativas. Se generarán propuestas a partir de un escenario base con distintas configuraciones arbolado urbano, las cuales serán simuladas por medio del software i-Tree Eco.









3.2.2. Herramientas, instrumento o software

En la Tabla 12 se presentan los recursos que serán utilizados para la etapa de experimentación, los cuales están conformados por instrumentos mecánicos y/o electrónicos, el software de simulación y datos secundarios para el correcto funcionamiento de este.

Tabla 12.

Recursos

Instrumento software	o Empleo	URL	Imagen de referencia
i-Tree Eco	Software simulación escenarios	de https://www.itreetools.org/i-tree-tools-download	
i-Tree Database	Aplicación para la alimentación de datos de i-Tree Eco	de https://database.itreetools.org/#/help	

PurpleAir Zen Air Quality Monitor	Dispositivo monitoreo	para	https://www2.purpleair.com/products/purpleair-zen	
Outdoor Power Supply	Complemento dispositivo monitoreo	del de	https://www2.purpleair.com/products/outdoor-power-supply	
Tarjeta Micro SD ADATA Premiere de 32GB, Clase 10, UHS-I con adaptador	MicroSD Card (Formateada)		https://intercompras.com/	
EPCOM Power Line, 50W, 12 VCD, policristalino, 36 Celdas Grado A	Panel solar		https://www.bsai.com.mx/products/	
SUNPOWER SCI-120, Controlador de carga descarga, 12 Vcd, 20 AMPS	Controlador corriente de SUNPOWER	de	https://www.solgratis.mx/producto/producto-demo-6/	
LTH L-35-575	Batería Automotriz		https://www.lth.com.mx/productos/especificaciones-t%C3%A9cnicas/171603	
Bosch Professional GLM 40	Medidor laser		https://www.amazon.com.mx/	
Google Earth	Localización del sitio de estudio	de	https://www.google.com/intl/es-419/earth/	

El software i-Tree Eco tiene una base de datos que abarca información de concentraciones de PM_{2.5} y precipitación, sin embargo, el manual especifica que de ser necesario se pueden incluir datos externos a través de i-Tree Database (USDA Forest Service et al., 2017).

3.2.3. Objeto de estudio

Para la etapa de la selección del área de estudio se realizó una primera búsqueda a través de Google Earth, un sistema de información geográfica que permite la exploración de imágenes satelitales de vialidades y edificación, tanto en 2D como en 3D, de diversas ciudades del mundo (Google, n.d.), donde se llevó a cabo una recopilación preliminar de cañones urbanos que cumplieran con los requisitos establecidos, entre los cuales se encuentran: considerarse un cañón urbano, contar con una sección con cobertura vegetal y otra carente de esta, aforo vehicular constante, espacio suficiente para la implementación de propuestas de vegetación urbana y una estación de monitoreo de calidad del aire cercana.

Como se muestra en la Tabla 13 y la Figura 13, según el cumplimiento de los estándares presentados, la selección final está conformada por las calles:

- Carlos M. Esquerro, entre 16 de septiembre y Agustín Arriola.
- Revolución de 1910, entre Santos Degollado y 16 de septiembre.
- Aquiles Serdán, entre Santos Degollado y Melchor Ocampo.
- 16 de septiembre, entre Revolución de 1910 y Aquiles Serdán.
- Francisco I. Madero, entre 16 de septiembre y Santos Degollado.

Tabla 13.

Características del cañón urbano para su selección

Característica	Cañón urbano				
	Calos M. Esquerro	Revolución de 1910	Aquiles Serdán	16 de septiembre	Francisco I. Madero
Ubicación	Colonia centro	Colonia centro	Colonia centro	Colonia centro	Colonia centro

Otras fuentes	Hotel en construcción	No	No	No	No
Longitud	120 m	105 m	113 m	112 m	135 m
Ancho	18 m	15 m	15 m	9 m	13 m
Niveles	1-4	2	1-2	1-4	1-3
Cobertura vegetal (densidad de copa)	Alta	Media (por tramos)	Baja	Alta y baja	Media
Aforo vehicular	Medio/alto	Medio/alto	Medio/alto	Medio/alto	Medio/alto
Espacio disponible para propuesta de vegetación	5.6 y 5.70 m	4.00 m	3.90 y 3.85 m	4.00 y 3.40 m	3.35 y 3.30 m
Estación de monitoreo de calidad del aire (CERCA)	1150 m	1200 m	1135 m	1270 m	1140 m

Figura 13.

Selección preliminar del sitio de estudio



Nota. Adaptado de [Zona centro, La Paz, Baja California Sur, México], de Google, n.d., <https://earth.google.com/web/>

Se programó una visita de campo a los distintos posibles sitios de estudio con el fin de comprobar que el estado actual de los puntos de selección presentará las condiciones reflejadas en las imágenes satelitales, para finalmente precisar la localización del sitio definitivo.

Además de las características previamente definidas, se consideraron otros parámetros como la accesibilidad y seguridad del sitio, en función de facilitar el proceso de monitoreo en el sitio (Tabla 14). A partir de dicha información, se elaboró un registro comparativo para la selección final del sitio.

Tabla 14.

Análisis comparativo de cañones urbanos

Cañón urbano	Vegetación urbana		Espacio para propuestas de mejora	Aforo vehicular constante	Accesibilidad	Seguridad
	Escasa	Abundante				
Calos M. Esquerro	X	X	X	X	X	X
Revolución de 1910	X		X	X		X
Aquiles Serdán	X		X	X	X	X
16 de septiembre	X	X	X	X	X	
Francisco I. Madero	X			X	X	X

3.2.4. Procedimiento experimental

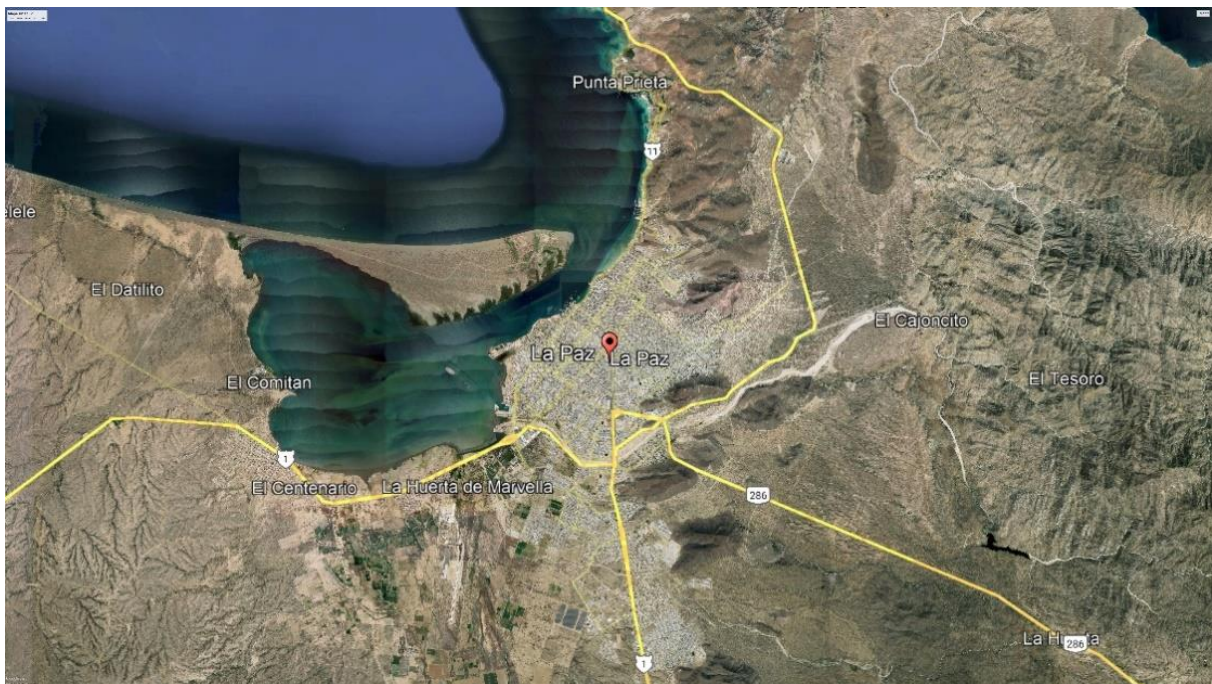
3.2.4.1. Sitio de estudio

3.2.4.1.1. Área de estudio

La investigación se desarrollará en la ciudad de La Paz, capital del estado de Baja California Sur (Figura 14), ubicada en las coordenadas 24°08'55.482" N y 110°18'23.724" W, con una altitud de 31 msnm y una población de 250,141 habitantes (INEGI, 2020).

Figura 14.

Ciudad de La Paz, Baja California Sur, México



Nota. Obtenido de [La Paz, Baja California Sur, México], de Google, n.d., <https://earth.google.com/web/>.

De acuerdo a datos obtenidos del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Centro de Energía Renovable y Calidad Ambiental (CERCA, 2021), actualmente el promedio del Índice de Calidad del Aire (ICA) de las concentraciones de PM_{2.5} en la ciudad es considerado “bueno” de acuerdo a los parámetros establecidos en la NOM-

172-SEMARNAT-2019, sin embargo, existen algunos puntos en la ciudad en los que estas cifras han llegado a parámetros catalogados como “muy malo”.

En la ciudad de La Paz, Baja California Sur, podemos encontrar distintas fuentes de material particulado, tales como transporte urbano, zonas industriales, plantas para la producción de energía eléctrica y las fuentes domésticas, las cuales según la OECD (2019) son algunas de las principales fuentes de contaminación en espacios exteriores. Asimismo, Nowak et al. (2014) demostró que la presencia de áreas verdes en los espacios influye positivamente en la calidad del aire, sin embargo, la ciudad muestra una deficiencia de áreas verdes (H. XVI Ayuntamiento de La Paz, 2018).

3.2.4.1.2. Unidad de análisis

La selección de la unidad de análisis se hizo en función a un criterio, donde se consideraron distintas características: catalogarse como cañón urbano, contar con aforo vehicular constante, tener cobertura vegetal en una sección (arbolado urbano con altura mayor a 1.5 m, correspondiente a la altura respirable del peatón) y otra sección carente de la misma, espacio considerable para la implementación de propuestas de mejora, accesibilidad y seguridad.

A partir de estas premisas, el cañón urbano seleccionado como propuesta de unidad de análisis se encuentra ubicado en la Calle Carlos M. Esquerro (Figuras 15 y 16), ubicada en la zona central de la ciudad. Dicho cañón urbano cuenta con las siguientes características (Tabla 15).

Figura 15.

Vista superior, Calle Carlos M. Esquerro



Nota. Tomado de [Calle Carlos M. Esquerro, La Paz, Baja California Sur, México], de Google, n.d., <https://earth.google.com/web/>.

Figura 16.

Vista de calle, Calle Carlos M. Esquerro



Tabla 15.

Características del sitio

Característica	Descripción
Ubicación	Colonia Centro
Estación	A 1150 m.
Otras fuentes de PM _{2.5}	Hotel en construcción
Longitud	120 m.
Ancho	18 m.
Niveles	1-4
Cobertura vegetal	Alta
Aforo vehicular (percepción)	Medio/alto
Ancho de banqueta (espacio disponible para la implementación de propuestas)	5.60 y 5.70 m.
Vegetación	<ol style="list-style-type: none"> 1) 4 ejemplares de <i>Pachycereus pringlei</i> (cardón). 2) 2 ejemplares de <i>Agave capensis</i> (mezcal). 3) 1 ejemplar de <i>Tamarindus indica</i> (tamarindo). 4) 23 ejemplares de <i>Washingtonia robusta</i> (palma Washingtonia). 5) 2 ejemplares de <i>Jacaranda mimosifolia</i> (jacaranda). 6) 12 ejemplares de <i>Bucida buceras</i> (olivo negro). 7) 13 ejemplares de <i>Ficus benjamina</i> (laurel llorón). 8) 2 ejemplares de <i>Schinus terebinthifolius</i> (aroeira-pimentera).

Nota. Los cuatro ejemplares de *Pachycereus pringlei* y los dos ejemplares de *Agave capensis* fueron retirados a mediados de la investigación.

Existe una ausencia de fuentes de contaminación distintas al tráfico (fabricas, termoeléctricas, cementeras, etc.) en el sitio para evitar la intervención de otras fuentes importantes de PM_{2.5}, como el sector industrial, la producción de energía eléctrica o la agricultura, por lo que el tráfico vehicular es la fuente primaria de contaminación por partículas.

3.2.4.2. *Análisis de cobertura vegetal*

Se realizó un inventario de la vegetación en la zona, donde el sitio de estudio se caracteriza por tener áreas con distinta cobertura vegetal; el lado uno (24° 9'44.87"N,

110°19'1.02"O) con una cobertura vegetal del 35 % respecto a su longitud y el lado dos (24° 9'44.60"N, 110°19'0.69"O) con una cobertura de 60 % (Figura 17).

Figura 17.

Cobertura vegetal en la calle Carlos M. Esquerro



Nota. Adaptado de [Calle Carlos M. Esquerro, La Paz, Baja California Sur, México], de Google, n.d., <https://earth.google.com/web/>.

Se realizó una visita de campo el día 8 de abril del 2023 y se tomaron fotografías de cada una de las plantas que habitan la zona, para su posterior caracterización taxonómica (género y especie) de acuerdo a sus atributos morfológicos generales (forma, tamaño, color, follaje, adaptaciones), así como su estado fenológico (flor, fruto). Esto ayudó a recopilar la información necesaria para su próxima identificación. En una segunda revisión al 15 de enero del 2024, el estatus de la cobertura vegetal cambió. Los cuatro ejemplares de *Pachycereus pringlei* y los dos ejemplares de *Agave capensis* fueron retirados de su sitio, por lo que la etapa de experimentación omitirá los datos en función de contar con el estado del sitio actualizado.

3.2.4.3. Definición de las configuración y conformación de escenarios

3.2.4.3.1. Características de arbolado urbano

A partir de la revisión de la literatura se determinaron las características óptimas del uso de arbolado para la disminución de PM_{2.5} en el ambiente en cañones urbanos, las cuales se enlistan en la Tabla 16.

Tabla 16.

Características del arbolado urbano

Autor	Cañón urbano (dimensiones)	Vegetación		Hallazgos
		Dimensiones	Especies	
(Grylls & van Reeuwijk, 2022)	32hx32w	500lx12wx19h	N/M	Mejora de hasta en un 49% en calles tranquilas, sin embargo, en calles muy transitadas ejerce el efecto contrario.
(Liu et al., 2022)	Calle amplia	3w 7w 5h 10h 15h	<i>Canela Ancaflor</i> <i>Magnolia grandiflora</i> <i>Prunus cerasifera</i> <i>Fotinia china</i> <i>Ophiopogon japonicus</i>	Desde la perspectiva de una buena ventilación, la altura de los árboles al borde de la carretera no debe ser demasiado alta y el ancho de la copa no debe ser demasiado grande. Sin embargo, solo cuando el diámetro de la copa y el ancho de los árboles al borde de la

				carretera están en una cierta escala, las plantas pueden desempeñar mejor su papel de sedimentación, retardo, adhesión y absorción de la contaminación PM _{2.5} del tráfico.
(J. Wang et al., 2021)	N/M	N/M	<i>Cinnamomum camphora</i> , <i>Platanus acerifolia</i> <i>Pterocarya stenoptera</i> .	Un rango de densidad de dosel entre el 24 % al 36 % es beneficioso para la reducción de PM _{2.5} .
(L. Li et al., 2023)	N/M	La altura de los árboles fue de 10 m, el intervalo del dosel fue de 2 m y un gran ancho de copa que se extiende desde el suelo hasta la cima con un LAD de 3 a 4 m ² /m ³ .	N/M	Los árboles redujeron la concentración de PM _{2.5} en el lado de barlovento.
(Hong et al., 2017)	H/W = 0.5 (cañones de calles poco profundos). H/W = 1.0 (cañones callejeros simétricos). H/W = 2.0 (cañones callejeros profundos)	LAD de 0.5, 1.5 y 2.5 m ² /m ³ .	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> × <i>F. velutina</i> , <i>Sophora japonica</i> y <i>Populus tomentosa</i> , con morfologías de copa cónica, esférica y cilíndrica, respectivamente.	Un LAD más alto aumenta el flujo inverso y disminuye la velocidad del aire. Además, la relación de reducción máxima se clasificó de menor a mayor en orden de

marquesinas
cónicas,
esféricas y
cilíndricas.

Un escenario de
H/W = 1.0 y LAD
= 1.5 se identifica
como la
combinación
óptima para
reducir las
concentraciones
de PM_{2.5} a nivel
de peatones.

(Liu & N/M
Zheng,
2023)

Modelo 1= 42
árboles de 10
m de altura y
de 6 a 9 m de
distancia entre
ellos.

*Cinnamomum
camphora.*

*Osmanthus
fragrans.*

*Ligustrum
lucidum.*

Modelo 2= 26
árboles de 10
m de altura y
de 9 a 12 m de
distancia entre
ellos.

*Hypericum
monogynum L.*

Modelo 3= 71
árboles de 10 y
5 m de altura y
de 3 m de
distancia entre
ellos.

Modelo 4= 55
árboles de 5 m
de altura y de 6
m de distancia
entre ellos.

Modelo 5= 26
árboles de 15
m de altura y
de 9 a 12 m de
distancia entre
ellos.

Una distancia
moderada entre
los árboles de la
calle favorece la
dispersión de
contaminantes.

Los árboles de 5
m no tienen gran
impacto negativo
en la dispersión
del viento y las
concentraciones
de PM_{2.5} son
relativamente
bajas. La
concentración de
PM_{2.5} en el cañón
de la calle es
generalmente
mejor cuando los
árboles de la
calle tienen 5 m
de altura.

3.2.4.3.2. Selección de especies

En relación con las características de las especies vegetales, los árboles y arbustos de hoja perenne son los dominantes para la retención de $PM_{2.5}$. Así mismo, se encontró que una mayor proporción de surcos o estomas de mayor tamaño aumentan la probabilidad de que la hoja capture partículas finas (Wu et al., 2021). Por su parte, Su et al. (2021) encontraron que las hojas compuestas y rugosas retuvieron una gran cantidad de $PM_{2.5}$ en su superficie. En cuanto a la tolerancia a la luz, las especies resistentes a la sombra capturarán más partículas que las especies que exigen luz. Además, las especies con hojas “caras” (alto N o P en las hojas) son más efectivas en la captura de $PM_{2.5}$ (K. Zhao et al., 2022). Otros estudios han revelado que los tricomas en las hojas benefician la velocidad de deposición seca de $PM_{2.5}$, también, una mayor densidad de tricomas permite una mayor velocidad de deposición de partículas. Adicionalmente, una relación de aspecto de hoja más baja, pecíolos más cortos y una mayor desviación fractal de la hoja se asociaron con una mayor velocidad de deposición seca (X. Zhang et al., 2021). Las especies con un patrón de conglomerados pequeños y densamente dispuestos tiene mayor efecto en la reducción de $PM_{2.5}$ y PM_{10} que el patrón de conglomerados grandes y escasamente dispuestos. Del mismo modo, se descubrió que la superficie plegada y porosa tiene un efecto más significativo en la reducción de $PM_{2.5}$ y PM_{10} que otras superficies (T. Lee et al., 2021).

A partir de estas premisas, se seleccionaron los datos a considerar para la selección de especies en función a los alcances y limitaciones de este proyecto. A continuación, en la Tabla 17 se reportan las condiciones establecidas:

Tabla 17.

Características para considerar en la selección de especies

Característica	Fuente de información	Descripción
i-Tree Database	i-Tree Database	Presencia en la base de datos del software
Tipo de hoja	Referencia bibliográfica	Perenne o caducifolio
Altura máxima	Referencia bibliográfica	Dimensión en metros

Surcos	Observación directa	Presencia de característica
Hojas compuestas	Observación directa	Presencia de característica
Hojas rugosas	Observación directa y referencia bibliográfica	Presencia de característica
Tricomas	Observación directa y referencia bibliográfica	Presencia de característica
Pecíolos cortos	Referencia bibliográfica	Dimensión en centímetros
Dimensiones de la hoja	Referencia bibliográfica	Dimensión en centímetros
Datos adicionales	Referencia bibliográfica	Otros datos

3.2.4.4. *Monitoreo en sitio de los niveles de PM_{2.5}*

3.2.4.4.1. *Periodo de estudio*

Para el desarrollo del monitoreo en sitio, se consideraron dos periodos, verano e invierno. Por limitantes en el tiempo, se estudiarán por un periodo de tres meses, uno por el verano y dos por el invierno.

Esto se determinó con base a los resultados obtenidos por autores como Ezhilkumar et al. (2022), quienes al realizar un estudio de la influencia de los cambios estacionales en las concentraciones de PM_{2.5} en cañones urbanos encontraron que la tendencia de concentración vertical de PM tiende a ser significativa durante las temporadas de invierno y verano. Además, autores como Y. Zhang et al. (2020) estipulan que hay un aumento del 10 % en PM_{2.5} en verano (principalmente durante la noche). Por otra parte, otros estudios encontraron que en áreas urbanizadas, los efectos de las concentraciones de PM_{2.5} en invierno fueron más significativos que en verano (Lin et al., 2020).

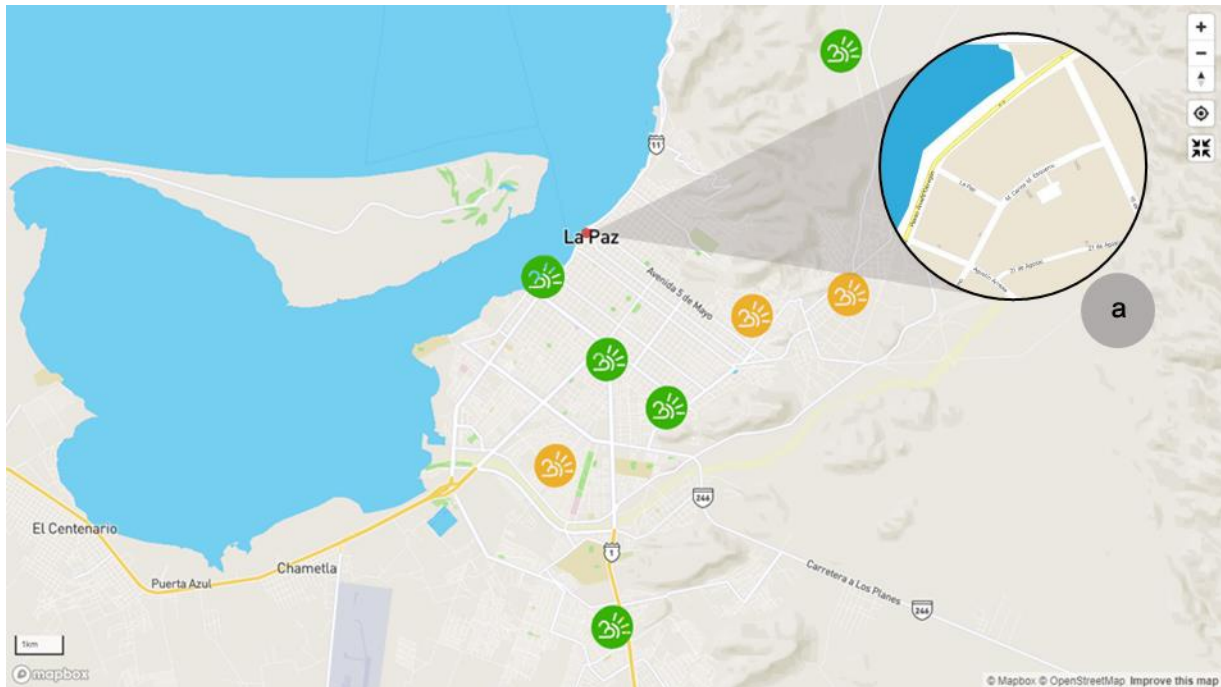
3.2.4.4.2. *Recolección de datos por monitoreo en sitio*

Actualmente, la ciudad de La Paz, B.C.S. cuenta con 8 estaciones de monitoreo reportadas por CERCA (Figura 18), que cuentan con datos por hora de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ en el ambiente, sin embargo, el radio de cobertura

de las estaciones es mayor a 1 km, por lo que se debió prescindir de su uso al no ser aptas como fuente secundaria y optarse por el monitoreo en sitio con el fin de obtener datos aplicables al área de estudio.

Figura 18.

Estaciones de monitoreo reportadas por CERCA



Nota. Obtenido de [Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire], por CERCA, recuperado el 07 de agosto de 2023 de <https://airelimpiobcs.org.mx/>. ^a Ubicación del sitio de estudio.

Para la recolección de datos de PM_{2.5} se contó con dos equipos monitoreo conformados por un PurpleAir Zen Air Quality Monitor (Tabla 18) y un Outdoor Power Supply, los cuales fueron colocados en dos estaciones, una con escasa vegetación urbana y otra con abundante.

Tabla 18.

Especificaciones técnicas del PurpleAir Zen Air Quality Monitor

Especificaciones técnicas		
PurpleAir Zen Air Quality Monitor cuenta con dos detectores de partículas para asegurar la calidad de sus lecturas y ayudar a determinar el estado del sensor.		
Contadores de partículas láser	Tipo	PMS-6003 (2)
	Rango de medida	0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, & 10 μm
	Eficiencia de conteo	50% at 0.3 μm & 98% at $\geq 0.5\mu\text{m}$
	Alcance efectivo (estándar PM2.5)	0 to 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Alcance máximo (estándar PM2.5)	$\geq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Error de consistencia máximo (estándar PM2.5)	$\pm 10\%$ at 100 to 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ at 0 to 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Volumen estándar	0.1 litro
	Tiempo de respuesta único	≤ 1 segundo
	Tiempo total de respuesta	≤ 10 segundos
Registrador de tarjeta SD incorporado	Tarjeta SD	Tarjeta micro SD ^a
		Acepta tarjetas microSD de hasta 64 GB
	Formato de tarjeta SD	FAT32

Nota. Elaborado a partir de *PurpleAir Zen Air Quality Monitor*, por PurpleAir Inc., (n.d.), PurpleAir. ^a Se incorporó una tarjeta SD marca ADATA de 32 GB.

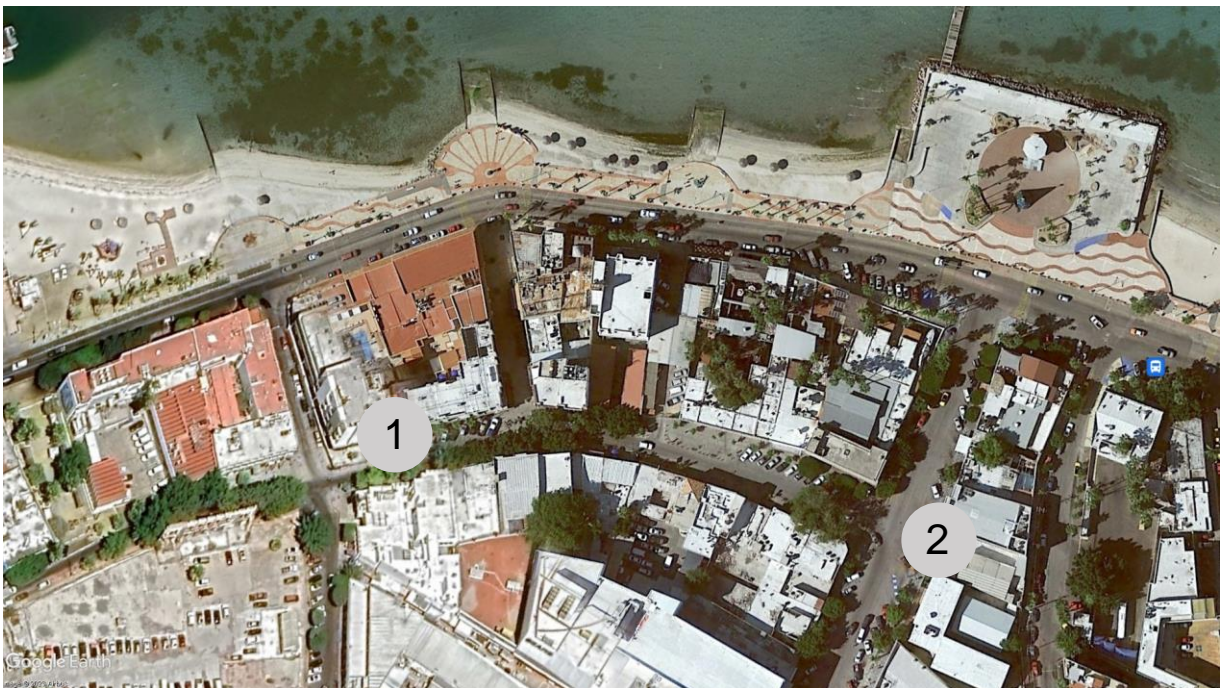
La primera estación fue el Hotel Perla, una obra en estatus de pausado (durante el monitoreo), ubicada en la calle Carlos M. Esquerro y Agustín Arriola M (Figura 20). Con abundante vegetación. Si bien, el hotel cuenta con seguridad e iluminación las 24 horas del día, no fue posible disponer de energía eléctrica, por lo que fue necesario

adaptar un sistema de panel solar que permitiera el suministro de energía para la colocación de este equipo.

La segunda estación, considerada como sitio de referencia, corresponde al estacionamiento propiedad de la Cámara de Comercio, Servicios y Turismo de La Paz (CANACO), ubicado en la calle 16 de septiembre y Carlos M. Esquerro (Figura 19). Con escasa vegetación. Dicho estacionamiento cuenta conexión disponible al exterior para el suministro de energía eléctrica para el equipo, además de una casilla de servicios abierta de 8:00 am a 10:00 pm con iluminación las 24 horas.

Figura 19.

Ubicación de PurpleAir Zen Air Quality Monitor



Nota. Adaptado de [Calle Carlos M. Esquerro, La Paz, Baja California Sur, México], de Google, n.d., <https://earth.google.com/web/>.

3.2.4.4.2.1. Monitoreo de periodo de verano

- Hotel Perla

El equipo fue instalado el día 03 de julio de 2023, a las 19:01 hora local. Se colocó un equipo PurpleAir Zen Air Quality Monitor (Figura 20). En esta estación no se contó con energía eléctrica, por lo que, como se muestra en la Figura 21, fue necesario la instalación de un módulo solar EPCOM Power Line, 50W, 12 VCD, policristalino, 36 celdas grado A (Figura 22 y Tabla 19), el cual fue conectado por medio de un cable USB a mini USB de uso rudo (en sustitución del Outdoor Power Supply) a un adaptador de 5V a 3A acoplado a una caja eléctrica que contiene un controlador de corriente SUNPOWER (Figura 23 y Tabla 20), finalmente este fue conectado a una batería automotriz LTH (Figura 24). Si bien, la altura ideal para la colocación del dispositivo es de 1.5 m, correspondientes a la altura de respiración (X. Wang et al., 2020), por cuestiones de seguridad se optó por colocarlo a 2.7 m de altura (Figura 25). El equipo fue desconectado el 15 de agosto de 2023 a las 14:23 hora local.

Figura 20.

PurpleAir Zen Air Quality Monitor Hotel Perla



Figura 21.

Instalación de panel fotovoltaico en la estación Hotel Perla

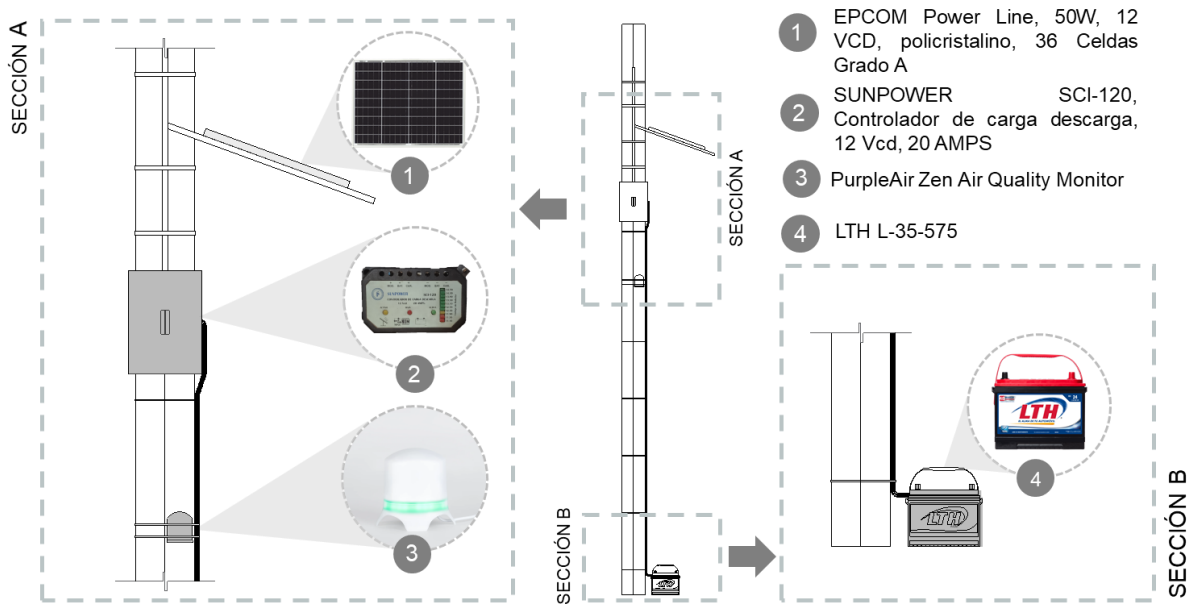


Figura 22.

Módulo solar EPCOM Power Line



Tabla 19.

Especificaciones técnicas del módulo solar EPCOM Power Line

Especificaciones Técnicas	
Potencia máxima	50 W
Voltaje	18 V
Amperaje	2.77 A
Voltaje a circuito abierto	22.2 V
Corriente a corto circuito	3.96 A
Dimensiones	530 x 660 x 25 mm
Peso	3.5 kg
Temperatura ambiente	-40 a 80 °C
Máximo voltaje del sistema	600 V

Nota. Elaborado a partir de *Modulo Solar EPCOM POWER LINE, 50W, 12 Vcc , Policristalino, 36 Celdas grado A*, por SYSCOM, (n.d.), SYSCOM.

Figura 23.

Controlador de corriente SUNPOWER



Tabla 20.

Especificaciones técnicas del controlador de corriente SUNPOWER

Especificaciones Técnicas	
Voltaje	20 V
Amperaje	12 A

Nota. Elaborado a partir de *CONTROLADOR DE CORRIENTE SUNPOWER*, por Solgratis, (n.d.), Solgratis, Equipos de Energía Renovable.

Figura 24.

Batería automotriz LTH



Figura 25.

Instalación de PurpleAir Zen Air Quality Monitor Hotel Perla



- Estacionamiento CANACO

El monitoreo dio inicio el día 03 de julio del 2023, a las 19:47 hora local. Se utilizó un segundo equipo PurpleAir Zen Air Quality Monitor (Figura 26), conectado por medio de un Outdoor Power Supply (Figura 27) a una salida eléctrica proporcionada por la institución. Adicionalmente, fue necesario contar con una extensión eléctrica doméstica y una calavera que permitiera conectar la extensión a la salida eléctrica de una luminaria, puesto que no se cuenta con una conexión directa. Para una mayor seguridad y practicidad, el equipo fue instalado a una altura de 3.5 m (Figura 28). El equipo fue desconectado el 15 de agosto de 2023 a las 15:51 hora local.

Figura 26.

PurpleAir Zen Air Quality Monitor CANACO



Figura 27.

Outdoor Power Supply CANACO



Figura 28.

Instalación de PurpleAir Zen Air Quality Monitor CANACO



3.2.4.4.2.2. *Monitoreo de periodo de invierno*

- Hotel Perla

Durante el periodo de otoño, la obra, que en el periodo de verano se encontraba pausada, se retomó, por lo que las condiciones del espacio se modificaron y se imposibilitó retomar las actividades en este punto.

- CANACO

El día 13 de enero de 2024, a las 10:41 hora local, se retomó en monitoreo en el estacionamiento CANACO. Se instaló el equipo bajo las mismas condiciones que en el periodo de verano en esta estación. El equipo fue desconectado el 20 de marzo de 2024 a las 23:58 hora local.

3.2.4.5. *Modelo i-Tree Eco para la simulación de escenarios*

I-Tree es un software dedicado al cálculo de la estructura forestal, los servicios ecosistémicos que provee, los valores y riesgos relacionados con bosque urbano y la población. Para lograr este objetivo, i-Tree cuenta con una serie de herramientas para la realización de proyectos a nivel global, que abarcan tanto zonas rurales como urbanas. Entre las herramientas que ofrece destaca i-Tree Eco un programa computacional diseñado para el empleo de datos de muestras o inventarios completos de vegetación reunidos en campo, datos meteorológicos y de contaminación del aire locales por hora con el fin de estudiar la estructura, la salud, los posibles riesgos y los servicios y valores de servicios ecosistémicos los árboles. El programa provee al usuario de distintos datos como el número de árboles, distribución de diámetros, diversidad de especies, posibles amenazas de plagas, especies invasoras, eliminación de la contaminación del aire, impactos en la salud, almacenamiento y secuestro de carbono, disminución de la escorrentía de aguas pluviales, emisiones de COV y el impacto en el uso de energía de los edificios (D. J. Nowak, 2021).

3.2.4.5.1. Método de i-Tree Eco

A fin de lograr el objetivo de cuantificar los servicios y el valor de los servicios forestales, i-Tree Eco desarrolla un proceso básico interno constituido por cuatro pasos (Figura 29):

Figura 29.

Diagrama del proceso básico de i-Tree Eco



Nota. Elaborado a partir de *Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods*, por Nowak. (2021). USDA FOREST SERVICE.

Paso 1: La estructura se compone de la información básica sobre el recurso forestal físico del área de interés, como el número de árboles, composición de especies, dimensión y ubicación de del árbol, área foliar, etc. Dichos rasgos son medidos por los usuarios o estimados por i-Tree Eco en función de medidas directas de la estructura.

Paso 2: A partir de los datos de la estructura obtenidos, además de los datos ambientales, como los datos meteorológicos, se precisan diversas funciones de los árboles, que incluyen el intercambio de gases, crecimiento de los árboles, entre otros.

Paso 3: Las funciones se convierten en varios servicios con base a otros datos locales (por ejemplo, la eliminación de contaminantes en función de las concentraciones de contaminación del área estudiada).

Paso 4: Posteriormente, estos servicios se transforman en beneficios, como la purificación del aire, beneficios a la salud humana, en función de otros datos, por ejemplo, condiciones atmosféricas locales, datos de población humana, etc.

Finalmente, los beneficios se convierten en valores fundamentados en diversos procedimientos económicos, los cuales son cuantificados (D. J. Nowak, 2021).

3.2.4.5.2. Planificación del proyecto

Previo a la aplicación del método de i-Tree Eco, se deben determinar las bases para el desarrollo del proyecto, esto se propone a través de una serie de preguntas que permitirán decidir el tipo de muestreo para la recopilación de datos de campo (Figura 30) (USDA Forest Service et al., 2017).

Figura 30.

Árbol de decisión i-Tree Eco



Nota. Elaborado a partir de *i-Tree Eco. Manual de Usuario* (p. 7), por USDA Forest Service et al. (2017).

I-Tree Eco tiene la capacidad de realizar análisis a diversas escalas: ciudad, barrio, parque o incluso un jardín (USDA Forest Service et al., 2017). A continuación, la Tabla 21 muestra una comparación de las características de un inventario completo y un inventario de muestreo basado en la parcela, que funcionan como base para la toma de decisiones.

Tabla 21.

Comparación de empleo de muestras o inventarios completos

Características	Muestra	Completo
Área recomendada	Ciudad o más grande	Sin restricción
Número de parcelas	200 o más	No aplicable
Número típico de árboles	Más de 200	Sin restricción
Acceso	Usualmente numerosos permisos son requeridos	Algunos permisos son requeridos
Exactitud	Algo de pérdida de exactitud debido al error de muestreo.	Sin error de muestreo, todos los árboles de interés son medidos
Resultados	Estimaciones ampliadas a toda el área de interés	Estimaciones solo para los árboles medidos

Nota. Elaborado a partir de i-Tree Open Academy Summer 2023 Session 5: i -Tree Eco [Video], por USDA Forest Service. (06 de septiembre de 2023).

Para efectos del presente proyecto, la escala utilizada fue cañón urbano, considerada una escala pequeña, con un número limitado de árboles, por lo cual es posible el desarrollo de un inventario completo.

3.2.4.5.3. Recopilación de datos

El desarrollo del proyecto Eco en i-Tree requiere de algunos datos del sitio de estudio, entre los cuales se encuentran:

- Información de especies
- Información del sitio de estudio
- Datos de precipitación
- Datos de contaminación

Si bien, parte de esta información está contenida en i-Tree Eco para sitios de estudio ubicados en países como Estados Unidos, Australia, Canadá, México y el Reino Unido,

de ser necesario podrán incorporarse datos propios adicionales y enviarlos a través de la aplicación i-Tree Database (USDA Forest Service et al., 2017).

3.2.4.5.3.1. Información de especies

Nowak (2021) desarrolló el manual Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods, donde define a un árbol como una planta leñosa con un diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) mayor o igual a 2.54 cm en el tronco, referente a la toma de medida a 1.30 m. Por su parte, un arbusto se refiere a una planta leñosa con un d.a.p. menor a 2.54 cm. Adicionalmente, dicho manual plantea las variables necesarias para el correcto funcionamiento del software (Tabla 22).

Tabla 22.

Variables centrales del árbol utilizadas en i-Tree Eco

Variables		Descripción
Especies		Identificar y registrar los nombres de especies y géneros de cada árbol.
d.a.p.		Medida exacta o categorías del diámetro del tallo del árbol a la altura del pecho (1.30 m) por cada árbol.
Altura total del árbol		Altura desde el suelo hasta la copa (viva o muerta) del árbol.
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Altura desde el suelo hasta la copa viva del árbol.
	Altura a la base de la copa	Altura desde el suelo hasta la base de la copa viva.
	Ancho de la copa	El ancho de la corona en dos direcciones: norte-sur y este-oeste.
	Falta del porcentaje de corona	Porcentaje del volumen de la copa que no está ocupado por ramas y hojas.
Muerte regresiva de la corona		Estimación del porcentaje del volumen de la copa que está compuesto por ramas muertas.

Exposición a la luz de la corona		Número de lados del árbol que reciben luz solar desde arriba (máximo 5).
Energía	Dirección	Dirección del árbol a la parte más cercana del edificio.
	Distancia	Distancia más corta desde el árbol hasta la parte más cercana del edificio.

Nota. Las variables pueden cambiar según los resultados que se desean obtener. Elaborado a partir de *Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods* (p. 20), por Nowak. (2021). USDA FOREST SERVICE.

Por otra parte, también se encuentran las variables estructurales secundarias procedentes de cálculos en i-Tree Eco generadas a partir de las variables centrales ya mencionadas, las cuales son el área foliar, la biomasa foliar, el índice de área foliar y la biomasa total del árbol. Las características medidas directamente y las variables calculadas sirven para estimar los servicios ecosistémicos que proveen (Figura 31).

Figura 31.

Resumen “características medidas directamente en campo se utilizan para estimar variables derivadas y servicios ecosistémicos”

	Medidas directas	Variables derivadas		Servicios ecosistémicos										
		Área foliar	Biomasa foliar	Almacenamiento de carbono	Secuestro bruto de carbono	Secuestro neto de carbono	Efectos energéticos	Eliminación de la contaminación del aire	Escorrentía evitada	Transpiración	Emisiones de COV	Valor compensatorio	Idoneidad para la vida silvestre	Efectos UV
Datos de árbol	Especies	D	D	D	D	D	D	I	I	I	D	D		
	Diámetro a la altura del pecho (d.b.h.)			D	D	D						D	D	
	Altura total	D	D	C	C	C	D	I	I	I	I		D	
	Altura de la base de la corona	D	D	C				I	I	I	I			
	Ancho de corona	D	D	C				I	I	I	I			
	Exposición a la luz de la corona			C	D	D								
	Falta el porcentaje de corona	D	D	C	C	C	D	I	I	I	I			
	Salud de la corona (condición/muerte regresiva)				D	D						D	D	
	Uso de la tierra del campo				D							D	D	
	Distancia al edificio						D							
Dirección al edificio						D								
Datos de parcela	Porcentaje de cobertura arbórea						D	D	D				D	D
	Porcentaje de cobertura de arbustos							D					D	
	Porcentaje de cobertura de arbustos						D							
	Composición de la cobertura del suelo							I					D	

Nota. Adaptado a partir de *Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods* (p. 22), por Nowak. (2021). USDA FOREST SERVICE. D= utilizado directamente; I= usado indirectamente; C= usado condicionalmente.

Aun cuando i-Tree Eco cuenta con información de más de 6500 especies de árboles y arbustos, de ser requerido el ecosistema i-Tree cuenta con i-Tree Database, un sistema en línea diseñado para la integración de datos de contaminación y del tiempo, información del lugar, información de especies no incluidas en el modelo original, además de otros requisitos necesarios para el desarrollo del modelo Eco (USDA Forest Service et al., 2017).

Para la integración de nuevas especies es necesario contar con algunos requisitos que a continuación son mostrados en la Tabla 23.

Tabla 23.

Campos de especies para la base de datos i-Tree Eco

Campo	Requerido	Descripción
Nombre del género	X	Nombre del género de la especie. Se utiliza para establecer el rango taxonómico.
Nombre de la especie	X	Nombre de la especie. Se utiliza para establecer el rango taxonómico.
Familia	X	Nombre familiar de la especie. Se utiliza para establecer el rango taxonómico.
Orden	X	Nombre del orden de la especie. Se utiliza para establecer el rango taxonómico.
Clase	X	Nombre de clase de la especie. Se utiliza para establecer el rango taxonómico.
Nombre común	X	Nombre común de las especies.
Forma de crecimiento	X	Forma de vida esperada de las especies si se encuentran en un entorno natural.
Porcentaje de tipo de hoja	X	Hoja característica de la especie. Se utiliza para informar la densidad de las hojas.
Tipo de hoja	X	Hoja característica de la especie. Se utiliza para informar si se caen las hojas y cuándo.
Tasa de crecimiento		Tasa de crecimiento del diámetro esperada, en pulgadas por año, de las especies. OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, se asumirá una tasa de crecimiento "moderada".
Longevidad		Esperanza de vida, en años, de las especies. OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, se asumirá una longevidad "moderada".
Altura a la madurez		Altura esperada en la madurez, en pies, de la especie. OPCIONAL: Si no se ingresa

ningún valor, se asumirá una altura de 50 pies.

Continente nativo

Continente(s) donde se encuentra la especie de forma natural. OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, el rango nativo se considerará desconocido.

Nota. Elaborado a partir de *Eco guide to international projects* (p. 20), por USDA Forest Service. (2016a). USDA FOREST SERVICE.

Aun cuando solo los cambios requeridos son obligatorios, a mayor información mayor será la exactitud del modelo (USDA Forest Service, 2016).

3.2.4.5.3.2. Información del sitio de estudio

i-Tree Eco tiene información de diversos sitios ubicados en EE. UU., Australia, Canadá, México, Corea del Sur, Colombia y gran parte de Europa, sin embargo, nuevas localizaciones pueden ser agregadas a través de i-Tree Database. La información de ubicación permite calcular estimaciones de los beneficios proporcionados por los árboles y arbustos en entornos urbanos.

La Tabla 24 especifica los datos necesarios para el ingreso de una nueva ubicación por medio de i-Tree Database.

Tabla 24.

Campos de ubicación para la base de datos i-Tree Eco

Campo	Requerido	Descripción
Continente	X	Nombre del continente de la ubicación
País	X	Nombre de la nación de la ubicación.
Tipo de ubicación	X	Tipo de ubicación (es decir, división administrativa).
Nombre de ubicación	X	Nombre de la ubicación.
Divisa	X	Moneda principal, o unidad monetaria, utilizada en el lugar.

Latitud	X	Latitud, en grados decimales, del punto central de la ubicación.
Longitud	X	Longitud, en grados decimales, del punto central de la ubicación.
Elevación	X	Elevación, en metros, del punto central de la ubicación.
Región climática	X	Región de EE. UU. cuyo clima es más similar al clima del lugar. Se utiliza para estimar los efectos energéticos locales.
Emisiones de electricidad		Cantidad de dióxido de carbono (CO ₂), en kilogramos, emitida por kWh de electricidad utilizada en el lugar. OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, se utilizará el promedio nacional de EE. UU.
Temperatura mínima media		Temperatura mínima diaria promedio a largo plazo, en grados Fahrenheit, observada localmente. OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, se estimará un valor en función de la latitud y la longitud.
Hoja el día del año		Día del año (1-365) en primavera en el que finalizan las heladas localmente. OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, se estimará un valor en función de la latitud y la longitud.
Día sin hojas del año		Día del año (1-365) en otoño en el que comienzan localmente las heladas. OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, se estimará un valor en función de la latitud y la longitud.
Desplazamiento GMT		Diferencia, en horas, entre la hora local y la hora media de Greenwich (GMT) (el horario de verano no está incluido). OPCIONAL: Si no se ingresa ningún valor, se estimará un valor en función de la latitud y la longitud.
Temperaturas cálidas	X	Seleccione <i>Sí</i> si las temperaturas máximas promedio de verano son superiores a 25°C

Lluvia abundante	X	Seleccione <i>Sí</i> si la cantidad de lluvia es superior a 1000 milímetros al año.
Vegetación abundante	X	Seleccione <i>Sí</i> si la vegetación cubre el 50% o más del área terrestre.
Nieve	X	Seleccione <i>Sí</i> si la nevada promedio es de 10 centímetros o más al año
Estado del ozono	X	Estado de EE. UU. cuya profundidad de ozono es más similar a la profundidad de ozono de la nueva ubicación.

Nota. Elaborado a partir de *Eco guide to international projects* (p. 21-22), por USDA Forest Service. (2016a). USDA FOREST SERVICE.

3.2.4.5.3.3. Datos de meteorológicos

Si no se cuenta con información previamente cargada en i-Tree Eco, la precipitación debe ingresarse a través de datos horarios en metros en formato Excel para un año calendario completo. i-Tree Database cuenta con una plantilla para garantizar el uso de un formato de datos adecuado al software. Para ingresar los datos de precipitación es necesario suministrar información a los siguientes campos (Tabla 25):

Tabla 25.

Campos de precipitación para la base de datos i-Tree Eco

Campo	Requerido	Descripción
Continente	X	Nombre del continente de la ubicación para la cual se agregan datos de precipitación.
País	X	Nombre de la nación de la ubicación para la que se agregan datos de precipitación.
Estado	X	Partición primaria (por ejemplo, estado, provincia o territorio) nombre de la ubicación para la cual se agregan datos de precipitación
Año	X	Año calendario en el que se recopilaron nuevos datos de precipitación

Estación meteorológica	X	Estación meteorológica a la que se agregarán datos de precipitación
Datos de precipitación	X	Archivo que contiene nuevos datos de precipitación que se cargarán

Nota. Elaborado a partir de *Eco guide to international projects (p.23)*, por USDA Forest Service. (2016a). USDA FOREST SERVICE.

3.2.4.5.3.4. Datos de contaminación

Al igual que los datos de precipitación, de ser necesario, las cifras de contaminación deben enviarse por cada hora en formato Excel para un año calendario completo a través de una plantilla en i-Tree. No es necesario contar con datos de todos los contaminantes, solo los datos que se emplearán.

Para proporcionar datos sobre la calidad del aire se debe contar con un formato preestablecido de Excel (Tabla 26), la información deberá contar con datos relacionados con los niveles de contaminación en el ambiente y de la fecha en las que estos se presentan (Tabla 27).

Tabla 26.

Requisitos de formato para la plantilla de contaminación

Columna	Nombre de la columna	Formato	Descripción	Requerimientos
A	YEAR	Número	Año en que se registraron los datos.	Debe ser 2005-2013 y coincidir con el año de los datos meteorológicos que se utilizarán.
B	MES	Número	Mes del año en que se registraron los datos.	No se puede editar. Debe ser 1-12.
C	SPNAME	Texto	Nombre del contaminante.	No se puede editar. Debe ser: • CO para monóxido de carbono.

- NO₂ para dióxido de nitrógeno.
- O₃ para ozono.
- PM_{2.5} para partículas de menos de 2.5 micrones.
- SO₂ para dióxido de azufre.

D	CITYNAME	Texto	Nombre de la ciudad donde se encuentra el monitor de contaminación.	No debe dejarse en blanco; si se desconoce el nombre de la ciudad, complete con una letra (por ejemplo, X).
E	ADDR	Texto	Dirección del monitor de contaminación.	No debe dejarse en blanco; si se desconoce la dirección, complete con una letra (por ejemplo, X).
F	UNITS	Número	Unidades de la contaminante.	Debe ser: <ul style="list-style-type: none"> • 1 para microgramos por metro cúbico (µg/m³). • 7 para partes por millón (ppm).
G	QUANTITY	Número	Valor de la medida en unidades dadas en la Columna F.	Los valores faltantes deben ingresarse como -999
H	DAY	Número	Día del mes en que se registraron los datos.	No se puede editar. Debe ser 1-31.
I	HOUR	Número	Hora del día en que se registraron los datos.	No se puede editar. Debe ser 0-23.

Nota. Elaborado a partir de *Eco guide to international projects* (p. 23-24), por USDA Forest Service. (2016a). USDA FOREST SERVICE.

Tabla 27.

Campos de contaminación para la base de datos i-Tree Eco

Campo	Requerido	Descripción
Continente	X	Nombre del continente de la ubicación para la que se agregan datos de contaminación.
País	X	Nombre de la nación de la ubicación para la cual se agregan datos de contaminación.
Estado	X	Partición primaria (por ejemplo, estado, provincia o territorio) nombre de la ubicación para la cual se agregan datos de contaminación.
Año	X	Año calendario en el que se recopilaron nuevos datos sobre contaminación.
Datos de contaminación	X	Archivo que contiene nuevos datos de contaminación que se cargarán.

Nota. Elaborado a partir de *Eco guide to international projects* (p. 24), por USDA Forest Service. (2016a). USDA FOREST SERVICE.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. Resultados

4.1.1. Estado actual de la cobertura vegetal

A partir de la información recopilada por el trabajo de campo ejecutado en el cañón urbano seleccionado, ubicado en la calle Carlos M. Esquerro, se elaboró la Tabla 28, la cual enlista las especies que habitan dentro del sitio de estudio y sus características generales. En una primera visita, efectuada en el periodo de verano, se encontraron ocho especies diferentes, *Pachycereus pringlei*, *Agave capensis*, *Tamarindus indica*, *Washingtonia robusta*, *Jacaranda mimosifolia*, *Bucida buceras*, *Ficus benamina* y *Schinus terebinthifolius*. En una segunda revisión, *Pachycereus pringlei* y *Agave capensis* fueron retiradas de su sitio, por lo que, para la ejecución de los siguientes pasos, solo se consideraron 53 ejemplares de seis especies diferentes.

Tabla 28.

Paleta vegetal del estado actual del sitio de estudio

Fotografía general	Especie	Familia	Hoja	Tronco	Flor ^a	Fruto ^a	Espina	Nativa o inducida	Conservación	Número de ejemplares
	<i>Pachycereus pringlei</i>	<i>Cactaceae</i> ^c	No se encontró ^b	No se encontró ^b	No se encontró ^b (florece de abril a junio) ^c	No se encontró ^b		Nativa ^c	Endemica ^c	4

	<i>Agave capensis</i>	Agavaceae ^c		No se encontró ^b	No se encontró ^b	No se encontró ^b	No se encontró ^b	Nativa ^c	Endemica ^c	2
	<i>Tamarindus indica</i>	Fabacea			No se encontró ^b	No se encontró ^b	No se encontró ^b	Inducido ^d	Escaso ^d	1
	<i>Washingtonia robusta</i>	Areaceae ^c			No se encontró ^b (florece en mayo y junio)	No se encontró ^b	No se encontró ^b	Nativa ^c	Endemica ^c	23
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae					No se encontró ^b	Inducido ^e	Abundante	2
	<i>Bucida buceras</i>	Combretaceae				No se encontró ^b	No se encontró ^b	Inducido ^f	Abundante ^f	12

	<i>Ficus benjamina</i>	<i>Moraceae</i> ^g			No se encontró ^b		No se encontró ^b	Inducido ^g	Abundante	13
	<i>Schinus terebinthifolius</i>	<i>Anacardiaceae</i> ^e				No se encontró ^b	No se encontró ^b	Inducido ^h	Abundante	2

Nota. ^a Características de fruto y flor pueden variar según la estación. ^b Se realizó una revisión de la flora durante el periodo de invierno y primavera. ^c (León De La Luz et al., 2014). ^d (CONABIO, 2013). ^e (Algara Sille et al., 2021) ^f (CONAFOR & CONABIO, n.d.). ^g (Sánchez de Lorenzo-Cáceres, 2016). ^h (Sánchez de Lorenzo-Cáceres, 2014)

4.1.2. Selección de especies

Se realizó una tabla comparativa de las condiciones mencionadas de 10 especies arbóreas previamente seleccionadas a través del libro Flora iconográfica de Baja California Sur 2, escrito por León De La Luz et al. (2014), que recaba datos de todas las especies vegetales nativas del estado (Tabla 29). A partir de este análisis se reportaron cuatro especies que cumplen con la mayoría de las pautas planeadas, *Quercus brandegeei*, *Tecoma stans*, *Celtis reticulata* y *Acacia farnesiana*.

Tabla 29.

Selección de especies para las propuestas de configuraciones de arbolado urbano del proyecto

Especies	i-Tree Database	Tipo de hoja	Altura máxima	Surcos ^r	Hojas compuestas ^r	Hojas rugosas ^r	Tricomas ^r	Pecíolos cortos	Dimensiones de la hoja	Datos adicionales
<i>Quercus brandegeei</i>	Si ^a	Perenne ^b	20 m ^b	No	No	No	No	0.5 cm ^e	H= 4.5 W=1.5 ^e A= 6.75 cm ²	
<i>Quercus tuberculata</i>	No ^a	Caducifolio ^b	12 m ^b	Si	No	Si ^c	No	1 cm ^e	H= 10 W= 5 ^e A= 50 cm ²	
<i>Diospyros californica</i>	No ^a	No encontrado	9 m ^b	No	No	No	No	0.5 cm ^b	H= 7 W= 3 ^b A= 21 cm ²	- Resistente al sol - Riego de 15 a 30 días

- Suelo de
arenoso a
rocoso ^P

<i>Acacia californica</i>	No ^a	No encontrado	8 m ^c	No	Si	No	No	0 cm ^e	H= 2 W= 1.5 ^e A= 3 cm ²
<i>Malosma laurina</i>	Si ^a	Perenne ^b	3 a 5 m ^b	No	No	No	No	No encontrado	No encontrado
<i>Arbutus peninsularis</i>	No ^a	No encontrado	12 m ^c	No	No	No	Si (en parte inferior) ^c	No encontrado	H= 10 W= 6.5 ⁿ A= 65 cm ²
<i>Lysiloma microphyllum</i> (<i>Lysiloma divaricatum</i>)	Si ^a	Caducifolio ^f	15 m ^c	No	Si	No	No	1–3.5 cm ^b	H= 0.11 W= 0.02 ^b A= 0.0022 cm ²
<i>Esenbeckia flava</i>	No ^a	No encontrado	8 m ^c	No	No	Si ^c	No	1.25 cm ^e	H= 8 W= 4.5 ^e A= 36 cm ²

<i>Tecoma stans</i>	Si ^a	Perennifolio o caducifolio ^e	8 m ^c	Si	Si	No	No	0 cm ^e	H= 8 W= 2.5 ^e A= 20 cm ²	- Resistente al sol - Riego de 15 a 30 días - Suelo de arenoso a rocoso ^p
<i>Lysiloma candidum</i>	Si ^a	Perenne ^g	10 m ^c	No	Si	No	No	No encontrado	No encontrado	- Resistente al sol - Riego de 15 a 30 días - Suelo de arenoso a rocoso ^p
<i>Havardia mexicana</i>	No ^a	No encontrado	12 m ^c	No	Si	No	No	0 cm ^e	H= 0.5 W= 0.2 ^e A= 0.1 cm ²	
<i>Albizia occidentalis</i>	Si ^a	Caducifolio ^h	12 m ^c	No	Si	No	No	0.2 cm ^e	H= 4 W= 2.3 ^e A= 9.2 cm ²	-Considerada como amenazada por la NOM-059-

SEMARNAT-
2010^q

<i>Ilex brandegeana</i>	No ^a	Perenne ^c	7 m ^c	No	No	No	No	1.5 cm ^e	H= 8.5 W= 3 ^e A= 25.5 cm ²
<i>Aralia scopulorum</i>	No ^a	No encontrado	6 m ^c	Si	Si	No	No	No encontrado	No encontrado
<i>Celtis reticulata</i>	Si ^a	Caducifolio ^c	8 m ^c	Si	No	Si	Si ^b	0.4 cm ^e	H= 2.5 W= 1.5 ^e A= 3.75 cm ²
<i>Acacia farnesiana</i>	Si ^a	Perennifolio o subcaducifolio ⁱ	6 m ^c	No	Si	No	No	0 cm ^e	H= 0.35 W= 0.1 ^e A= 0.035 cm ²
<i>Ficus palmeri</i>	No ^a	No encontrado	15.24 m ^m	No	No	No	No	3.5-13 cm ^e	H= 10 W= 6 ^c A= 60 cm ²
<i>Leucaena leucocephala</i>	Si ^a	Caducifolio o perennifolio ^j	7 m ^c	No	Si	No	No	1 a 3.7 cm ^o	H= 1.5

									W= 0.25 ^e	
									A= 0.375 cm ²	
<i>Prosopis articulata</i>	No ^a	Caducifolio ^k	10 m ^c	No	Si	No	No	0 cm	No encontrado	- Resistente al sol - Riego de 15 a 30 días - Suelo de arenoso a rocoso ^p
<i>Bursera microphylla</i>	Si ^a	Caducifolio ^l	8 m ^c	No	Si	No	No	0 cm ^e	H= 0.8 W= 0.15 ^e A= 0.12 cm ²	- Resistente al sol - Riego de 15 a 30 días - Suelo de arenoso a rocoso ^p

Nota. ^a Encontrada en la base de datos del software (i-Tree Cooperative, n.d.). ^b (iNaturalistMX, n.d.). ^c (León De La Luz et al., 2014). ^d (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], n.d.-b). ^e (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], n.d.-d). ^f (Hernández Vaca et al., n.d.). ^g (Aguilar, 2022). ^h (Instituto Municipal de Planeación del Valle de Santiago, n.d.). ⁱ (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], n.d.-a). ^j (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], n.d.-c). ^k (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. [CIBNOR], n.d.-a) ^l (Centro de Investigaciones Biológicas del

Noroeste S.C. [CIBNOR], n.d.-b). ^m (Arizona Board of Regents, 2012). ⁿ (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2009). ^o (Rojas Chávez & Vibrans, 2011). ^p (Medel Narvaez, 2017). ^q (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2010).
^r Características visibles.

4.1.3. Resultados de monitoreo en sitio

4.1.3.1. Monitoreo del periodo de verano

A partir de los datos recolectados por las dos estaciones de monitoreo, la estación Hotel Perla y estación CANACO, se calcularon los promedios diarios (ANEXO I Y II) y por hora (ANEXO III y IV) del mes monitoreado, los cuales se emplearon como base para la interpretación de los siguientes resultados.

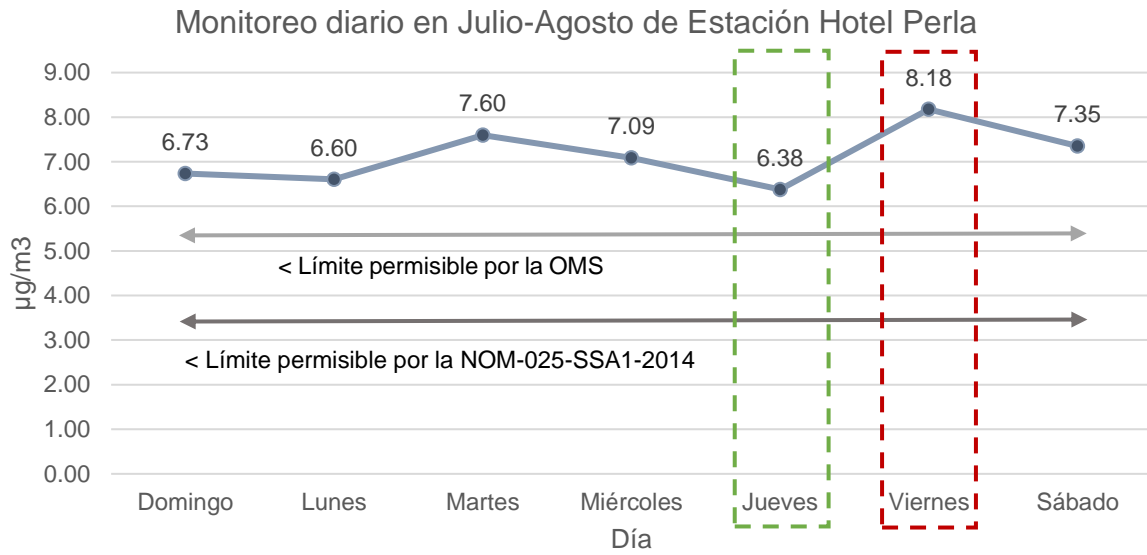
4.1.3.1.1. Estación Hotel Perla

4.1.3.1.1.1. Resultados diarios

La Organización Mundial de la Salud (2021) en su resumen ejecutivo titulado Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire, establece que el límite permisible para las concentraciones máximas diarias (24 horas) de $PM_{2.5}$ es de $15 \mu g/m^3$, por su parte, las autoridades mexicanas instauran por medio NOM-025-SSA1-2014 un límite de $45 \mu g/m^3$. Los resultados del monitoreo realizado por la estación de monitoreo Hotel Perla (Figura 32), ejecutado entre el 03 de julio al 05 de agosto de 2023, reportan que, en promedio, todos los días de la semana se encuentran por debajo del límite establecido por ambas instituciones. Se observa que durante el día viernes se presentan las mayores concentraciones correspondientes a $8.18 \mu g/m^3$. En contraste con el día a jueves, que tiende a ser el día con niveles de concentración más bajos ($6.38 \mu g/m^3$).

Figura 32.

Resultados de monitoreo de verano diarios en Estación Hotel Perla

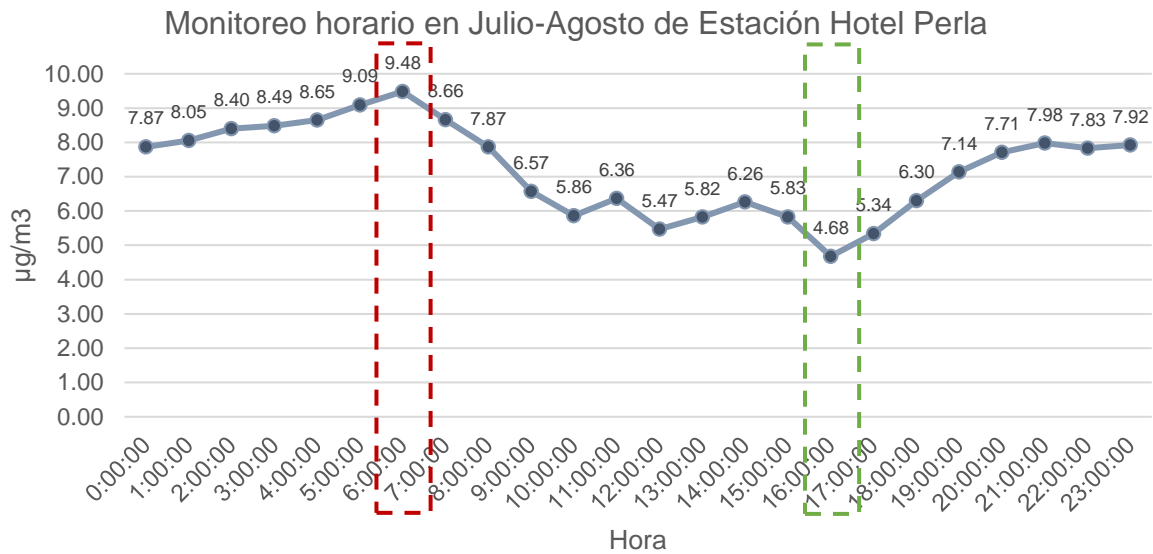


4.1.3.1.1.2. Resultados por hora

Adicionalmente, a los promedios diarios, se analizaron los datos promedio por hora del periodo de monitoreo. Se encontró que las mayores concentraciones fueron durante la noche, la madrugada y parte de la mañana, donde inició el ascenso a las 17 h 00 y el descenso a las 07 h 00. Asimismo, estas mismas horas fueron las de menor ($4.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y mayor ($9.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) concentración, respectivamente (Figura 33).

Figura 33.

Resultados de monitoreo de verano horarios en Estación Hotel Perla



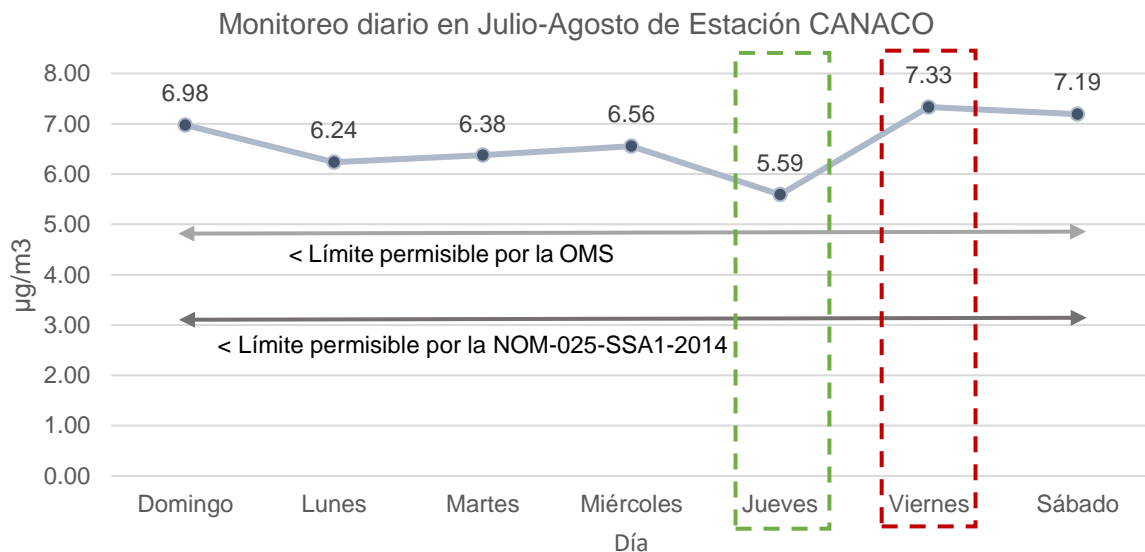
4.1.3.1.2. Estación CANACO

4.1.3.1.2.1. Resultados diarios

Similar a su homóloga, los datos recabados por la estación de monitoreo ubicada en el estacionamiento CANACO arrojan que en promedio todos los días de la semana se encuentran por debajo de los límites nacionales e internacionales. Sin embargo, cabe destacar que existe una tendencia en la que durante los días correspondientes a fin de semana (viernes a domingo) presentan los niveles más altos de $PM_{2.5}$, donde se enfatiza, de nueva cuenta, el día viernes con $7.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Del mismo modo, el jueves cuenta con mejores condiciones en la calidad del aire con respecto al resto de la semana con $5.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 34).

Figura 34.

Resultados de monitoreo de verano diarios en Estación CANACO



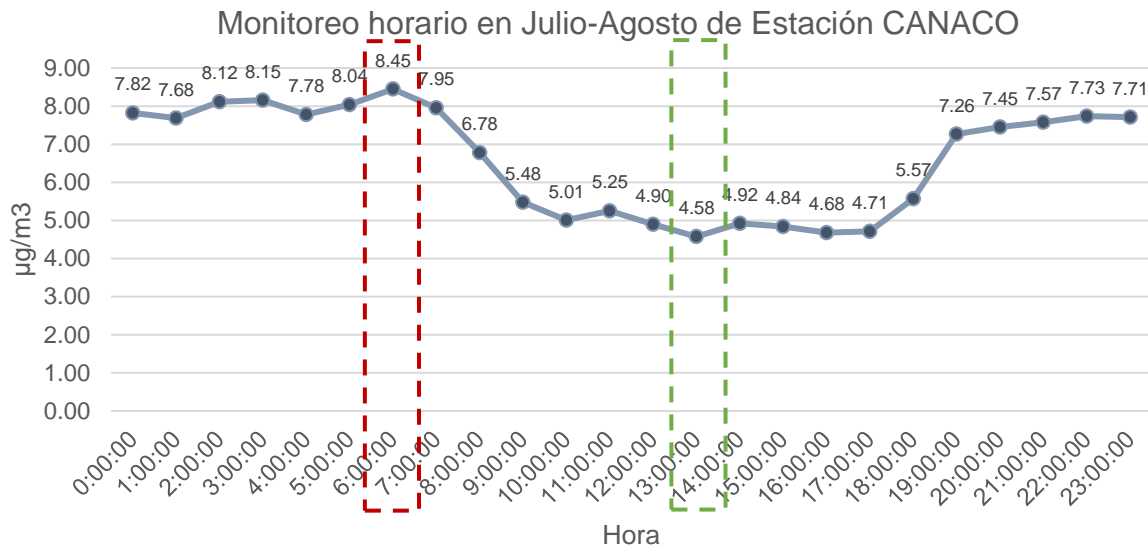
4.1.3.1.2.2. Resultados por hora

Con un comportamiento semejante, la estación CANACO encuentra que los niveles más elevados de $PM_{2.5}$ se presentan entre las 19 h 00 y las 07 h 00, que coinciden con la noche, madrugada y mañana. Durante las 14 h 00, las concentraciones descendieron hasta $4.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual es el punto más bajo presentado en el

transcurso del día. Por otra parte, el pico de contaminación más elevado se presencié a las 07 h 00 con 8.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 35).

Figura 35.

Resultados de monitoreo de verano horarios en Estación CANACO



4.1.3.1.3. Análisis comparativo del monitoreo de periodo de verano en sitio de estudio y de referencia

4.1.3.1.3.1. Datos diarios

En general, el comportamiento de los niveles de contaminación en ambas estaciones se dio de manera similar con picos máximos y mínimos, los días viernes y jueves, respectivamente. Dicho comportamiento puede atribuirse a las actividades sociales y turísticas desarrolladas en la zona, donde las mayores actividades tienden a realizarse durante el fin de semana. Estos eventos se ven mayormente reflejados en la zona de la estación CANACO cuyo aumento de concentraciones se extiende durante todo el periodo de fin de semana.

Cabe mencionar que si bien, ambos puntos presentan tendencias semejantes, la estación Hotel Perla presentan niveles ligeramente superiores a los de la estación

CANACO. Este hecho puede deberse a la densidad vegetal de la zona y la geometría de la calle, ya que limitan los flujos de viento que generan los efectos de dispersión.

4.1.3.1.3.2. Datos horarios

Al igual que los datos diarios registrados, los datos horarios tienen similitudes en ambas estaciones de monitoreo. Las dos estaciones reflejan sus puntos más críticos en el transcurso de la noche, madrugada y mañana. En ambos casos el pico de contaminación se da alrededor de las 07 h 00, sin embargo, la estación CANACO presenta los niveles más bajos tres horas antes que la estación Hotel Perla.

En la mayoría de las horas registradas, las cifras son mayores en la estación Hotel Perla que en la estación CANACO, lo que continúa con el patrón encontrado en las concentraciones diarias.

4.1.3.2. Monitoreo del periodo de invierno

Al retomar la recolección de datos de monitoreo por medio de la estación CANACO, se calcularon los promedios diarios (ANEXO V) y por hora (ANEXO VI) del periodo monitoreado. Conforme a dichos datos se interpretaron los siguientes resultados.

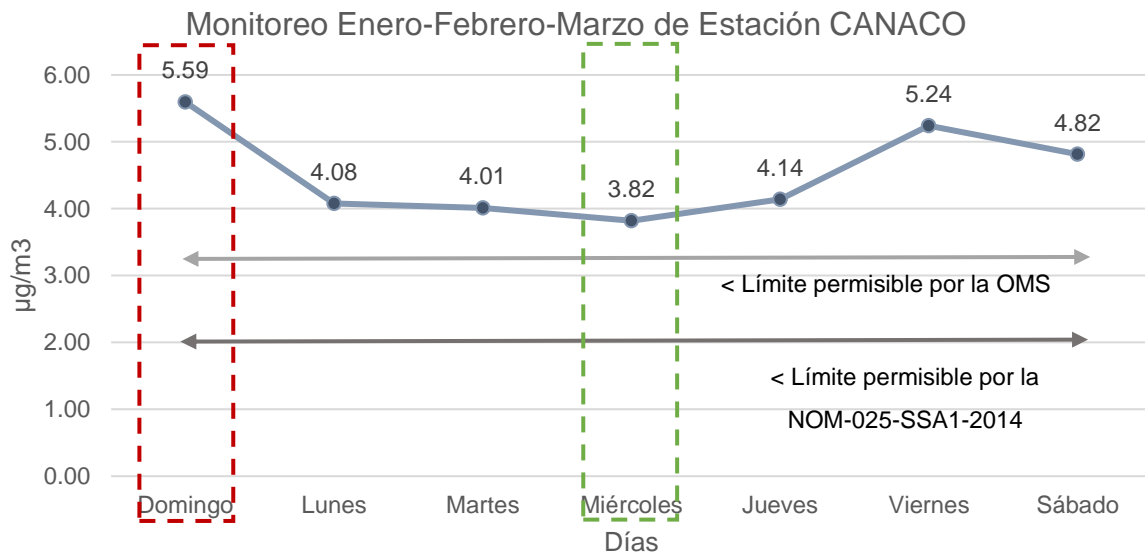
4.1.3.2.1. Estación CANACO

4.1.3.2.1.1. Resultados diarios

De nueva cuenta con el patrón observado en el periodo de verano, todos los días de la semana se encuentran por debajo de los límites nacionales e internacionales. Asimismo, sigue la tendencia en que los fines de semana, correspondientes a viernes, sábado y domingo, se presentan los niveles más elevados, principalmente los domingos con $5.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, el día de mejores condiciones en la calidad del aire se encuentra los días miércoles, con $3.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 36).

Figura 36.

Resultados de monitoreo de invierno diarios en Estación CANACO

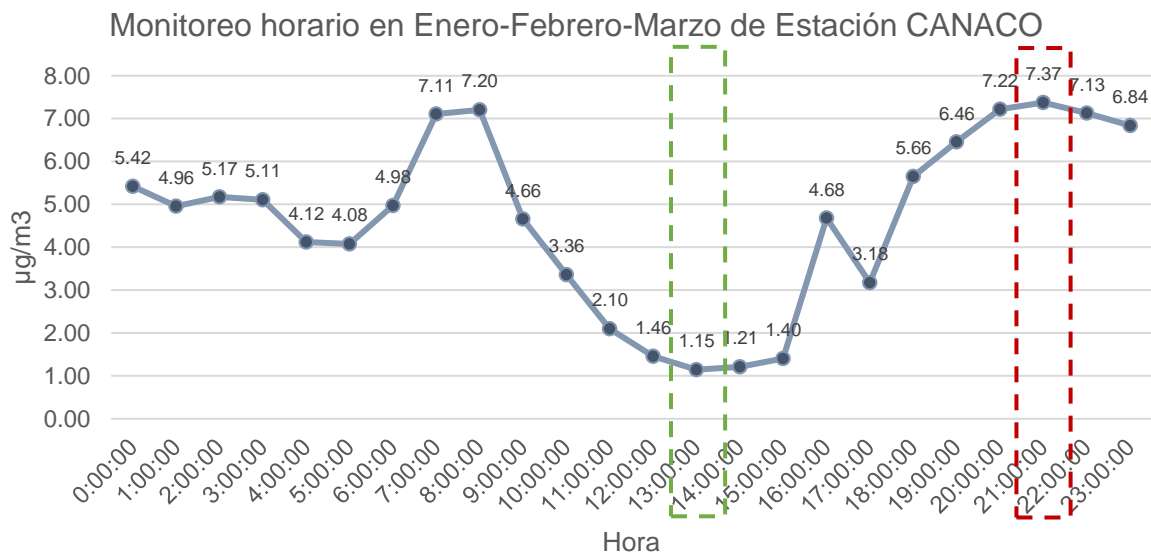


4.1.3.2.1.2. Resultados por hora

En el análisis horario presentado en la Figura 37, se encuentra que las mayores concentraciones de PM_{2.5} se dan en dos intervalos, entre las 20 h 00 y las 23 h 00, y entre las 07 h 00 y 08 h 00, correspondientes a la mañana y noche. Se destacan las 22 h 00 como el punto máximo de contaminación presentado durante el día, con 7.37 µg/m³ y las 14 h 00 como el punto mínimo (1.15 µg/m³).

Figura 37.

Resultados de monitoreo de invierno horarios en Estación CANACO



4.1.3.3. Análisis comparativo de la estación CANACO en los periodos de verano e invierno

4.1.3.3.1. Diario

Existe una variación en los días de mayor y menor concentración de contaminantes por día en el periodo de verano e invierno, donde el mayor pico de contaminación se encuentra los días viernes en verano y los días domingo en invierno; y, por otro lado, el menor pico pasa de ser los jueves (en verano) a los viernes (en invierno). Cabe resaltar que, aunque los días pueden variar, el fin de semana aún se considera el periodo más crítico y entre semana los días de mejor condición del aire.

4.1.3.3.2. *Por hora*

En relación con los resultados por hora, el punto más alto en los niveles de $PM_{2.5}$ pasa de ser por la mañana (a las 07 h 00, verano) a la noche (22 h 00, en invierno), sin embargo, en el caso de las menores concentraciones se mantiene el mismo horario, en el que las 14 h 00 presentan los niveles más bajos.

4.1.4. Simulación de escenarios por i-Tree Eco

4.1.4.1. Escenario base

4.1.4.1.1. Configuración del proyecto

Para la creación del proyecto i-Tree Eco se inició a partir de la configuración del mismo, donde se especifican los rubros bases del escenario, como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30.

Configuración del proyecto

¿Qué nombre quieres darle a tu nuevo proyecto?	
Nombre del proyecto:	Escenario base
¿Qué nombre quieres darles a tus series?	
Nombre de las series:	E-00
Por favor, especifica el año de las series de tu proyecto:	
Año de las series:	2024
Por favor, especifica la siguiente información de inventario:	
Tipo de inventario:	Inventario completo

Posteriormente, se determinaron las características del lugar que incluye la selección de la estación meteorológica y de contaminación más cercana al sitio de estudio (Tabla 31). Finalmente, se seleccionó la información que sería recabada en la recopilación de datos de campo para un inventario completo (Tabla 32).

Tabla 31.

Lugar

País	México
Estado:	Baja California Sur
Municipio:	La Paz

Lugar:	La Paz
¿El área de estudio es urbana?	Si
Población:	215178
Población por km ² :	2925.56
Por favor, especifica los siguientes años para tu proyecto:	
Año del tiempo y contaminación:	2020 (Estado del tiempo y contaminación)
Por favor selecciona una estación meteorológica a usar para tu proyecto:	
Estación meteorológica:	764050-99999

Tabla 32.

Opciones de recopilación de datos

¿Qué unidades usarás durante tu recopilación de datos?

- Británicas
- Métricas

INFORMACIÓN DE LOS ÁRBOLES

Requisitos mínimos	<ul style="list-style-type: none"> ● Especies ^a ● DAP ^a
Campos del sitio en general	<ul style="list-style-type: none"> ● Domicilio del árbol ● Uso de la tierra ^b ● Estratos/Área ● Condición ● Árbol de alineación si/no ● Coordenadas del mapa (GPS) ● Público/privado
Campos de detalles de los árboles	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura total del árbol ^b ● Tamaño de la copa ^b

- Campos de manejo
- Salud de la copa ^b
 - Exposición de luz en la copa ^b
 - Energía
 - Mantenimiento recomendado
 - Tarea de mantenimiento
 - Conflicto con aceras
 - Conflicto con servicios
 - Plagas
 - User Tree ID

Nota. ^a Campos obligatorios. ^b Campos altamente recomendados. Para efectos del proyecto de simulación del escenario base se consideraron: ● Campos seleccionados.
○ Campos descartados.

4.1.4.1.2. Integración de datos para el proyecto

4.1.4.1.2.1. Datos climatológicos y de contaminación

A la fecha actual, el software cuenta con datos de contaminación (PM_{2.5}) y de precipitación al año 2020. Como fue mencionado con anterioridad, datos actuales pueden ser integrados a la plataforma, sin embargo, los datos deben completar un año de calendario (del 1 de enero al 31 de diciembre), datos que, debido a las limitaciones de tiempo, no pudieron ser recolectados. Por ello se optó por utilizar los previamente establecidos por el programa.

4.1.4.1.2.1.1. Datos climatológicos

El presente análisis emplea datos obtenidos a partir del National Centers for Environmental Information (NCEI), disponibles en la base de datos de i-Tree Eco.

La estación utilizada para el presente análisis, identificada como estación 764050-99999, se encuentra ubicada en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, con coordenadas geográficas: latitud 24.167 (24° 10' 1.2") N, longitud -110.300 (110° 17' 59.999") O y altitud 18 msnm, cuya ubicación es la más cercana al sitio de estudio

(1.72 km) (Figura 38). Los datos empleados se conforman de un año calendario perteneciente al 2020.

Figura 38.

Estación meteorológica NCEI 764050-99999



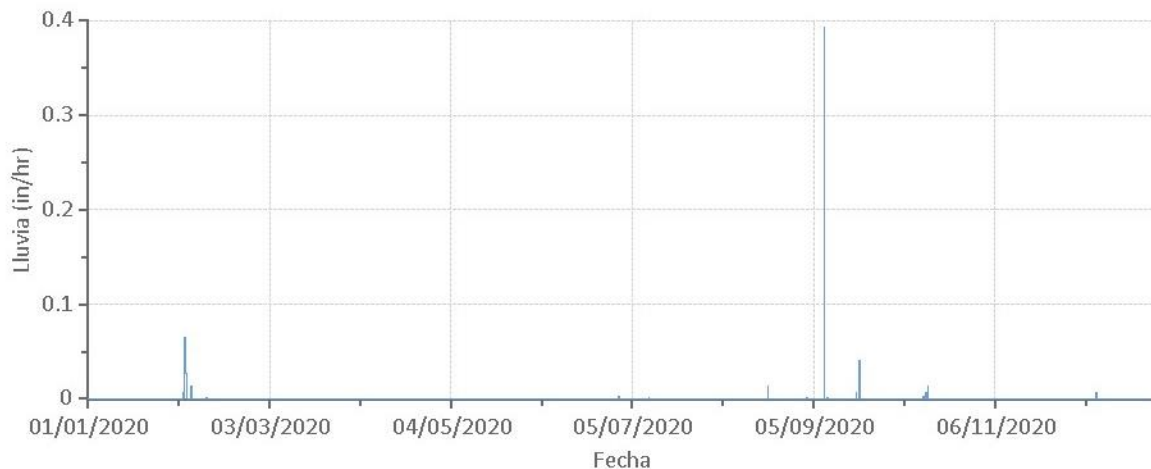
Nota. Obtenido a partir de i-Tree Eco version 6. USDA FOREST SERVICE.

4.1.4.1.2.1.1.1. Precipitación

El software i-Tree Eco proporciona un panorama del comportamiento de las lluvias a lo largo del año (Figura 39). El rango de confort hídrico oscila entre los 650 y 1000 mm (Fuentes Freixanet, 2002). De acuerdo a estos datos, durante el año 2020, La Paz se caracterizó como una ciudad de precipitación baja, ya que presenta una anual de 3.64 pulgadas, equivalente a 92.45 mm.

Figura 39.

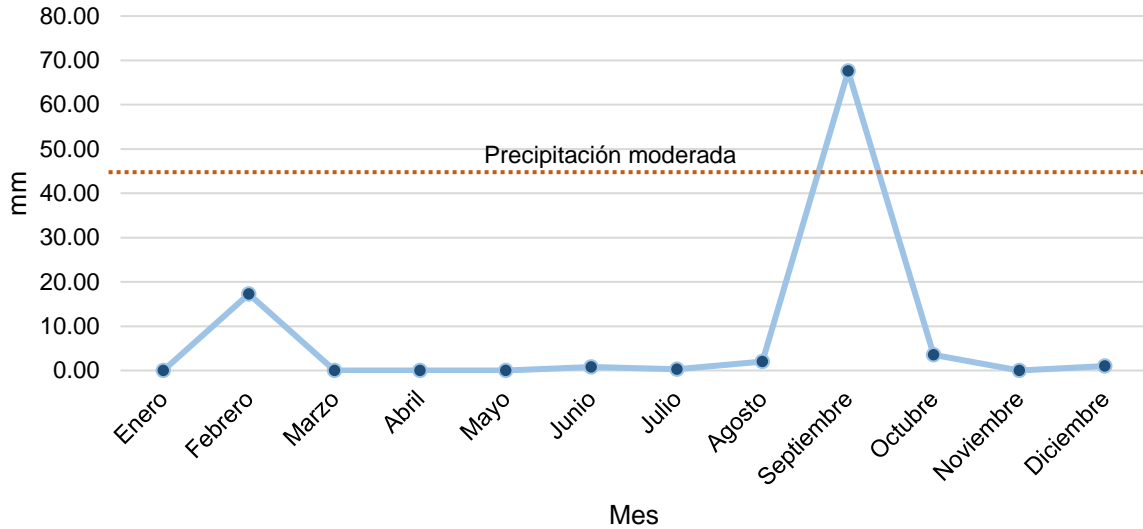
Precipitación anual 2020



Por su parte, la precipitación es considerada intensa cuando supera los 150 mm (5.90551 pulg) de precipitación total mensual e insuficiente cuando está por debajo de los 40 mm (1.5748 pulg) (Fuentes Freixanet, 2002). En consideración a los datos emitidos por i-Tree Eco, todos los meses, exceptuando septiembre (67.56 mm), se encuentran por debajo del límite inferior, contando en general con escasez de lluvia prácticamente todo el año (Figura 40).

Figura 40.

Precipitación mensual 2020

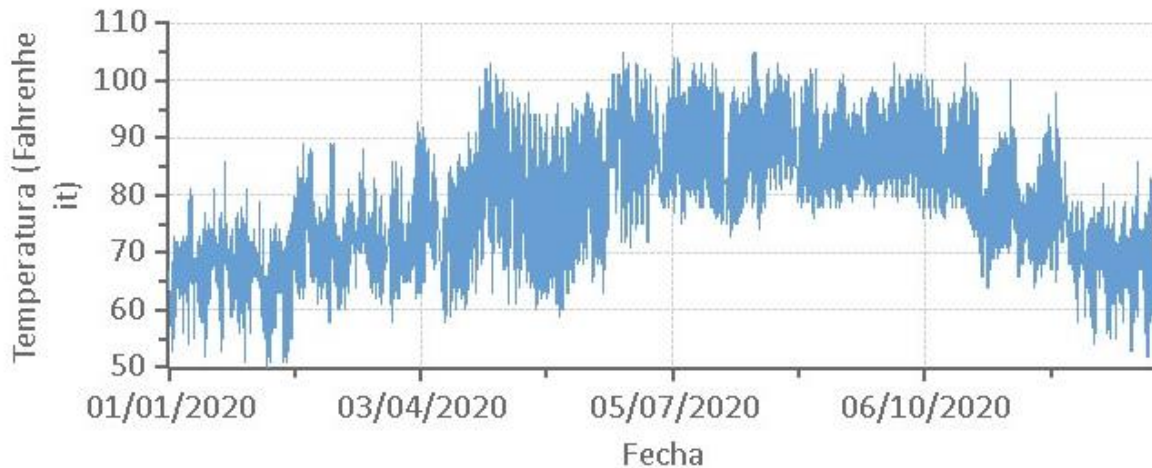


4.1.4.1.2.1.1.2. Temperatura

Los datos del software nos muestran el comportamiento de las temperaturas a lo largo del año (Figura 41). El año 2020, presenta un promedio de 78.39 °F (25.77 °C).

Figura 41.

Temperatura anual 2020

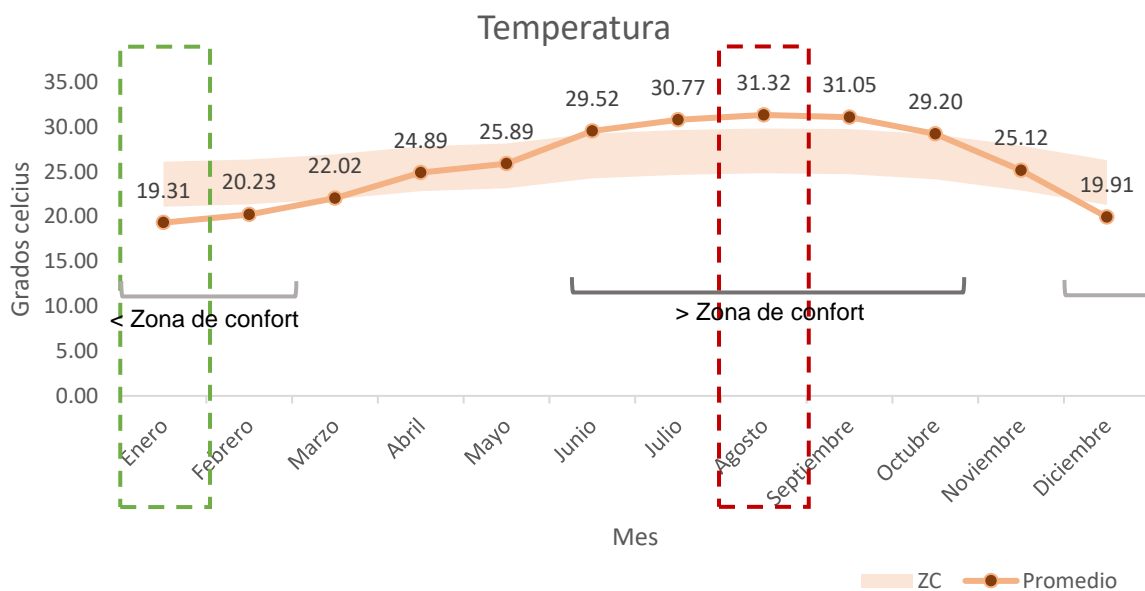


Al realizar un análisis mensual de los datos presentados en la Figura 42, podemos precisar lo siguiente:

- Entre los meses de junio y octubre, las temperaturas medias sobrepasan la zona de confort, por lo que estos tienden a ser los meses más cálidos. Durante este año, el mes de agosto presentó las temperaturas más cálidas, con un promedio de 31.32 °C.
- A partir de diciembre hasta febrero, se presentó el periodo con las temperaturas más bajas, cuyas cifras están por debajo de la zona de confort. En el mes de enero se encontró la temperatura promedio más baja de 19.31 °C.
- Solo los meses de marzo, abril y mayo son considerados confortables para los habitantes de La Paz, B.C.S.

Figura 42.

Temperatura mensual 2020



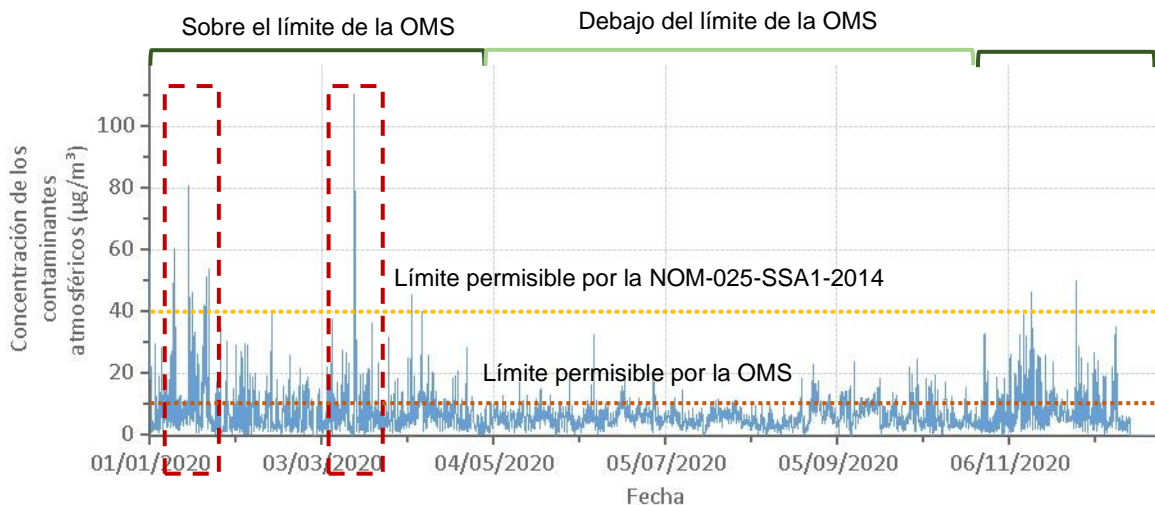
Si bien, la temperatura no es un dato imprescindible para el funcionamiento del software, nos ayuda a conocer el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} en función a las temperaturas presentadas en el sitio de estudio durante el año seleccionado.

4.1.4.1.2.1.2. Datos de contaminación

Durante el año 2020, se estima un promedio de $6.31 \mu\text{m}^3$, cifra que superan las $5 \mu\text{m}^3$ por año delimitado por la OMS. Se encontró que las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ presentan un aumento en el mes de noviembre y culmina en el mes de abril, meses en los cuales los niveles de $\text{PM}_{2.5}$ contantemente superaron los límites diarios permisibles por dicha institución. Sin embargo, si bien, en general los niveles se presentaron de manera estable durante este periodo, entre 0 y $60 \mu\text{m}^3$, hubo algunas excepciones en el periodo crítico que superaron los límites de la NOM-025-SSA1-2014 (específicamente el 14 de enero con $81 \mu\text{m}^3$, y el 14 de marzo con $110 \mu\text{m}^3$, este último el de mayor contaminación en el año) (Figura 43).

Figura 43.

Niveles de $\text{PM}_{2.5}$ anuales 2020



Al conocer estos datos es posible compararlos con los datos monitoreados en los pedidos de verano e invierno, y posteriormente analizar si la tendencia ha continuado a lo largo de los años.

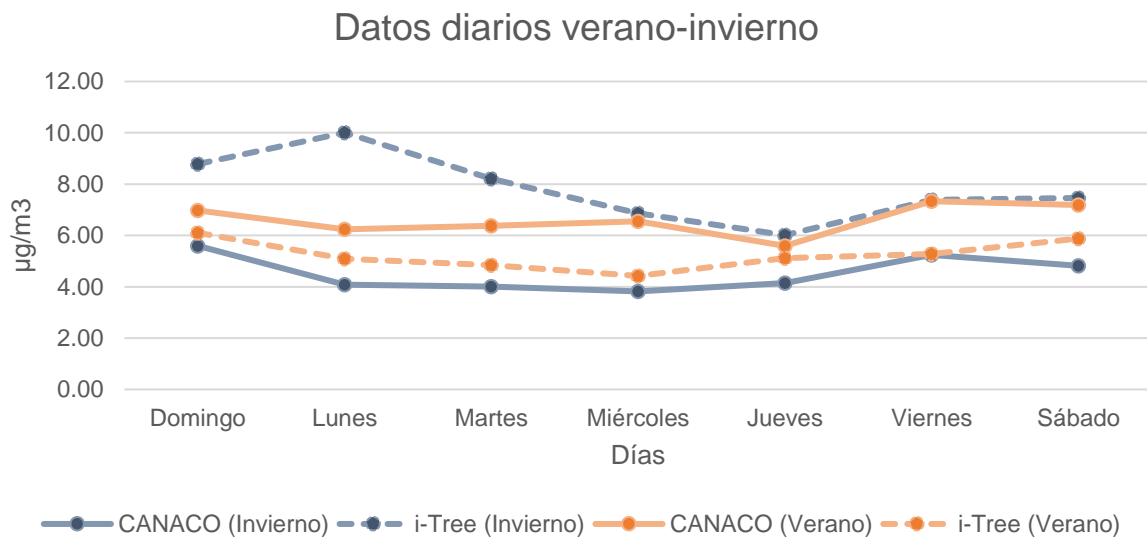
4.1.4.1.2.1.2.1. Análisis comparativo de los datos monitoreados por la estación CANACO y i-Tree Eco

Los datos diarios proporcionados por las estaciones muestran diferencias significativas. En el año 2020 (i-Tree Eco), los niveles más elevados de contaminación se presentan en el periodo de invierno (que van desde las 6.01 a $10.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en

comparación con las cifras de verano (entre 4.42 a 6.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Por el contrario, en los periodos verano 2023- invierno 2024, los niveles más altos se encuentran en verano (entre 5.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 7.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las cifras más bajas en invierno (entre 3.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 5.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, ante estas variaciones hay que destacar que, a excepción de los datos de invierno monitoreados por i-Tree Eco, los fines de semana siguen con la tendencia de ser los de mayor contaminación (Figura 44).

Figura 44.

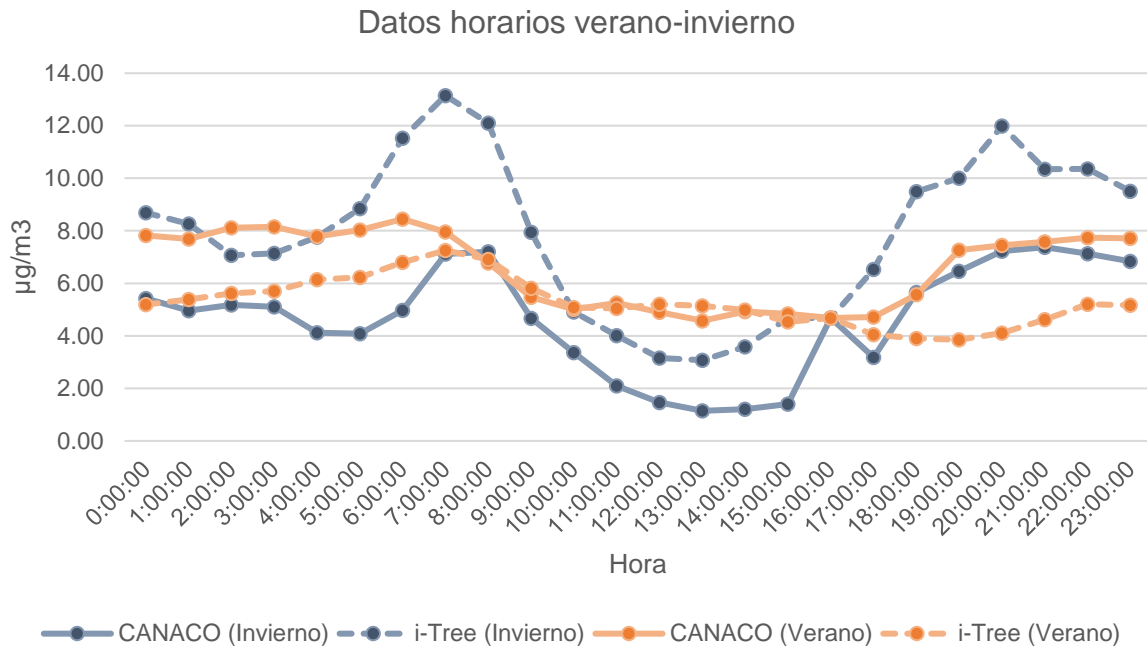
Datos comparativos de estación CANACO y i-Tree Eco por día



De igual manera, en los datos por hora, el comportamiento varía entre las estaciones. A pesar de que, en invierno, en ambas estaciones las tendencias son parecidas, los niveles de contaminación fueron superiores en 2020. Por otra parte, en el periodo de verano, entre 08 h 00 y 16 h 00, las cifras de contaminación del 2020 y 2023-2024 tuvieron diferencias mínimas, en contraste con las de entre las 17 h 00 y las 07 h 00, las cuales en 2020 fueron significativamente menores (Figura 45).

Figura 45.

Datos comparativos de estación CANACO y i-Tree Eco por hora



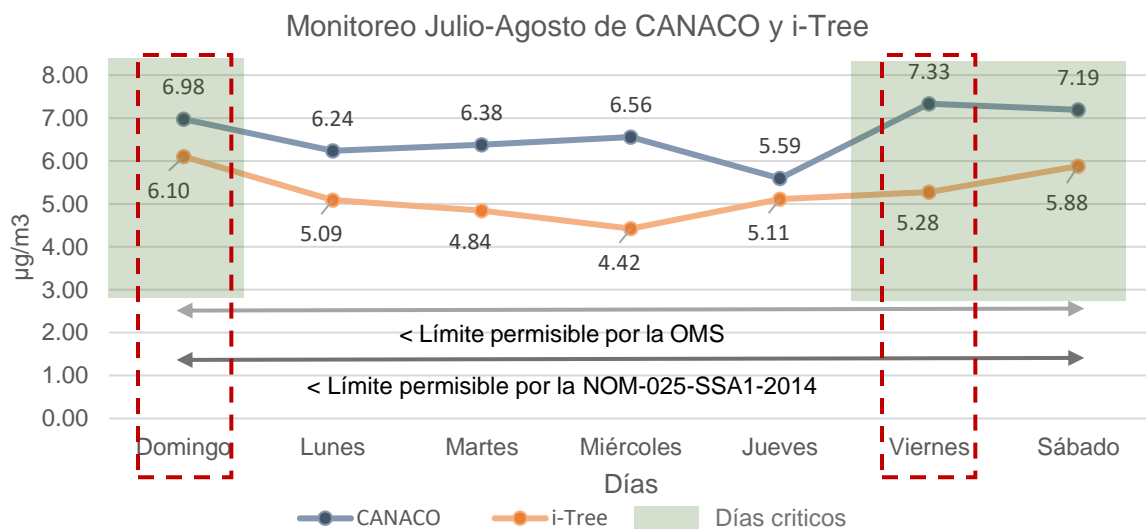
A continuación, en función con los datos mostrados en las Figuras 44 y 45, se hará un análisis más específico para comparar los datos diarios y horarios por periodo de monitoreo (verano e invierno) de cada estación.

4.1.4.1.2.1.2.1.1. Periodo de verano

El comportamiento diario de la calidad del aire es similar en 2020 y 2023-2024. Tanto en el caso de la estación CANACO y los datos obtenidos mediante el software muestran que las cifras no superan los límites permisibles por la OMS Y la NOM-025-SSA1-2014. Además, ambas estaciones demuestran que el fin de semana, correspondiente a los días viernes, sábado y domingo, son los días en los que las concentraciones de PM_{2.5} en el aire se elevan, donde el día viernes es la máxima registrada por CANACO (7.33 µg/m³) y el domingo por i-Tree Eco (6.10 µg/m³) (Figura 46).

Figura 46.

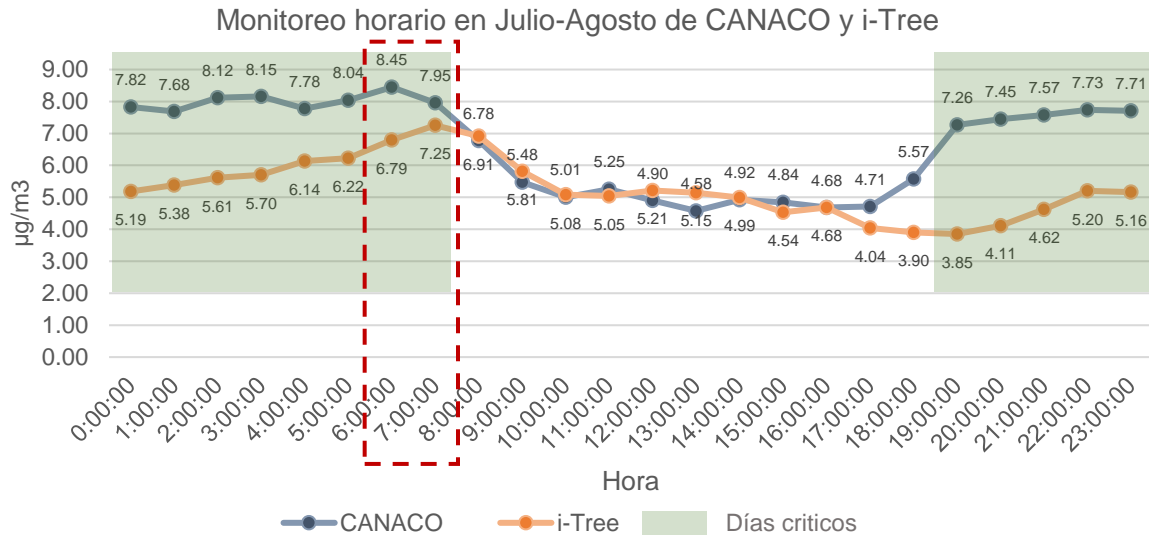
Comparación de datos diarios en periodo de verano



Por su parte, si bien, los datos horarios muestran diferencias en su comportamiento al paso de las horas; la noche, la madrugada y la mañana continúan con niveles más elevados de contaminación principalmente entre las 06 h 00 y 07 h 00, donde se encuentran las mayores concentraciones con 8.45 µg/m³ (CANACO) y 7.25 µg/m³ (i-Tree Eco) (Figura 47).

Figura 47.

Comparación de datos horarios en periodo de verano

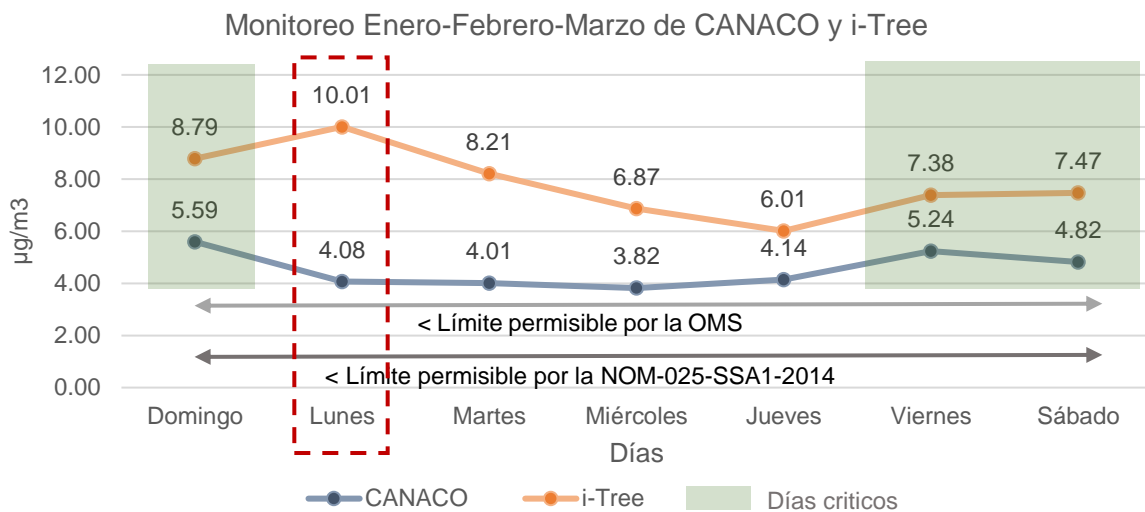


4.1.4.1.2.1.2.1.2. Periodo de invierno

Al igual que en el periodo de verano, el periodo de invierno muestra una tendencia similar en ambas estaciones. Los fines de semana continúan como los de mayores emisiones de contaminación. Sin embargo, aunque las cifras más elevadas aún se presentan entre viernes y domingo en ambas estaciones, hubo una excepción en la estación de i-Tree Eco, puesto que el pico de contaminación se da los lunes con 10.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 48).

Figura 48.

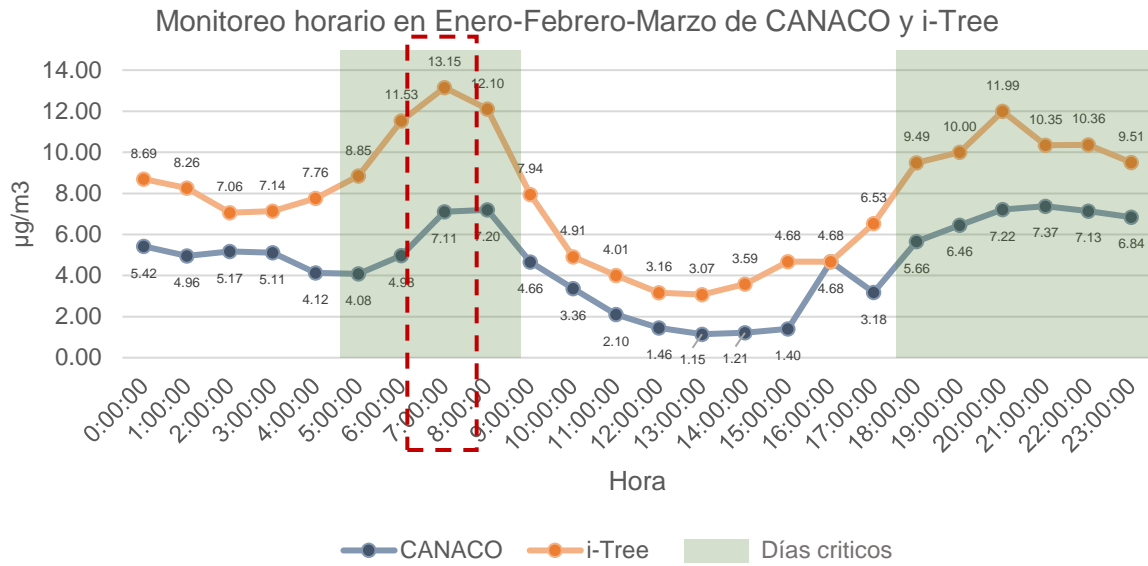
Comparación de datos diarios en periodo de invierno



En cuanto a los datos horarios, el comportamiento de ambos años en el periodo invernal también fue semejante. Las mayores concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ se dieron tanto en la noche como en la mañana. Los focos máximos de contaminación se presentaron a las 07 h 00 en el caso de i-Tree Eco (13.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las 21 h 00 en la estación CANACO (7.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 49).

Figura 49.

Comparación de datos horarios en periodo de invierno



4.1.4.1.2.2. Recolección de información de especie

A partir de la información proporcionada por el software y por recomendaciones expuestas en el manual del usuario de i-Tree Eco se desarrolló una ficha para la recopilación de datos de campo (Tabla 33) donde se recabaron los datos necesarios para a estimación de los servicios forestales para la mitigación del PM_{2.5}.

Tabla 33.

Ficha de datos de especies de vegetación

Variables		Unidad de medida	Descripción
Información del estudio			
Fecha de estudio		dd/mm/aa	
Brigada		N/A	B-01
Información del árbol			
Identificación del árbol		N/A	
ID Foto del árbol		N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").	
	Longitud		
	Altura	m.s.n.m.	
Uso de tierra		N/A	Comercial/industrial (C)
Especies		N/A	
Árbol en la calle/no en la calle		N/A	Árbol en la calle: _____ Árbol no en la calle: _____
Público/privado		N/A	Público: _____ Privado: _____
Categoría		N/A	Plantado (P): _____

		Masa Natural (auto sembrado) (I): _____	
		Desconocidos (U): _____	
Muerto	N/A	Si: _____	
		No: _____	
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros		
Altura total del árbol	Metros		
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros	
	Altura a la base de la copa	Metros	
	Ancho de la copa	Metros	Norte-sur: _____ Este-oeste: _____
	Falta del porcentaje de la corona	%	
Muerte regresiva de la corona	%		
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)		
Energía	Dirección	Grados	
	Distancia	Metros	
Información de manejo			
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____	
		Árbol pequeño (rutina): _____	
		Árbol pequeño (inmediato): _____	
		Árbol grande (rutina): _____	
		Árbol grande (inmediato): _____	
		Preocupación crítica (seguridad pública): _____	
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____	

			Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____
Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1.9 cm: _____ 1.9 a 3.8 cm: _____ Más de 3.8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: _____ Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: _____ Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: _____ Presencia: _____

Como herramientas se emplearon un flexómetro marca Truper de 10 m, un medidor laser Bosch Professional GLM 40 y una cámara fotográfica. La visita a campo para la recolección de datos dio inicio el día 31 de enero del 2024 y concluyó el día 5 de febrero del 2024.

4.1.4.1.3. Eliminación de $PM_{2.5}$ en el escenario base

Se encontraron 53 árboles en la calle Carlos M. Esquerro. Entre ellos, especies como Palma Washigtonia (43.4 %), Laurel Llorón (24.5 %), Olivo Negro (22.6 %), Jacaranda (3.8 %), Aroeira-pimentera (3.8 %) y Tamarindo (1.9 %). Cada uno de los ejemplares fueron estudiados y se recabó información a partir de la ficha de datos de especies de

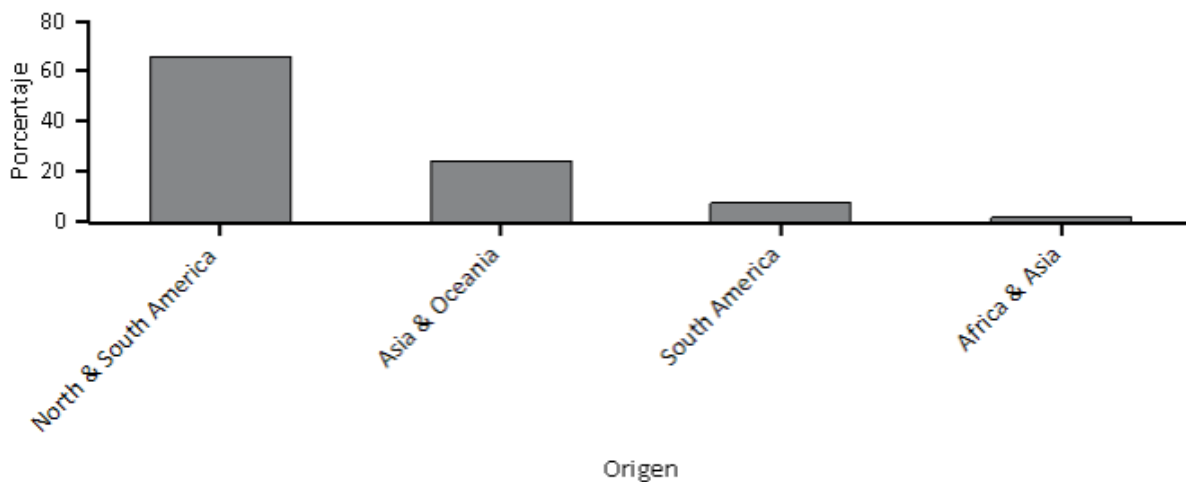
vegetación anteriormente propuesta (ANEXO VII). El modelo fue ejecutado en una sola ocasión y se utilizaron los datos más actuales disponibles de contaminación y meteorológicos a la fecha, que corresponden al 2020.

Los bosques urbanos cuentan con una amplia gama de especies de árboles, tanto nativos como exóticos. Por eso es que entre los bosques urbanos es común encontrar una diversidad de árboles mayor a la de los paisajes nativos adyacentes. Si bien, es cierto que al aumentar la variedad de especies es posible reducir el impacto general o la destrucción por plagas de una especie en particular, esto también puede significar un peligro para la vegetación nativa, en caso de que las especies exóticas sean plantas invasivas capaces de crear un ambiente más competitivo entre ellas y eventualmente desplazar a las especies nativas.

En el escenario base, la mayoría de las especies de árboles exóticos tienen un origen de *North & South America* (66 %), seguido por *Asia & Oceania* (24.5 %), *South America* (7.5 %) y *Africa & Asia* (1.9 %) (Figura 50).

Figura 50.

Porcentaje de la población de árboles vivos por área de origen



La cantidad de área superficial de las hojas de las plantas es el factor más importante para generar los beneficios que nos ofrecen los árboles. Dicho dato nos permite el

cálculo de los valores de importancia (VI), a partir de la suma del porcentaje de la población y del porcentaje del área de las hojas. La Tabla 34 hace referencia a las seis especies más destacadas y da un panorama de sus respectivos valores de importancia, donde destacan el Laurel llorón y la Palma washigtonia.

Tabla 34.

Especies de mayor importancia en Carlos M. Esquerro.

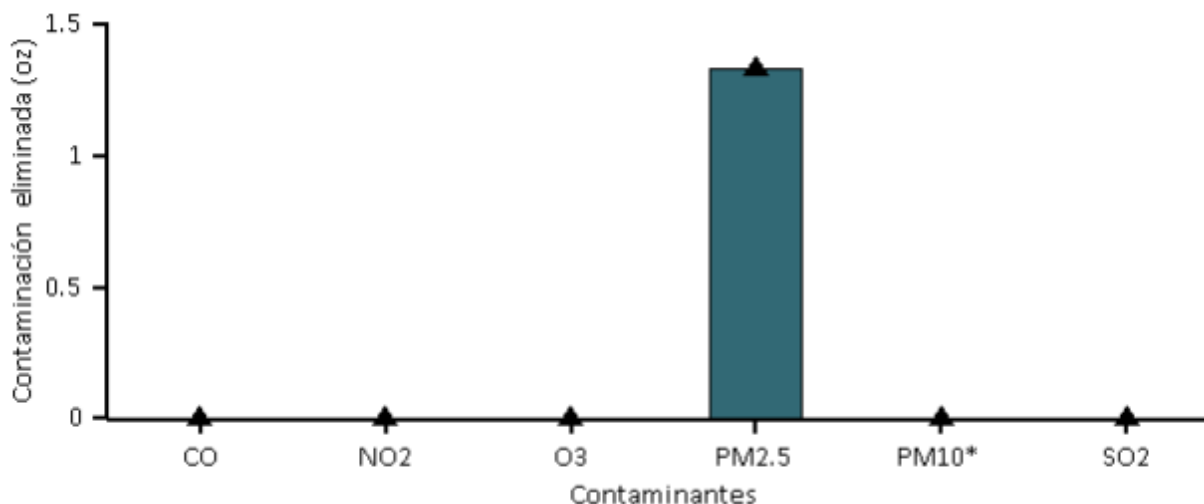
Nombre de la especie	Porcentaje de población	Porcentaje de área de las hojas	IV
Laurel llorón	24.5	64.0	88.5
Palma washigtonia	43.4	7.3	50.7
Olivo negro	22.6	8.2	30.8
<i>Aroeira-pimenteira</i>	3.8	9.5	13.3
Tamarindo	1.9	10.7	12.6
Jacaranda	3.8	0.3	4.1

Cabe resaltar que, aunque una especie tenga los valores de importancia más altos, esto no significa que deba considerarse para proyectos futuros; sino que estas son las que actualmente dominan la estructura del bosque urbano.

La eliminación de contaminación para este proyecto se concentró en el PM_{2.5}. Se estima que la eliminación por la composición de árboles en la calle Carlos M. Esquerro corresponde a 1.334 onzas (0.083 libras) por año (Figura 51).

Figura 51.

Eliminación anual de la contaminación por árboles urbanos



La Tabla 35 y Figura 52 presenta las cifras promedio mensuales de PM_{2.5} que se eliminan por la presencia de los árboles en el área de estudio. Dichos datos muestran que el mes de febrero y septiembre, meses considerados entre los de menor y mayor temperatura respectivamente, son los de mayor eliminación de PM_{2.5} por las especies vegetales del sitio.

Tabla 35.

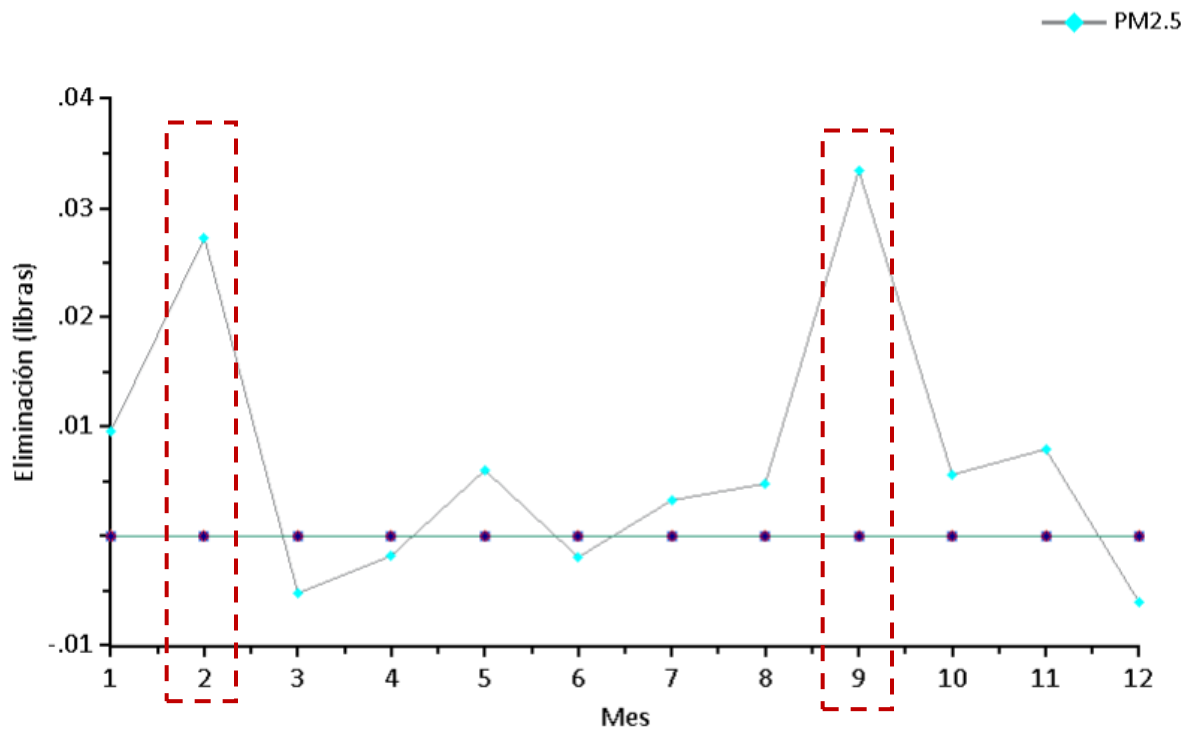
Eliminación de la contaminación por árboles (media, mínima y máxima)

Mes	Media	Máxima	Mínima
Enero	0.010	0.017	0.001
Febrero	0.027	0.052	0.004
Marzo	-0.005	-0.010	-0.001
Abril	-0.002	-0.002	0.000
Mayo	0.006	0.013	0.001
Junio	-0.002	-0.006	0.000
Julio	0.003	0.007	0.000

Agosto	0.005	0.010	0.002
Septiembre	0.033	0.061	0.005
Octubre	0.006	0.009	0.001
Noviembre	0.008	0.015	0.001
Diciembre	-0.006	0.011	-0.001

Figura 52.

Eliminación de la contaminación por árboles mensual promedio

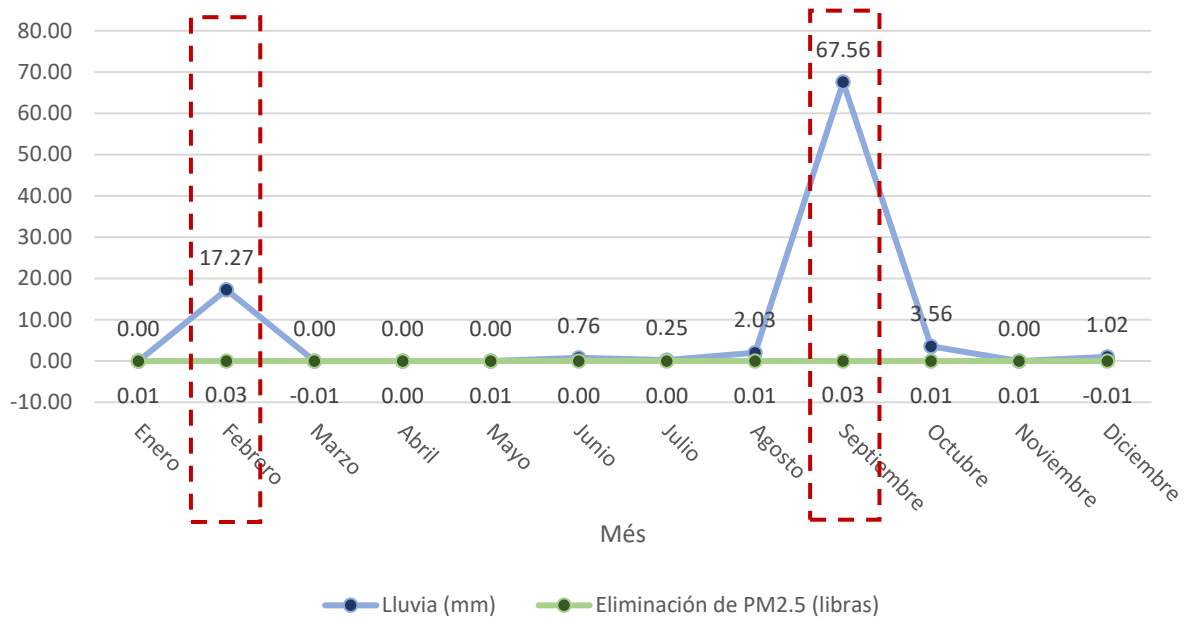


Como se ha mostrado, la variación en las condiciones climáticas y la calidad del aire, influyen en la capacidad de los árboles en aumentar o disminuir la concentración de PM_{2.5}. El ejemplo más claro se muestra en la Figura 53, con el comportamiento de la eliminación de PM_{2.5} en comparación con los días de lluvia presentados durante el 2020. Los meses de septiembre y febrero fueron los más lluviosos del año, con 67.56

y 17.27 mm de lluvia, respectivamente, que a su vez son los que presentaron un incremento en la eliminación de partículas (con 0.03 libras).

Figura 53.

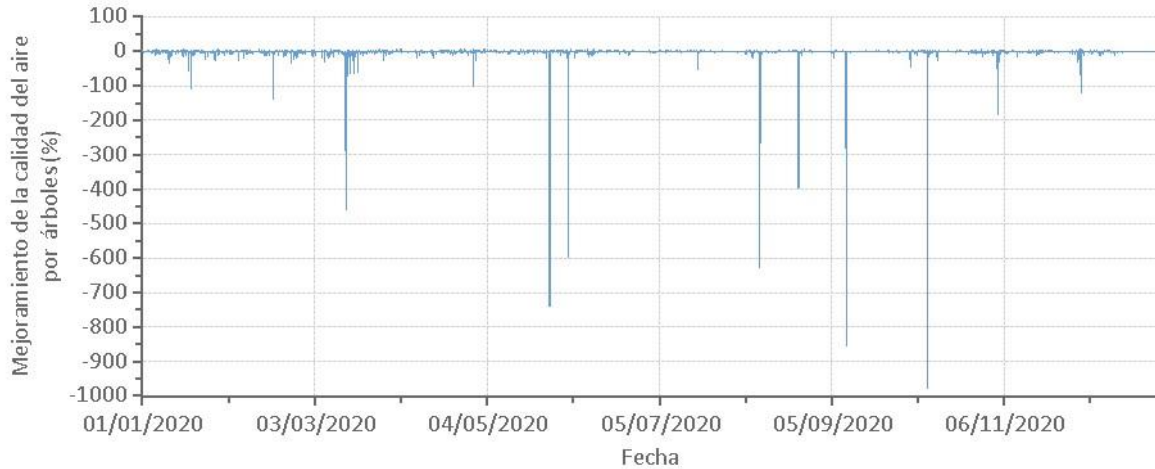
Datos comparativos de la precipitación y eliminación mensual de PM_{2.5}



De igual forma, a partir de los datos meteorológicos y de calidad del aire, i-Tree Eco estimó que, cada hora, los 53 ejemplares de vegetación fueron la causa del mejoramiento de la calidad del aire entre -997.00 % y 8.42 % (Figura 54).

Figura 54.

Mejoramiento de la calidad del aire por árboles



4.1.4.2. *Propuestas de configuraciones*

4.1.4.2.1. *Configuración del proyecto*

El proceso para la configuración de proyecto se realizó bajo las mismas pautas del escenario base. Los datos climatológicos correspondieron al año 2020 de la estación 754050-99999 de NCEI y de la misma manera los datos de contaminación se retomaron de la estación disponible para el software.

La ficha de datos de especies de vegetación se rellenó en función de la investigación teórica de las características óptimas para la deposición y dispersión de la contaminación del aire por PM_{2.5}, y la selección previa de cuatro especies nativas (Tabla 36). Todo ello con la finalidad de determinar la especie nativa de mayor competencia.

Tabla 36.

Escenarios e información de especies de vegetación

Escenario	1	2	3	4
Especie	<i>Quercus brandegeei</i>	<i>Tecomastans</i>	<i>Celtis reticulata</i>	<i>Acacia farnesiana</i>
Identificación del árbol	E-01	E-02	E-03	E-04
Uso de tierra	Comercial/ industrial	Comercial/ industrial	Comercial/ industrial	Comercial/ industrial
Árbol en la calle/no en la calle	Árbol en la calle	Árbol en la calle	Árbol en la calle	Árbol en la calle
Publico/privado	Público	Público	Público	Público
Categoría	Plantado	Plantado	Plantado	Plantado
Muerto	No	No	No	No
D.A.P.	0.60 m ^a	0.25 m ^b	0.20 m ^c	0.40 m ^d
Altura total del árbol	5 m	5 m	5 m	5 m
Tamaño de la copa	Altura a la copa viva	5 m	5 m	5 m
	Altura a la base de la copa ^e	2.4 m	2.4 m	2.4 m
	Ancho de la copa	5.7 m	5.7 m	5.7 m
	Falta del porcentaje de la corona	5.7 m	5.7 m	5.7 m
Condición	100%	100%	100%	100%
Exposición a la luz de la corona	5	5	5	5

Mantenimiento recomendado		Árbol grande (rutina)	Árbol grande (rutina)	Árbol grande (rutina)	Árbol grande (rutina)
Tarea mantenimiento	de	Elevación de copa	Elevación de copa	Elevación de copa	Elevación de copa
Conflicto en aceras		0 a 1.9 cm	1 a 1.9 cm	2 a 1.9 cm	3 a 1.9 cm
Conflicto de servicios		Presentes y sin conflicto potencial	Presentes y sin conflicto potencial	Presentes y sin conflicto potencial	Presentes y sin conflicto potencial
Plagas		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Nota. ^a(Coombes et al., 2020), ^b (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], n.d.-d), ^c (Instituto de Biología UNAM, n.d.), ^d (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], n.d.-a) y ^e (Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA], 2008).

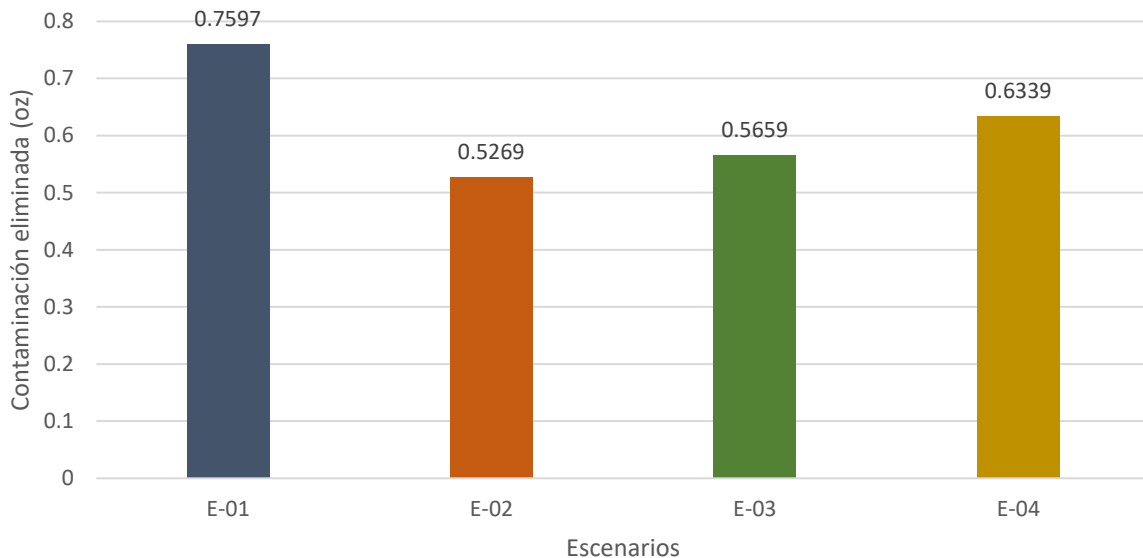
4.1.4.2.2. Eliminación de $PM_{2.5}$ en escenarios propuestos

Cada uno de los cuatro escenarios escenario estuvo compuesto de 49 ejemplares de *Quercus brandegeei* (E-01), *Tecoma stans* (E-02), *Celtis reticulata* (E-03) y *Acacia farnesiana* (E-04). Como bien fue mencionado, el modelo fue ejecutado en una sola ocasión con datos meteorológicos y de contaminación disponibles del 2020.

Aunque se contó con características similares, la eliminación de $PM_{2.5}$ mostró diferencias de comportamiento en cada escenario. E-01 fue el más efectivo con 0.7597 oz anual, seguido de E-04 con 0.6339 oz, E-03 con 0.5659 oz y finalmente E-02 con 0.5269 oz (Figura 55).

Figura 55.

Eliminación anual de PM_{2.5} por árboles urbanos en los escenarios



La Tabla 37 muestra la eliminación de PM_{2.5} por árboles mensual promedio. Los cuatro escenarios muestran un comportamiento similar; sin embargo, las mayores diferencias se encuentran en los meses que presentan mayor eliminación, principalmente el escenario E-01, donde se eliminaron 0.016 y 0.019 libras en los meses de febrero y septiembre, respectivamente (Figura 56). Cabe resaltar que, de nueva cuenta, estos coinciden con los de mayor precipitación al año.

Tabla 37.

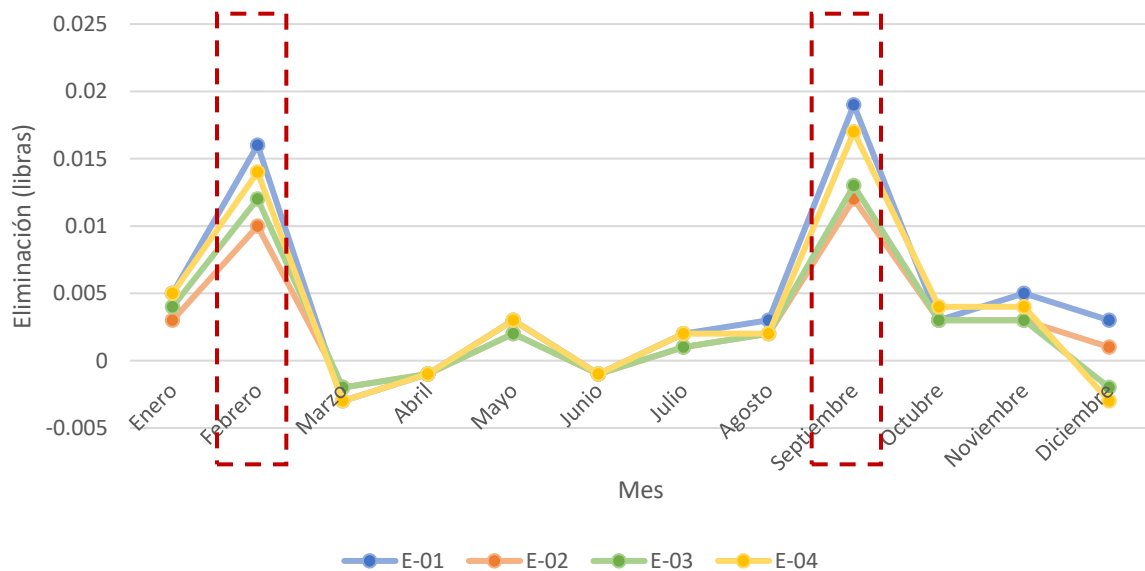
Eliminación de la contaminación por árboles promedio de los escenarios

Mes	E-01	E-02	E-03	E-04
Enero	0.005	0.003	0.004	0.005
Febrero	0.016	0.01	0.012	0.014
Marzo	-0.003	-0.002	-0.002	-0.003
Abril	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
Mayo	0.003	0.002	0.002	0.003

Junio	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
Julio	0.002	0.001	0.001	0.002
Agosto	0.003	0.002	0.002	0.002
Septiembre	0.019	0.012	0.013	0.017
Octubre	0.003	0.003	0.003	0.004
Noviembre	0.005	0.003	0.003	0.004
Diciembre	0.003	0.001	-0.002	-0.003

Figura 56.

Comparación de la eliminación de PM_{2.5} por árboles mensual promedio de los escenarios



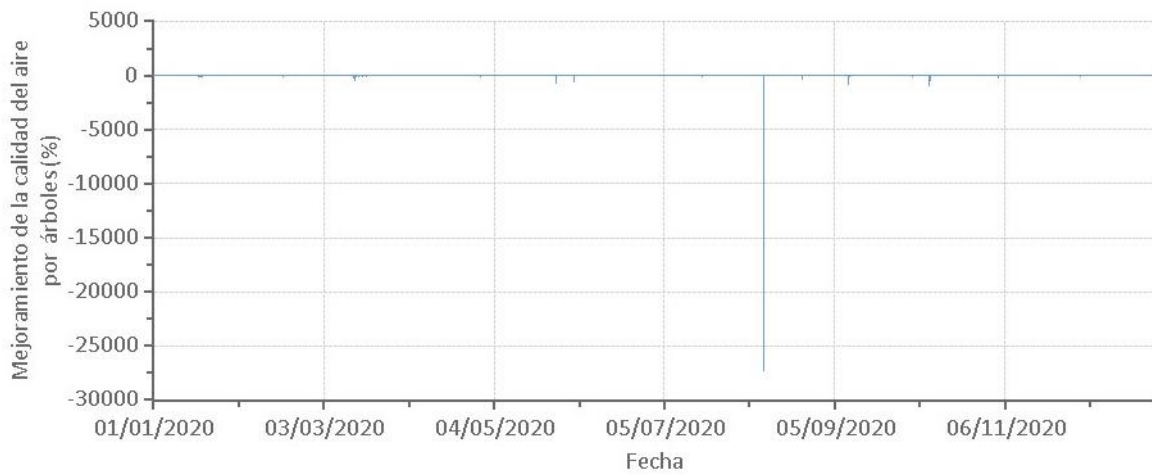
En cuanto al mejoramiento de la calidad del aire, se encontró que E-01 mejoró entre un -27000 % y un 8.34 %, sin embargo, cabe destacar que las cifras negativas se dieron de manera puntual. E-02, presentó cifras entre -522 % y 5.21 %. Por su parte,

E-03 en su momento más crítico tuvo -4900 % de mejora y en su mejor periodo 6.04 %. Finalmente, E-04 presenta cifras que van desde un -657 % a un 7.34 % (Figura 57).

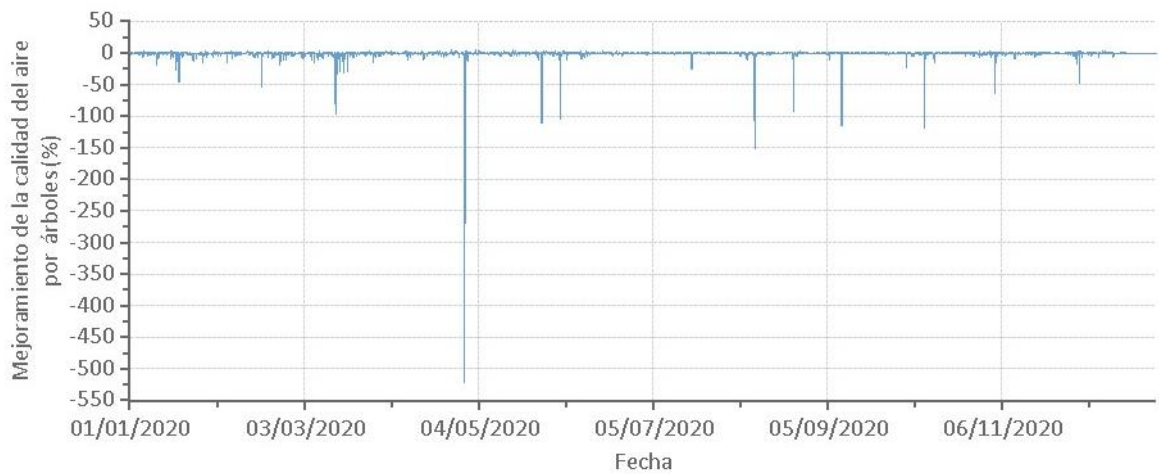
Figura 57.

Mejoramiento de la calidad del aire por árboles en cada escenario

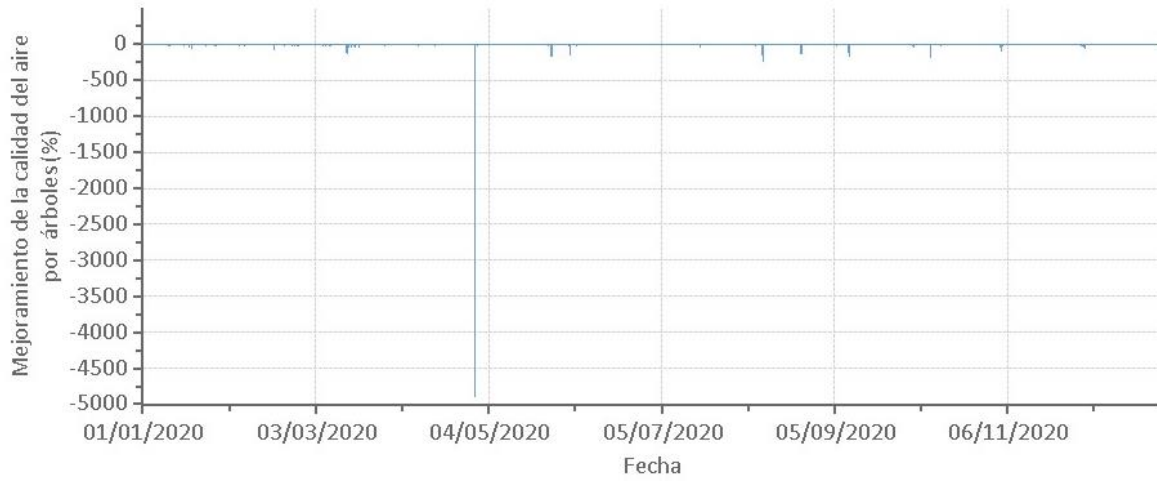
E-01



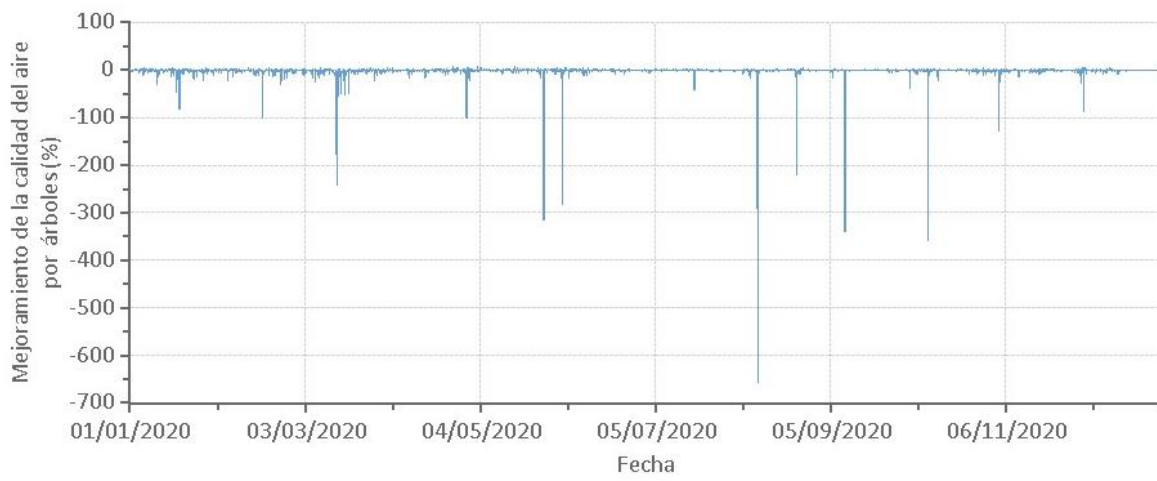
E-02



E-03



E-04



4.2. Discusión

Los resultados demuestran la importancia del manejo adecuado de las especies de vegetación en la contribución a la mejora de la calidad del aire. El empleo de diversas especies de vegetación ha sido estudiado en países como China (L. Chen et al., 2017; K. Zhao et al., 2022), Reino Unido (K. Zhao et al., 2022), Italia (L. Chen et al., 2017), entre otros, sin embargo, aún es limitada la información del desempeño de especies originarias de climas cálido-seco. Este estudio se enfoca en la evaluación de la capacidad del mejoramiento ambiental de especies nativas de la ciudad de La Paz, B.C.S., caracterizado por su clima cálido-seco. Se consideró paralelamente el estado de la calidad del aire y las condiciones climáticas (precipitación y temperatura), a través de la ejecución de cinco escenarios, un escenario base y cuatro propuestas de configuraciones de arbolado urbano, por medio del software i-Tree Eco versión 6.

Primeramente, la estación de monitoreo CANACO, ubicada en el cañón urbano Carlos M. Esquerro reveló que, en el periodo de verano de 2023- invierno de 2024, las concentraciones de $PM_{2.5}$ fueron dominantes durante el verano sobre el invierno (en general, en un 45.92 %) (Figura 44). Las concentraciones de $PM_{2.5}$ a nivel de calle durante estas estaciones también fueron observados por Song et al., (2022), quienes expusieron que en verano seco y caluroso la concentración de masa promedio de $PM_{2.5}$ tiende a ser mayor ($7.0 \pm 3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que en invierno frío y húmedo ($5.8 \pm 2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En contraste, los datos proporcionados por i-Tree Eco al año 2020 reflejan que en temporadas más frías los niveles de partículas presentaban un aumento considerable casi todos los días (entre 0.90 a $4.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de diferencia) (Figura 44). Si bien, los resultados obtenidos del monitoreo se contraponen a los de la base de datos del software, esto puede deberse a las diferentes geometrías de los sitios medidos, ya que estas muestran una influencia significativa en las características de dispersión de las partículas suspendidas en una vialidad urbana, así como las condiciones del viento y las fuentes de contaminación emitidas (Ezhilkumar et al., 2022). Un claro ejemplo, son las diferencias entre las estaciones monitoreadas, la estación CANACO y la estación Hotel Perla, donde si bien, su comportamiento diario fue similar, la estación Hotel Perla

presentan niveles superiores ($1.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ más los martes) a los de la estación CANACO a pesar de su cercanía (165 m de distancia). Asimismo, la estacionalidad de las especies incide en el proceso de deposición seca de $\text{PM}_{2.5}$, si el follaje disminuye en época más fría, lo debilita y se incrementan los niveles de contaminación (hasta en un 5.9 %), sucede lo contrario, en la época cálida de mayor exposición solar y que propicia la aparición de hojas (L. Zhang et al., 2022).

El escenario base (E-00) nos muestra la eficiencia de diversas especies nativas e inducidas que incluyen *Tamarindus indica* (Tamarindo), *Washingtonia robusta* (palma washigtonia), *Jacaranda mimosifolia* (Jacaranda), *Bucida buceras* (Olivo negro), *Ficus benjamina* (Laurel llorón) y *Schinus terebinthifolius* (Aroeira-pimenteira). Los resultados obtenidos en E-00 revelan que, aun sin ser la especie de mayor presencia en el sitio estudiado (24.5 %), el Laurel llorón al contar con un porcentaje de área de las hojas superior al resto de las especies (del 64 %), presenta un valor de importancia superior de 88.5 %. En contraste con la Palma washigtonia que, incluso al contar con un porcentaje de población alto (43.4 %), posee un porcentaje de área de las hojas de solo el 7.3 %, que disminuye su importancia de valor a un 50.7%. Esto demuestra que la cantidad de área superficial de las hojas de las plantas es un factor crucial en la deposición y consecuentemente la eliminación de contaminantes en el ambiente. Sun et al. (2021), en acuerdo con estos resultados, encontró que a mayor superficie foliar existe una mayor retención de partículas de polvo, por lo que especies de estas características, como *Viburnum odoratissimum*, son altamente efectivas, con una cifra promedio de deposición de polvo por hoja de 30.193×10^{-3} g.

El análisis mensual de la eliminación de $\text{PM}_{2.5}$ en el escenario base indica que los meses de febrero y septiembre muestran los niveles más altos de eliminación, con 0.027 y 0.033 libras, respectivamente. Hecho que se correlaciona positivamente con los meses de mayor precipitación en la zona (Figura 53). Dicho fenómeno se debe a que los períodos prolongados sin la presencia de lluvias evitan el lavado de partículas en las hojas que provoca la resuspensión de contaminantes en el aire y disminuye la cantidad de eliminación de $\text{PM}_{2.5}$. Por ello, como se muestra en la Figura 53 de la sección de resultados, en la vegetación urbana, largos periodos de sequía pueden ser

responsables de una eliminación menos eficiente de agentes contaminantes (Pace & Grote, 2020).

Finalmente, se evaluaron diversas características morfológicas de las especies arbóreas (*Quercus brandegeei*, *Tecoma stans*, *Celtis reticulata* y *Acacia farnesiana*), tales como tipo de hoja, altura máxima de la especie, surcos en hojas, composición de la hoja, rugosidad de la hoja, presencia de tricomas, longitud de peciolo y dimensión de la hoja. Uno de los factores más importantes a considerar es la presencia de las hojas, debido a que el follaje de los árboles es una característica determinante en la eliminación de las PM_{2.5} del aire (X. Zhao et al., 2019). Esto fue demostrado a través de los resultados en la eliminación de PM_{2.5} de las especies seleccionadas. Entre las especies propuestas, *Quercus brandegeei*, el único grupo de tipo de hoja perenne, logro los resultados más favorables. La eficacia de la implementación de árboles y arbustos de hoja perenne a nivel de calle ha sido demostrada por la literatura (Wu et al., 2021). En 2015, Zhang et al. (2021) encontró que, en la ciudad de Beijing, China, 58 especies de árboles existentes (10 especies perennes y 10 especies caducas) eliminaron 453.6 t, de las cuales 283.0 t fueron en la época con hojas y 170.6 t en la época sin hojas, con lo que se comprobó el valor de importancia de la hoja perenne sobre la caduca.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Este estudio tiene como objetivos: a) Seleccionar un cañón urbano de la ciudad de La Paz, B.C.S. como área de estudio, b) categorizar el estado actual de la cobertura vegetal presente, c) ejecutar el monitoreo del sitio de estudio y un sitio de referencia por medio dos equipos PurpleAir Quality Monitor, d) simular el escenario base y cuatro propuestas de configuraciones, e) determinar las especies nativas con mayor impacto en la mejora de la calidad del aire y f) valorar la mejora a través del software i-Tree Eco versión 6. Finalmente, se buscó sustentar cuál es la configuración de arbolado urbano óptima para lograr una mejora en la calidad del aire, con respecto a las concentraciones de PM_{2.5}, a nivel de cañón urbano en la ciudad de La Paz, Baja California Sur. A partir de esto, se llegó a las siguientes conclusiones:

A partir de los resultados, se determinó que la hipótesis planteada de que la implementación de una configuración de arbolado urbano, que incluya especies nativas de la región en un cañón urbano ubicado en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, influirá positivamente en la disminución de las concentraciones de PM_{2.5} en la calidad del aire del sitio de estudio es aceptada.

Al considerar las características definidas a partir de la literatura consultada, se determinó que el cañón urbano óptimo como área de estudio para la investigación es el ubicado en la calle Carlos M. Esquerro en la ciudad de La Paz, B. C. S.

En la calle Carlos M. Esquerro habitan tanto especies nativas como inducidas, que incluyen *Tamarindus indica*, *Washingtonia robusta*, *Jacaranda mimosifolia*, *Bucida buceras*, *Ficus benjamina* y *Schinus terebinthifolius*. Entre ellas destacan *Washingtonia robusta*, *Ficus benjamina* y *Bucida buceras* con un 43.4 %, 24.5 % y 22.6 % de porcentaje de población, respectivamente.

Con relación a la condición actual de la calidad del aire del sitio de estudio (Hotel Perla) y de referencia (CANACO), en general, en ambas estaciones, los niveles de PM_{2.5} estuvieron por debajo de los límites permisibles por la OMS y por la NOM-025-SSA1-2014. Los valores diarios mostraron que los días más críticos fueron los correspondientes al fin de semana. Por otro lado, los datos horarios reflejaron niveles de contaminación más altos durante la noche, madrugada y mañana. Sin embargo, cabe destacar que, aunque ambos puntos presentan tendencias similares, el Hotel

Perla muestra niveles ligeramente superiores a los de la estación CANACO. Finalmente, se encontró que los niveles de contaminación en verano sobrepasan a los de invierno.

Se ejecutaron cinco escenarios controlados de configuraciones de arbolado urbano: escenario base (E-00), escenario *Quercus brandegeei* (E-01), escenario *Tecoma stans* (E-02), escenario *Celtis reticulata* (E-03) y escenario *Acacia farnesiana* (E-04).

Entre especies nativas existen diferencias en su desempeño en la eliminación de contaminantes por deposición seca. Esto fue comprobado al analizar el rendimiento de los cuatro escenarios propuestos, ya que, aun bajo las mismas condiciones, *Quercus brandegeei* mostró mejores resultados en comparación con *Acacia farnesiana*, *Celtis reticulata* y *Tecoma stans*, que tuvieron una eliminación más baja.

Un escenario integrado por 49 ejemplares de *Quercus brandegeei* logró una eliminación de 0.7597 oz por año. Si bien, el uso de flora nativa no necesariamente implica una mayor eliminación de PM_{2.5}, existen especies que logran un desempeño similar o superior al de las especies inducidas. Además, que al incluir plantas endémicas del sitio estudiado, dada su adaptabilidad al entorno, se creará un mejor hábitat para las especies silvestres y permitirá reforzar la identidad del entorno natural de la zona (MacAdam et al., 2014)

Existen diversos factores que determinan la efectividad de las especies para la captura de partículas, tales como tipo de hoja, altura máxima de la especie, surcos en hojas, composición de la hoja, rugosidad de la hoja, presencia de tricomas, longitud de peciolo y dimensión de la hoja. Sin embargo, en este estudio se demostró la importancia del tipo de hojas, ya que árboles de hoja perenne, al contar con follaje durante todo el año, tienden a eliminar una mayor cantidad de material particulado.

Para futuras investigaciones se deberán tener en cuenta diversos aspectos. Primeramente, si bien se realizó un monitoreo que abarcó dos periodos estacionales, considerar una etapa de transición entre estos, permitiría la actualización de los datos de contaminación y climatológicos en el software i-Tree Eco y a su vez generará datos más precisos a las condiciones del sitio de estudio.

Aunque este estudio provee una exploración inicial del desempeño especies de climas cálido-seco en la eliminación de $PM_{2.5}$ a través de la deposición seca, futuras investigaciones deberán estudiar a fondo el efecto de los vientos en la dispersión de contaminantes. Asimismo, el trabajo presentado proporciona información específica de cada especie con base las características de las hojas que pueden ser medidas directamente o a través de fuentes bibliográficas, sin embargo, consideramos que puede integrarse el estudio de otros rasgos, tales como, tolerancia a la luz, relación aspecto de la hoja y desviación fractal de la hoja, lo cual puede ampliar el panorama y optimizarían la selección de las especies.

Finalmente, otro factor a considerar como una futura línea de investigación, es el estudio de la integración de las especies al ambiente seleccionado, ya que, a pesar de enfocarse en vegetación nativa, para ingresarlas de manera parcial a un ambiente con otras especies, se deben considerar aspectos como depredación, competencia, organismos patogénicos, enfermedades y el efecto “efecto nodriza”.

REFERENCIAS

- Aguilar, C. (2022). *Lysiloma candida: Palo Blanco*. Nativas Del Desierto Sonorense. <https://www.sonorandesertplants.com/post/lysiloma-candida-palo-blanco#:~:text=Es un árbol perenne%2C de,a la distancia%2C la segunda>
- Algara Sille, M., Hernández, L. D., Ramos Palacios, C. R., García Esquivel, A. K., Villarreal Iturriaga, M. de J., & Zárata Figueroa, I. (2021). *Jacaranda/ Jacaranda*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí [UASLP]. <https://ambiental.uaslp.mx/Biodiversidad/FichaTecnica/190>
- Alpaidze, L., & Pace, R. (2021). Ecosystem services provided by urban forests in the southern caucasus region: A modeling study in Tbilisi, Georgia. *Climate*, 9(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/cli9110157>
- Andersson-Sköld, Y., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A., Moback, U., Bergman, R., & Granberg, M. (2015). An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas. *Climate Risk Management*, 7, 31–50. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.01.003>
- Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A. J., Ezzati, M., & Pope, C. A. (2018). Ambient PM_{2.5} reduces global and regional life expectancy. *Environmental Science and Technology Letters*, 5(9), 546–551. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00360>
- Apte, J. S., Marshall, J. D., Cohen, A. J., & Brauer, M. (2015). Addressing Global Mortality from Ambient PM_{2.5}. *Environmental Science and Technology*, 49(13), 8057–8066. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01236>
- Arizona Board of Regents. (2012). *Ficus palmeri*. The University of Arizona. <https://apps.cals.arizona.edu/arboretum/taxon.aspx?id=1080>
- Autrup, H. (2010). Ambient air pollution and adverse health effects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(5), 7333–7338. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.05.089>
- Ayhan, B., & Kwan, C. (2020). Tree, shrub, and grass classification using only RGB

- images. *Remote Sensing*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/RS12081333>
- Baca-Santini, C. E., & Vazquez-Gálvez, F. A. (2015). Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua*, IX(3), 171–179.
- Banks, J. (1999). Introduction to simulation. *Winter Simulation Conference Proceedings*, 1, 7–13. <https://doi.org/10.1145/324138.324142>
- 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/10.1016/S0269-7491\(98\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00016-5)
- Benedict, M. & McMahon, E. (2006). Green infrastructure: linking landscapes and communities. In *ISLANDPRESS*.
- Bermúdez, A. (2016). *Inventario de emisiones de la ciudad de La Paz, Baja California Sur*. <https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2017/10/Inventario-de-emisiones-La-Paz-Informe-final.pdf>
- Bonilla-Bedoya, S., Zalakeviciute, R., Coronel, D. M., Durango-Cordero, J., Molina, J. R., Macedo-Pezzopane, J. E., & Herrera, M. Á. (2021). Spatiotemporal variation of forest cover and its relation to air quality in urban Andean socio-ecological systems. *Urban Forestry and Urban Greening*, 59(February). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127008>
- Carson, J. (2004). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004*. <https://doi.org/10.1109/WSC.2004.1371297>
- Castañón, C., Díaz, G., Fierro, S., & Torres, G. (n.d.). Desarrollo sustentable. *BUDI*, III, 113–140. <https://doi.org/10.2307/j.ctvtwx358.8>
- Centro de Energía Renovable y Calidad Ambiental [CERCA]. (n.d.). *Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire*. CERCA Energia y Aire Limpios. <https://airelimpiobcs.org.mx/>
- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. [CIBNOR]. (n.d.-a). Mezquite. *CIBNOR*. https://www.cibnor.gob.mx/guyiaqui/fichas/Prosopis_articulata.pdf

- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. [CIBNOR]. (n.d.-b). *Torote Colorado*. CIBNOR.
https://www.cibnor.gob.mx/guyiaqui/fichas/Bursera_microphylla.pdf
- Chen, L., Liu, C., Zhang, L., Zou, R., & Zhang, Z. (2017). Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter (PM2.5). *Scientific Reports*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03360-1>
- Chen, X., Wang, X., Wu, X., Guo, J., & Zhou, Z. (2021). Influence of roadside vegetation barriers on air quality inside urban street canyons. *Urban Forestry and Urban Greening*, 63(April 2018), 127219. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127219>
- Choi, Y., Ji, E., & Chon, J. (2021). Development and verification of the effectiveness of a fine dust reduction planting model for socially vulnerable area. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13168820>
- Collaboration for Environmental Evidence (CEE). (2013). Guidelines for Systematic Reviews in Environmental Management. *Centre for Evidence-Based Conservation Bangor University, UK, March*, 80. <http://www.environmentalevidence.org/wp-content/uploads/2014/06/Review-guidelines-version-4.2-final.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (n.d.-a). *Acacia farnesiana*. CONABIO. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71095-0_43
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (n.d.-b). *Herbario virtual*. Biodiversidad Mexicana. <http://www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (n.d.-c). *Leucaena leucocephala*. CONABIO. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1764-0_86
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (n.d.-d). *Tecoma stans (L.)*. CONABIO. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/12-bigno8m.PDF
- CONABIO. (2013). Ficha Técnica *Tamarindus indica*. *Species Plantarum*, 1753, 91–

95. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/22-legum52.pdf

CONAFOR, & CONABIO. (n.d.). *Bucida buceras L.* 1, 4–8.

Coombes, A., Valencia, S., & Rodríguez, M. (2020). La importancia de cultivar encinos. *Manual Para La Propagación de Quercus: Una Guía Fácil y Rápida Para Cultivar Encinos En México y América Central*, 5–20.

Daily, G. (1997). Introduction: What are ecosystem services? In *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* (Vol. 1, Issue 1). Island Press, Washington, DC.

de Lucio, J. V. (2016). Infraestructura verde urbana. *Ambienta*, 60–75. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/PDF_AM_Ambienta_2016_115_60_75.pdf

Dhital, S., & Rupakheti, D. (2019). Bibliometric analysis of global research on air pollution and human health: 1998–2017. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(13), 13103–13114. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04482-x>

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2014). *Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014*.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014&print=true

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010. *Norma Oficial Mexicana*.

<https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

Diener, A., & Mudu, P. (2021). How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective - with implications for urban planning. *Science of the Total Environment*, 796, 148605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148605>

Donateo, A., Rinaldi, M., Paglione, M., Villani, M. G., Russo, F., Carbone, C., Zanca, N., Pappaccogli, G., Grasso, F. M., Busetto, M., Sängner, P., Ciancarella, L., & Decesari, S. (2021). An evaluation of the performance of a green panel in

- improving air quality, the case study in a street canyon in Modena, Italy. *Atmospheric Environment*, 247(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118189>
- Du, J., Zhang, X., Huang, T., Gao, H., Mo, J., Mao, X., & Ma, J. (2019). Removal of PM_{2.5} and secondary inorganic aerosols in the North China Plain by dry deposition. *Science of the Total Environment*, 651, 2312–2322. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.024>
- East, J., Montealegre, J. S., Pachon, J. E., & Garcia-Menendez, F. (2021). Air quality modeling to inform pollution mitigation strategies in a Latin American megacity. *Science of the Total Environment*, 776, 145894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145894>
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2022). Air Data Basic Information. U.S. Environmental Protection Agency. [https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/air-data-basic-information#:~:text=The AQI \(Air Quality Index\)&text=The AQI is an index,runs from 0 to 500](https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/air-data-basic-information#:~:text=The AQI (Air Quality Index)&text=The AQI is an index,runs from 0 to 500).
- Ersoy Tonyaloğlu, E., & Atak, B. K. (2021). Impact of land cover change on urban tree cover and potential regulating ecosystem services: the case of Aydın/Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(11), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09531-y>
- Ezhilkumar, M. R., Karthikeyan, S., Aswini, A. R., & Hegde, P. (2022). Seasonal and vertical characteristics of particulate and elemental concentrations along diverse street canyons in South India. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(57), 85883–85903. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15272-9>
- Ezzati, M., Lopez, A., Rodgers, A., & Murray, C. (2004). Comparative quantification of health risks. In *World Health Organization*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42770>
- Fang, C., Liu, H., Li, G., Sun, D., & Miao, Z. (2015). Estimating the impact of urbanization on air quality in China using spatial regression models. *Sustainability (Switzerland)*, 7(11), 15570–15592. <https://doi.org/10.3390/su71115570>

- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., & Gori, A. (2020). Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/su12104247>
- Florida Greenways Commission. (1994). Creating a Statewide Greenways System: For People ... for Wildlife ... for Florida. In *Report to the Governor, Tallahassee* (p. 186). <https://floridadep.gov/sites/default/files/1994FloridaGreenwaysCommissionPlan.pdf>
- Fowler, D., Brimblecombe, P., Burrows, J., Heal, M. R., Grennfelt, P., Stevenson, D. S., Jowett, A., Nemitz, E., Coyle, M., Lui, X., Chang, Y., Fuller, G. W., Sutton, M. A., Klimont, Z., Unsworth, M. H., & Vieno, M. (2020). A chronology of global air quality: The development of global air pollution. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2183). <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0314>
- Fu, X., Liu, J., Ban-Weiss, G. A., Zhang, J., Huang, X., Ouyang, B., Popoola, O., & Tao, S. (2017). Effects of canyon geometry on the distribution of traffic-related air pollution in a large urban area: Implications of a multi-canyon air pollution dispersion model. *Atmospheric Environment*, 165, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.031>
- Fuentes Freixanet, V. A. (2002). *Metodología de Diseño Bioclimático: El Análisis Climático*. 357.
- Gómez-Moreno, F. J., Artíñano, B., Ramiro, E. D., Barreiro, M., Núñez, L., Coz, E., Dimitroulopoulou, C., Vardoulakis, S., Yagüe, C., Maqueda, G., Sastre, M., Román-Cascón, C., Santamaría, J. M., & Borge, R. (2019). Urban vegetation and particle air pollution: Experimental campaigns in a traffic hotspot. *Environmental Pollution*, 247, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.016>
- Google. (n.d.). *Google Earth*. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>
- Grylls, T., & van Reeuwijk, M. (2022). How trees affect urban air quality: It depends on the source. *Atmospheric Environment*, 290(July), 119275.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119275>

- H. Congreso del Estado de Baja California Sur. (2019). *Ley de protección y conservación de arboles urbanos y zonas verdes para el estado y municipio de Baja California Sur*. 1–15. <https://www.cbcs.gob.mx/index.php/cmPLY/1508-ley-proteccion-ambiente-bcs>
- H. XVI Ayuntamiento de La Paz, B. C. S. (2018). *Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Poblacion de La Paz, B.C.S.* (Vol. 53, Issue 9). <https://www.lapaz.gob.mx/images/marco-normativo/PDUCP-La-Paz-2018.pdf>
- Han, L., Zhou, W., & Li, W. (2016). Fine particulate (PM_{2.5}) dynamics during rapid urbanization in Beijing, 1973-2013. *Scientific Reports*, 6(March), 1–5. <https://doi.org/10.1038/srep23604>
- He, C., Qiu, K., Alahmad, A., & Pott, R. (2020). Particulate matter capturing capacity of roadside evergreen vegetation during the winter season. *Urban Forestry and Urban Greening*, 48(November 2019), 126510. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126510>
- Hernández Vaca, B. A., Hernández Hernández, V., & Colli Mull, J. (n.d.). Germinación y sobrevivencia de lysiloma consorcios bacterianos. *Instituto Tecnológico Superior de Irapuato*.
- Hong, B., Lin, B., & Qin, H. (2017). Numerical investigation on the effect of avenue trees on PM_{2.5} dispersion in urban street canyons. *Atmosphere*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/atmos8070129>
- Hu, C. B., Zhang, F., Gong, F. Y., Ratti, C., & Li, X. (2020). Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning. *Building and Environment*, 167(May 2019), 106424. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106424>
- i-Tree Cooperative. (n.d.). *Species Database*. I-Tree Database. <https://database.itreetools.org/#/species>
- iNaturalistMX. (n.d.). *Plantas*. INaturalist. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/47126-Plantae>

Instituto de Biología UNAM. (n.d.). *Celtis reticulata* Torr. Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares.
<https://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:333904>

Instituto Municipal de Planeación del Valle de Santiago. (n.d.). *Proyecto de evaluación y conservación de áreas naturales protegidas del municipio de Valle de Santiago, Gto.* <https://implan.valledesantiago.gob.mx/files/Anexo-2-Fichas-tecnicas-plantas-protegidas.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.* Censo de Población y Vivienda 2020.
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130–137.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>

Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. M., Muthukumaran, S., & Perera, B. J. C. (2017). Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry and Urban Greening*, 21, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.007>

Jeanjean, A. P. R., Monks, P. S., & Leigh, R. J. (2016). Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM_{2.5} reduction via dispersion and deposition at a city scale. *Atmospheric Environment*, 147, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.033>

Jeong, N. R., Han, S. W., & Kim, J. H. (2022). Evaluation of vegetation configuration models for managing particulate matter along the urban street environment. *Forests*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/f13010046>

Jeong, N. R., Han, S. W., & Ko, B. (2023). Effects of Green Network Management of Urban Street Trees on Airborne Particulate Matter (PM_{2.5}) Concentration. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3).
<https://doi.org/10.3390/ijerph20032507>

Jo, H. K., Kim, J. Y., & Park, H. M. (2020). Carbon and PM_{2.5} reduction and design guidelines for street trees in Korea. *Sustainability (Switzerland)*, 12(24), 1–12.

<https://doi.org/10.3390/su122410414>

- Junior, D. P. M., Bueno, C., & da Silva, C. M. (2022). The Effect of Urban Green Spaces on Reduction of Particulate Matter Concentration. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108(6), 1104–1110. <https://doi.org/10.1007/s00128-022-03460-3>
- Kandelan, S. N., Yeganeh, M., Peyman, S., Panchabikesan, K., & Eicker, U. (2022). Environmental study on greenery planning scenarios to improve the air quality in urban canyons. *Sustainable Cities and Society*, 83(June), 103993. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103993>
- Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, 120, 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087>
- Karttunen, S., Kurppa, M., Auvinen, M., Hellsten, A., & Järvi, L. (2020a). Large-eddy simulation of the optimal street-tree layout for pedestrian-level aerosol particle concentrations – A case study from a city-boulevard. *Atmospheric Environment: X*, 6(April). <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2020.100073>
- Karttunen, S., Kurppa, M., Auvinen, M., Hellsten, A., & Järvi, L. (2020b). Large-eddy simulation of the optimal street-tree layout for pedestrian-level aerosol particle concentrations – A case study from a city-boulevard. *Atmospheric Environment: X*, 6(March). <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2020.100073>
- Kokkonen, T. V., Xie, Y., Paasonen, P., Gani, S., Jiang, L., Wang, B., Zhou, D., Qin, W., Nie, W., Kerminen, V. M., Petäjä, T., Sun, J., Kulmala, M., & Ding, A. (2021a). The effect of urban morphological characteristics on the spatial variation of PM_{2.5} air quality in downtown Nanjing. *Environmental Science: Atmospheres*, 1(7), 481–497. <https://doi.org/10.1039/d1ea00035g>
- Kokkonen, T. V., Xie, Y., Paasonen, P., Gani, S., Jiang, L., Wang, B., Zhou, D., Qin, W., Nie, W., Kerminen, V. M., Petäjä, T., Sun, J., Kulmala, M., & Ding, A. (2021b). The effect of urban morphological characteristics on the spatial variation of

- PM2.5 air quality in downtown Nanjing. *Environmental Science: Atmospheres*, 1(7), 481–497. <https://doi.org/10.1039/d1ea00035g>
- Kumar, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T. S., Hoang, U., Hama, S., Tiwari, A., Sharma, A., Abhijith, K. V., Adlakha, D., McNabola, A., Astell-Burt, T., Feng, X., Skeldon, A. C., de Lusignan, S., & Morawska, L. (2019). The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environment International*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181>
- Kumar, P., Lekhana, P., Tejaswi, M., & Chandrakala, S. (2020). Effects of vehicular emissions on the urban environment- a state of the art. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6314–6320. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.739>
- Kumar, P., Zavala-Reyes, J., Tomson, M., & Kalaiarasan, G. (2022). Understanding the effects of roadside hedges on the horizontal and vertical distributions of air pollutants in street canyons. *Environment International*, 158(September 2021), 106883. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106883>
- Lee, J. E., Lim, H. J., & Kim, Y. Y. (2021). Publication trends in research on particulate matter and health impact over a 10-year period: 2009–2018. *Environmental Health and Toxicology*, 36(1). <https://doi.org/10.5620/eaht.2021005>
- Lee, T., Cha, J., & Sung, S. (2021). Can architectural surfaces capture atmospheric particulate matter like trees? A design strategy to mimic leaf traits. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13147637>
- León De La Luz, J. L., Domínguez Cadena, R., Domínguez León, M., & Coria Benet, R. del C. (2014). *Flora iconográfica de Baja California Sur 2*.
- Li, K., Li, C., Hu, Y., Xiong, Z., & Wang, Y. (2023). Quantitative estimation of the PM2.5 removal capacity and influencing factors of urban green infrastructure. *Science of the Total Environment*, 867(January), 161476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161476>
- Li, K., Li, C., Liu, M., Hu, Y., Wang, H., & Wu, W. (2021). Multiscale analysis of the effects of urban green infrastructure landscape patterns on PM2.5 concentrations

- in an area of rapid urbanization. *Journal of Cleaner Production*, 325(June), 129324. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129324>
- Li, L., Wang, K., Sun, Z., Wang, W., Zhao, Q., & Qi, H. (2021). Bottom-up emission inventory and its spatio-temporal distribution from paved road dust based on field investigation: A case study of Harbin, Northeast China. *Atmosphere*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/atmos12040449>
- Li, L., Zheng, M., Zhang, J., Li, C., Ren, Y., Jin, X., & Chen, J. (2023). Effects of green infrastructure on the dispersion of PM_{2.5} and human exposure on urban roads. *Environmental Research*, 223(February). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115493>
- Lin, Y., Yuan, X., Zhai, T., & Wang, J. (2020). Effects of land-use patterns on PM_{2.5} in China's developed coastal region: Exploration and solutions. *Science of the Total Environment*, 703, 135602. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135602>
- Liu, J., Li, X., Liu, S., Liu, L., Wu, J., Wang, R., Cao, J., & Li, G. (2021). Assessment of the emission mitigation effect on the wintertime air quality in the Guanzhong Basin, China from 2013 to 2017. *Atmospheric Pollution Research*, 12(10), 101196. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101196>
- Liu, J., & Zheng, B. (2023). A Simulation Study on the Influence of Street Tree Configuration on Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) Concentration in Street Canyons. *Forests*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/f14081550>
- Liu, J., Zheng, B., Xiang, Y., & Fan, J. (2022). The Impact of Street Tree Height on PM_{2.5} Concentration in Street Canyons: A Simulation Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912378>
- Luo, X., Sun, K., Li, L., Wu, S., Yan, D., Fu, X., & Luo, H. (2021). Impacts of urbanization process on PM_{2.5} pollution in "2+26" cities. *Journal of Cleaner Production*, 284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124761>
- MacAdam, J., DeRoussel, J., Murrieta-Saldivar, J., Roach, K., Shipek, C., Shipek, L., & Syracuse, T. (2014). Infraestructura verde para comunidades del desierto sonoreense. In *Watershed Management Group*.

<http://www.harvestingrainwater.com/wp-content/uploads/2012/01/Infraestructura-Verde-Para-Comunidades-Del-Desierto-Sonorense.pdf>

Medel Narvaez, A. (2017). Paleta Vegetal. *Herbario CIBNOR*.
<https://issuu.com/niparajaac/docs/final>

Meerow, S., & Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 159, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>

Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2019). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *Elsevier*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134581>

México, ¿cómo vamos? (2020). *En cifras, ¿cómo vamos? 2020*.
mexicocomovamos.mx/encifrascomovamos.pdf%0ADR

Mirsanjari, M. M., Zarandian, A., Mohammadyari, F., & Visockiene, J. S. (2020). Investigation of the impacts of urban vegetation loss on the ecosystem service of air pollution mitigation in Karaj metropolis, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(8). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08399-8>

Moreno Gómez, G. (2016). *Capacidad de Carga Urbana Y Análisis Espacio-Temporal del Crecimiento de La Paz*, B.C.S., México [Universidad Autónoma de Baja California Sur]. <https://biblio.uabcs.mx/tesis/tesis/te3436.pdf>

Mori, J., Fini, A., Galimberti, M., Ginepro, M., Burchi, G., Massa, D., & Ferrini, F. (2018). Air pollution deposition on a roadside vegetation barrier in a Mediterranean environment: Combined effect of evergreen shrub species and planting density. *Science of the Total Environment*, 643, 725–737.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.217>

Muhammed, N. S., Olayiwola, T., Elkatatny, S., Haq, B., & Patil, S. (2021). Insights into the application of surfactants and nanomaterials as shale inhibitors for water-based drilling fluid: A review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 92(February), 103987. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.103987>

Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible:

- una oportunidad para América Latina y el Caribe. (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.
- Nicholson, S. E. (1975). A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment* (1967), 9(1), 19–31. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(75\)90051-7](https://doi.org/10.1016/0004-6981(75)90051-7)
- Niu, H., Wang, B., Liu, B., Liu, Y., Liu, J., & Wang, Z. (2018). Numerical simulations of the effect of building configurations and wind direction on fine particulate matters dispersion in a street canyon. *Environmental Fluid Mechanics*, 18(4), 829–847. <https://doi.org/10.1007/s10652-017-9563-7>
- Nowak, D., Crane, D., Stevens, J., Hoehn, R., Walton, J., & Bond, J. (2008). A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 10(2), 184–191. <https://doi.org/10.1039/b712015j>
- Nowak, D. J. (2021). Understanding i-Tree: 2021 summary of programs and methods. *USDA FOREST SERVICE*, 200–2021(December), 1–100. <https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). 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>
- Nriagu, J. (2019). Encyclopedia of environmental health (second edition). In *Elsevier*.
- Nyelele, C., & Kroll, C. N. (2021). A multi-objective decision support framework to prioritize tree planting locations in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 214(November 2020), 104172. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104172>
- Oliveira, V. (2020). *Urban Morphology*. <https://doi.org/10.1093/obo/9780190922481-0004>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire Resumen ejecutivo*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pace, R., & Grote, R. (2020). Deposition and Resuspension Mechanisms Into and From Tree Canopies: A Study Modeling Particle Removal of Conifers and Broadleaves

- in Different Cities. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3(March), 1–12. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00026>
- Pant, P., & Harrison, R. M. (2013). Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, 77, 78–97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.028>
- Pettit, T., Torpy, F. R., Surawski, N. C., Fleck, R., & Irga, P. J. (2021). Effective reduction of roadside air pollution with botanical biofiltration. *Journal of Hazardous Materials*, 414(March), 125566. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125566>
- Programa para Mejorar la Calidad del Aire [ProAire]. (n.d.). *Antecedentes*. <http://proaire.edomex.gob.mx/antecedentes>
- PurpleAir Inc. (n.d.). *PurpleAir Zen Air Quality Monitor*. PurpleAir. <https://www2.purpleair.com/products/purpleair-zen>
- Reche, C., Tobias, A., & Viana, M. (2022). Vehicular Traffic in Urban Areas: Health Burden and Influence of Sustainable Urban Planning and Mobility. *Atmosphere*, 13(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/atmos13040598>
- Riondato, E., Pilla, F., Sarkar Basu, A., & Basu, B. (2020). Investigating the effect of trees on urban quality in Dublin by combining air monitoring with i-Tree Eco model. *Sustainable Cities and Society*, 61(June), 102356. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102356>
- Rojas Chávez, S., & Vibrans, H. (2011). *Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit*. CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/mimosaceae/leucaena-leucocephala/fichas/ficha.htm>
- Salgado, K., Martínez, M. L., Álvarez-Molina, L. L., Hesp, P., Equihua, M., & Mariño-Tapia, I. (2022). Impact of urbanization and landscape changes on the vegetation of coastal dunes along the Gulf of Mexico. *Écoscience*, 29(2), 103–116. <https://doi.org/10.1080/11956860.2021.1934299>
- Samson, R., Grote, R., Calfapietra, C., Cariñanos, P., Fares, S., Paoletti, E., & Tiwary, A. (2017). *Urban Trees and Their Relation to Air Pollution*. 21–30.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_3

- Sánchez de Lorenzo-Cáceres, J. M. (2014). *Schinus terebinthifolia*. 399(1820), 1.
- Sánchez de Lorenzo-Cáceres, J. M. (2016). Ficus Benjamina L. *Arboles Ornamentales*, 61(3), 449–456. file:///C:/Users/Usuario iTC/Desktop/alexandra/botanica Aplicada/para la practica dos/Ficus benjamina.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). *Servicios ambientales o ecosistémicos, esenciales para la vida*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/servicios-ambientales-o-ecosistemicos-esenciales-para-la-vida?idiom=es#:~:text=Los servicios ecosistémicos o ambientales,el motor del medio ambiente.>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (n.d.). Estrategía Nacional de Calidad del Aire Visión 2017-2030. *Gobierno de La República*, 282.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología [INE-SEMARNAT]. (2012). *Guía metodológica para la estimación de emisiones PM2.5*.
- Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA]. (2008). *Manual Técnico de Podas*. <http://www.arboricultura.org.mx/wp-content/uploads/2013/01/manual-tecnico-de-poda-nadf-001-rnat-2006-2008.pdf>
- Seok, Y., Yim, H., Moon, T., & Chon, J. (2022). Street tree planning to improve public health and ecosystem resilience in urban areas: a scenario analysis using a system dynamics model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph19031625>
- Sharma, A. (2022). Introduction to Computational Fluid Dynamics: Development, Application and Analysis. In *Springer*.
- Simpson, D. (2020). The Economics of Nature-Based Solutions: Current Status and Future Priorities. *United Nations Environment Programme*.
- Solgratis. (n.d.). *CONTROLADOR DE CORRIENTE SUNPOWER*. Solgratis, Equipos de Energía Renovable. <https://www.solgratis.mx/producto/producto-demo-6/>

- Song, J., Saathoff, H., Gao, L., Gebhardt, R., Jiang, F., Vallon, M., Bauer, J., Norra, S., & Leisner, T. (2022). Variations of PM_{2.5} sources in the context of meteorology and seasonality at an urban street canyon in Southwest Germany. *Atmospheric Environment*, 282(January), 119147. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119147>
- Southerland, V. A., Brauer, M., Mohegh, A., Hammer, M. S., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Apte, J. S., & Anenberg, S. C. (2022). Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM_{2.5}) and attributable health burdens: estimates from global datasets. *The Lancet Planetary Health*, 6(2), e139–e146. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00350-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00350-8)
- Srbínovska, M., Andova, V., Mateska, A. K., & Krstevska, M. C. (2021). The effect of small green walls on reduction of particulate matter concentration in open areas. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123306. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123306>
- Su, T. H., Lin, C. S., Lin, J. C., & Liu, C. P. (2021). Dry deposition of particulate matter and its associated soluble ions on five broadleaved species in Taichung, central Taiwan. *Science of the Total Environment*, 753, 141788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141788>
- Sun, L., Chen, J., Li, Q., & Huang, D. (2020). Dramatic uneven urbanization of large cities throughout the world in recent decades. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19158-1>
- Sun, Y., Lin, W., Li, Y., & Xu, D. (2021). Dust deposition on vegetation leaves in Shanghai, China. *International Journal of Environmental Health Research*, 31(8), 1001–1014. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1714559>
- Suppakittpaisarn, P., Jiang, X., & Sullivan, W. C. (2017). Green Infrastructure, Green Stormwater Infrastructure, and Human Health: A Review. *Current Landscape Ecology Reports*, 2(4), 96–110. <https://doi.org/10.1007/s40823-017-0028-y>
- SYSCOM. (n.d.). *Modulo Solar EPCOM POWER LINE, 50W, 12 Vcc , Policristalino, 36 Celdas grado A*. SYSCOM. <https://www.syscom.mx/producto/PRO5012->

EPCOM-POWER-LINE-170087.html

The Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2018). Air quality in cities. *OECD Regions and Cities at a Glance 2018*, OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/reg_cit_glance-2018-40-en

The Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2019). Environment at a Glance Indicators. In *Environment at a Glance Indicators - Air quality*. <https://doi.org/10.1787/ac4b8b89-en>

Tiwari, A., & Kumar, P. (2020). Integrated dispersion-deposition modelling for air pollutant reduction via green infrastructure at an urban scale. *Science of the Total Environment*, 723, 138078. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138078>

United Nations Departments of Economic and Social Affairs. (2018). *Revision of World Urbanization Prospects*. United Nations. <https://www.un.org/en/desa/2018-revision-world-urbanization-prospects>

United States Environmental Protection Agency [EPA]. (2017). *Evolution of the Clean Air Act Clean Air Act of 1970*. EPA United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/evolution-clean-air-act#intro>

United States Environmental Protection Agency [EPA]. (2022). *Particulate Matter (PM) Basics*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#:~:text=PM stands for particulate matter,seen with the naked eye.>

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. (2009). Madroño. *Biblioteca Digital de La Medicina Tradicional Mexicana*. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=arbutus-peninsularis>

USDA Forest Service. (2016). Eco guide to international projects. *USDA FOREST SERVICE*, 117–132. <https://doi.org/10.1201/9780203741771-94>

USDA Forest Service, Davey Tree Expert Company, The Arbor Day Foundation, Society of Municipal Arborists, International Society of Arboriculture, Casey Trees, & SUNY College of Environmental Science and Forestry. (2017). *i-Tree Eco*.

Manual *de* *Usuario.*

https://www.itreetools.org/documents/196/EcoV6_UsersManual.es.pdf

- Van Ryswyk, K., Prince, N., Ahmed, M., Brisson, E., Miller, J. D., & Villeneuve, P. J. (2019). Does urban vegetation reduce temperature and air pollution concentrations? Findings from an environmental monitoring study of the Central Experimental Farm in Ottawa, Canada. *Atmospheric Environment*, 218(July), 116886. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116886>
- Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K., Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K., & Modelling, N. G. (2014). Modelling air quality in street canyons : a review. *Atmospheric Environment, Elsevier*, 2003, 37 (2), 155–182. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00857-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00857-9)
- Viecco, M., Jorquera, H., Sharma, A., Bustamante, W., Fernando, H. J. S., & Vera, S. (2021). Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter. *Building and Environment*, 204(June). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108120>
- Waidyatillake, N. T., Campbell, P. T., Vicendese, D., Dharmage, S. C., Curto, A., & Stevenson, M. (2021). Particulate matter and premature mortality: A Bayesian meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147655>
- Wang, B., Li, Y., Tang, Z., Cai, N., & Niu, H. (2021). Effects of vehicle emissions on the PM2.5 dispersion and intake fraction in urban street canyons. *Journal of Cleaner Production*, 324(May), 129212. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129212>
- Wang, J., Xie, C., Liang, A., Jiang, R., Man, Z., Wu, H., & Che, S. (2021). Spatial-temporal variation of air pm2.5 and pm10 within different types of vegetation during winter in an urban riparian zone of Shanghai. *Atmosphere*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/atmos12111428>
- Wang, L., Niu, D., Fan, H., & Long, X. (2022). Urban configuration and PM2.5 concentrations: Evidence from 330 Chinese cities. *Environment International*, 161, 107129. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107129>

- Wang, X., Teng, M., Huang, C., Zhou, Z., Chen, X., & Xiang, Y. (2020). Canopy density effects on particulate matter attenuation coefficients in street canyons during summer in the Wuhan metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 240(1), 117739. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117739>
- Weerakkody, U., Dover, J. W., Mitchell, P., & Reiling, K. (2018a). Evaluating the impact of individual leaf traits on atmospheric particulate matter accumulation using natural and synthetic leaves. *Urban Forestry and Urban Greening*, 30(September 2017), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.001>
- Weerakkody, U., Dover, J. W., Mitchell, P., & Reiling, K. (2018b). Quantification of the traffic-generated particulate matter capture by plant species in a living wall and evaluation of the important leaf characteristics. *Science of the Total Environment*, 635, 1012–1024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.106>
- Wesely, M. L., & Hicks, B. B. (2000). *A review of the current status of knowledge on dry deposition*. 34.
- World Health Organization [WHO]. (2006). Air Quality Guidelines. Global update 2005. In *World Health Organization*. <https://doi.org/10.1007/BF02986808>
- World Health Organization [WHO]. (2010). Why urban health matters. In *World Health Organization*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70230/WHO_WKC_WHD_2010.1_eng.pdf
- World Health Organization [WHO]. (2021a). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization [WHO]. (2021b). WHO global air quality guidelines. *Coastal And Estuarine Processes*, 1–360. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345334/9789240034433-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wu, J., Luo, K., Wang, Y., & Wang, Z. (2021). Urban road greenbelt configuration: The

- perspective of PM_{2.5} removal and air quality regulation. *Environment International*, 157, 106786. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106786>
- Wu, J., Wang, Y., Qiu, S., & Peng, J. (2019). Using the modified i-Tree Eco model to quantify air pollution removal by urban vegetation. *Science of the Total Environment*, 688, 673–683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.437>
- Xu, C., Dong, L., Yu, C., Zhang, Y., & Cheng, B. (2020). Can forest city construction affect urban air quality? The evidence from the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration of China. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121607. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121607>
- Xu, J., Liu, M., Chen, H., & Luo, M. (2023). Spatially heterogeneous influence of street greenery on street-level PM_{2.5} pollution using mobile monitoring from a three-dimensional perspective. *Urban Climate*, 48(October 2022), 101414. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101414>
- Zavala-Reyes, J. C., Jeanjean, A. P. R., Leigh, R. J., Hernández-Paniagua, I. Y., Rosas-Pérez, I., & Jazcilevich, A. (2019). Studying human exposure to vehicular emissions using computational fluid dynamics and an urban mobility simulator: The effect of sidewalk residence time, vehicular technologies and a traffic-calming device. *Science of the Total Environment*, 687, 720–731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.422>
- Zhang, B., Xie, Z., She, X., & Gao, J. (2021). Quantifying the Potential Contribution of Urban Forest to. *Atmosphere*, 12(9), 1171. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/atmos12091171>
- Zhang, L., He, J., Gong, S., Guo, X., Zhao, T., Zhou, C., Wang, H., Mo, J., Gui, K., Zheng, Y., Shan, Y., Zhong, J., Li, L., Lei, Y., & Che, H. (2022). Effect of vegetation seasonal cycle alterations to aerosol dry deposition on PM_{2.5} concentrations in China. *Science of the Total Environment*, 828, 154211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154211>
- Zhang, R., Chen, G., Yin, Z., Zhang, Y., & Ma, K. (2021). Urban greening based on the supply and demand of atmospheric PM_{2.5} removal. *Ecological Indicators*, 126,

107696. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107696>

- Zhang, X., Lyu, J., Zeng, Y., Sun, N., Liu, C., & Yin, S. (2021). Individual effects of trichomes and leaf morphology on PM_{2.5} dry deposition velocity: A variable-control approach using species from the same family or genus. *Environmental Pollution*, 272, 116385. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116385>
- Zhang, Y., Bash, J. O., Roselle, S. J., Shatas, A., Repinsky, A., Mathur, R., Hogrefe, C., Piziali, J., Jacobs, T., & Gilliland, A. (2020). Unexpected air quality impacts from implementation of green infrastructure in urban environments: A Kansas City case study. *Science of the Total Environment*, 744, 140960. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140960>
- Zhang, Z., Guo, C., Lau, A. K. H., Chan, T. C., Chuang, Y. C., Lin, C., Jiang, W. K., Yeoh, E. K., Tam, T., Woo, K. S., Yan, B. P., Chang, L. Y., Wong, M. C. S., & Lao, X. Q. (2018). Long-term exposure to fine particulate matter, blood pressure, and incident hypertension in taiwanese adults. *Environmental Health Perspectives*, 126(1), 1–8. <https://doi.org/10.1289/EHP2466>
- Zhao, K., Liu, D., Chen, Y., Feng, J., He, D., Huang, C., & Wang, Z. (2022). Trait-mediated leaf retention of atmospheric particulate matter in fourteen tree species in southern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 33609–33623. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24638-6>
- Zhao, X., Yan, H., Liu, M., Kang, L., Yu, J., & Yang, R. (2019). Relationship between PM_{2.5} adsorption and leaf surface morphology in ten urban tree species in Shenyang, China. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 41(8), 1029–1039. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1539136>
- Zhou, J., Liu, J., Xiang, S., Zhang, Y., Wang, Y., Ge, W., Hu, J., Wan, Y., Wang, X., Liu, Y., Ma, J., Wang, X., & Tao, S. (2022). Evaluation of the Street Canyon Level Air Pollution Distribution Pattern in a Typical City Block in Baoding, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph191610432>

ANEXOS Y/O APENDICE

ANEXO I.

Promedio de niveles diarios de PM_{2.5} Hotel Perla de verano

Promedio de niveles diarios de PM _{2.5} Hotel Perla de verano							
	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Día	2	3	4	5	6	7	8
µg/m ³		7.62	8.54	9.35	8.28	11.57	6.65
Día	9	10	11	12	13	14	15
µg/m ³	4.48	3.67	4.33	4.42	4.89	5.43	7.23
Día	16	17	18	19	20	21	22
µg/m ³	7.37	5.58	7.18	5.86	4.70	8.96	9.86
Día	23	24	25	26	27	28	29
µg/m ³	8.71	8.54	9.54	7.65	6.46	6.47	5.56
Día	30	31	1	2	3	4	5
µg/m ³	6.38	7.61	8.40	8.16	7.57	8.44	7.46
Total	6.73	6.60	7.60	7.09	6.38	8.18	7.35

ANEXO II.

Promedio de niveles diarios de PM_{2.5} CANACO de verano

Promedio de niveles diarios de PM _{2.5} CANACO de verano							
	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Día	2	3	4	5	6	7	8
µg/m ³		6.73	6.45	8.69	7.42	10.27	6.62
Día	9	10	11	12	13	14	15
µg/m ³	5.66	2.61	3.79	3.57	3.36	5.04	6.54
Día	16	17	18	19	20	21	22
µg/m ³	7.21	5.36	6.48	5.44	4.27	7.90	9.71
Día	23	24	25	26	27	28	29
µg/m ³	8.89	9.82	7.81	7.87	5.86	5.67	5.80
Día	30	31	1	2	3	4	5
µg/m ³	6.15	6.68	7.34	7.21	7.06	7.79	7.28
Total	6.98	6.24	6.38	6.56	5.59	7.33	7.19

ANEXO III.

Promedio de niveles horarios de PM_{2.5} Hotel Perla de verano

Día	Hora																								
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
03/07/23																					7.00	7.19	7.69	7.90	8.30
04/07/23	8.32	8.83	10.88	11.69	11.56	13.37	14.73	12.93	11.21	6.46	4.24	5.26	4.82	2.23	6.01	5.84	4.36	5.63	5.93	7.01	9.27	9.80	12.04	12.45	
05/07/23	12.90	12.01	12.37	13.10	14.15	14.84	15.12	11.81	8.82	6.30	5.80	5.17	4.08	5.24	10.51	8.66	7.86	7.32	7.71	7.91	8.98	8.42	7.12	8.06	
06/07/23	9.55	10.36	10.26	9.92	9.82	10.80	10.55	9.18	7.03	3.69	4.34	5.02	3.35	3.61	5.06	5.33	6.87	8.23	9.19	10.06	10.94	12.33	12.24	10.94	
07/07/23	10.86	12.09	12.88	13.31	15.98	19.95	22.20	20.52	16.96	14.12	9.53	11.61	7.10	8.57	9.91	9.14	6.48	6.78	7.55	7.84	7.83	8.42	8.52	9.78	
08/07/23	10.74	9.79	11.43	10.12	9.43	8.13	7.84	8.15	7.15	6.42	6.69	4.63	3.23	3.29	3.56	3.61	4.09	5.08	4.96	5.89	6.54	5.95	6.56	6.21	
09/07/23	6.70	6.10	6.02	5.90	5.47	5.69	6.94	6.17	5.50	4.71	4.10	5.04	3.84	3.43	4.05	2.31	2.52	1.84	2.17	5.35	3.57	3.79	3.11	3.15	
10/07/23	3.05	3.08	3.20	2.88	2.51	2.60	2.86	2.62	3.73	3.41	6.83	10.23	2.84	2.56	3.61	2.50	2.62						3.62	3.69	
11/07/23	3.18	3.95	4.59	4.55	4.73	4.68	4.60	4.35	3.86	4.09	3.92	3.89	3.43	5.02	8.10	5.99	6.38	5.79	3.19	2.65	3.53	3.05	3.12	3.33	
12/07/23	2.18	1.81	1.52	1.53	2.04	2.25	3.16	4.45	4.07	3.00	3.95	5.35	10.42	16.96	5.32	3.36	3.86								
13/07/23																			1.71	3.64	5.47	5.63	5.62	6.10	6.01
14/07/23	6.34	6.54	6.43	6.48	6.50	6.81	7.59	6.36	5.94	4.96	3.96	3.26	3.11	3.03	2.24	3.93	4.48	4.76	5.52	5.72	5.98	7.06	6.68	6.37	
15/07/23	6.35	6.72	7.71	8.02	8.31	8.80	9.10	8.92	7.91	6.05	5.04	6.12	10.84	6.42	7.20	4.88	3.92	3.72	4.79	6.85	8.29	8.73	9.66	9.29	
16/07/23	8.32	8.16	8.10	8.81	8.85	8.78	8.87	8.86	8.86	8.59	7.65	9.45	6.75	6.16	6.13	5.11	4.95	5.60	6.15	7.03	6.37	6.45	6.79	6.13	
17/07/23	4.92	5.96	6.25	6.09	6.02	7.59	8.07	6.89	4.44	3.65	4.32	4.05	4.02	3.52	5.44	5.66	5.25	6.20	6.06	5.55	4.68	5.65	6.71	6.98	
18/07/23	6.67	7.42	8.70	9.05	9.34	9.70	9.56	8.13	6.58	5.38	5.30	5.92	6.76	7.30	6.11	5.73	5.70	6.07	6.51	6.13	7.21	7.85	7.79	7.48	
19/07/23	7.69	5.99	6.02	6.04	6.06	6.26	6.66	7.22	6.48	4.76	4.81	3.71	4.22	8.71	7.16	5.20	4.10	3.93	4.30	4.71	6.43	6.41	7.10	6.59	
20/07/23	6.46	6.77	7.00	7.79	7.98	8.25	9.30	8.50	4.19	2.65	2.28	2.04	2.01	2.77	1.88	1.37	1.51	2.73	4.23	3.92	4.73	4.54	4.80	5.13	
21/07/23	6.23	6.95	6.74	7.09	7.02	6.86	7.15	7.23	7.05	6.47	5.85	5.05	7.70	7.94	8.99	14.09	8.25	7.36	8.98	12.35	14.15	15.08	15.00	15.51	
22/07/23	13.49	14.59	14.79	13.40	12.44	12.75	12.48	11.35	10.75	10.93	9.74	9.01	5.58	5.71	6.49	5.76	5.67	6.32	7.53	8.07	8.10	11.86	9.25	10.50	
23/07/23	14.49	15.48	15.66	15.30	14.12	13.68	13.89	12.67	1.66	1.10	0.49	0.40	0.76	1.11	2.27	3.77	4.30	3.46	8.71	14.56	14.30	13.48	12.45	12.09	
24/07/23									13.48	10.54	8.92	9.05	9.82	7.21	6.53		6.86	6.77	7.84	8.84	8.78	8.49	7.21	7.62	
25/07/23	7.11	6.82	6.57	6.65	8.54	13.09	13.61	10.37	24.42	11.99	8.91	15.02	6.36	7.33	8.86	7.95	6.45	6.91	7.42	7.84	8.78	9.57	8.81	8.70	
26/07/23	8.48	8.28	8.27	8.66	8.76	8.91	9.34	9.32	8.10	7.80	7.14	5.65	5.68	9.62	9.43	8.09	7.56	5.10	5.86	6.51	6.97	6.82	6.51	6.81	

27/07/23	7.15	7.35	7.64	7.55	8.12	7.76	8.47	8.76	7.67	6.49	5.81	4.45	4.59	4.10	4.95	4.86	4.06	4.56	5.41	5.98	7.57	7.45	7.23	7.16
28/07/23	7.04	6.69	7.52	7.89	7.55	6.95	7.67	6.83	5.80	5.38	5.09	12.29	4.69	4.75	5.01	6.39	5.12	5.05	10.89	5.31	6.43	7.10	7.34	
29/07/23										5.88	5.64	6.36	5.07	4.13	4.05	4.16	4.25	4.42	4.95	7.67	7.53	6.81	6.71	6.35
30/07/23	6.74	7.21	7.76	7.69	7.16	6.62	6.29	5.05	4.34	4.25	4.12	3.32	3.00	4.93	6.34	6.97	4.87	6.01	7.95	8.21	8.76	8.72	8.47	8.42
31/07/23	8.92	9.04	8.64	8.69	8.87	8.82	8.70	7.80	6.16	7.13	6.69	6.17	8.28	7.44	10.23	7.97	4.94	4.93	6.07	7.38	7.77	6.87	7.43	7.73
01/08/23	7.61	7.75	8.50	8.02	8.21	7.90	8.94	8.83	9.91	13.20	10.33	8.71	7.66	10.52	8.90	7.57	6.97	5.25	5.33	8.20	7.47	8.55	8.65	8.70
02/08/23	8.33	8.06	7.74	8.50	9.57	11.15	11.75	9.97	7.00	6.89	6.11	6.45	6.05	7.67	8.73	9.60	8.07	7.47	8.89	8.49	8.71	6.94	6.64	6.98
03/08/23	8.08	8.84	9.40	9.54	9.91	9.92	9.97	8.58	7.69	6.21	5.03	3.98	3.09	3.49	7.59	5.70	5.02	4.89	5.68	6.29	9.15	10.77	10.72	12.06
04/08/23	11.52	11.63	11.03	11.15	11.12	10.96	11.11	10.20	9.81	9.81	7.02	8.43	6.24	7.01	6.39	4.40	6.51	6.26	5.67	6.44	7.41	7.19	8.20	7.14
05/08/23	6.69	7.29	8.32	9.15	9.36	8.93	7.95	7.74	7.27	8.03	7.86	8.50	9.69	4.58	3.39	4.83	6.88							
Total	7.87	8.05	8.40	8.49	8.65	9.09	9.48	8.66	7.87	6.57	5.86	6.36	5.47	5.82	6.26	5.83	5.33	5.34	6.30	7.14	7.71	7.98	7.83	7.92

ANEXO IV.

Promedio de niveles horarios de PM_{2.5} CANACO de verano

Día	Hora																							
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
03/07/23																				5.98	6.85	6.78	6.688	
04/07/23													3.31	1.59	4.14	4.35	4.24	7.33	5.65	6.51	8.37	8.23	10.81	11.39
05/07/23	11.23	10.09	10.66	11.26	11.85	13.02	12.76	10.10	8.17	5.45	6.19	5.08	4.93	4.43	5.41	7.82	7.15	6.34	6.36	20.43	8.31	7.94	6.52	7.18
06/07/23	8.40	8.80	8.74	8.37	8.08	9.02	8.72	7.96	6.35	3.47	4.15	5.52	4.24	3.80	4.50	4.60	5.47	6.21	7.97	9.82	10.75	11.29	11.65	10.09
07/07/23	9.45	10.84	11.30	11.50	13.58	16.23	18.13	17.05	14.86	12.46	9.90	10.61	8.53	7.77	6.56	5.51	5.27	8.29	6.56	7.42	7.46	7.85	8.96	10.32
08/07/23	11.00	10.45	11.46	10.26	9.29	7.55	7.53	7.73	6.35	7.29	9.84	8.23	3.96	3.11	2.57	2.57	2.70	3.02	3.99	5.64	6.36	6.24	6.85	8.57
09/07/23	15.05	8.93	10.85	12.24	6.32	5.56	6.28	5.50	6.26	4.67	3.83	4.80	2.98	3.17	2.32	2.14	1.80	6.50	1.93	5.54	5.29	4.09	4.76	5.03
10/07/23	3.65	3.74	3.75	3.73	2.60	2.70	2.61	3.50	2.75	2.71	2.65	2.17	1.19	1.41	1.59	1.88	1.13	1.44	2.18	2.24	3.15	2.94	3.36	3.43
11/07/23	3.13	3.60	3.99	4.04	3.97	4.11	4.14	3.88	4.99	2.99	4.44	7.38	2.42	4.14	3.98	3.64	4.25	4.15	2.58	2.50	3.08	2.82	3.33	3.37
12/07/23	2.20	1.85	2.32	1.66	1.79	1.97	3.01	5.55	7.17	6.79	2.98	3.30	2.77	2.73	2.88	1.90	3.21	2.33	4.03	6.85	6.47	4.19	3.74	3.92
13/07/23	3.80	3.02	2.81	3.24	3.21	3.45	3.70	4.13	4.12	3.19	2.06	1.91	2.67	1.82	1.45	1.28	1.27	1.93	3.32	5.23	5.50	5.73	6.31	5.46
14/07/23	5.39	5.70	5.74	5.76	5.42	6.20	6.46	5.15	5.18	3.96	3.58	2.79	3.51	4.04	2.79	4.43	4.14	4.12	4.50	5.50	5.94	7.10	7.12	6.49
15/07/23	6.18	6.39	7.54	7.68	7.12	7.51	8.09	7.88	7.15	5.06	4.50	5.16	5.00	5.60	5.26	5.23	3.84	3.19	4.21	6.37	8.35	9.54	9.96	10.21
16/07/23	9.37	9.09	9.08	8.68	7.97	8.00	8.40	8.52	9.43	9.02	7.40	9.27	6.76	4.91	4.14	3.96	4.88	4.89	7.09	6.71	6.65	6.26	6.77	5.68
17/07/23	4.97	5.38	6.39	5.64	5.19	6.70	7.20	6.13	4.62	3.38	3.61	4.11	4.07	3.62	4.24	5.57	5.95	5.18	8.76	4.99	4.38	5.48	6.45	6.46
18/07/23	5.90	6.63	7.48	7.98	8.51	8.71	8.87	7.60	5.92	4.59	3.95	5.11	6.43	6.36	4.77	4.92	6.30	5.02	4.91	5.98	7.59	7.77	7.39	6.86
19/07/23	6.93	5.41	5.05	5.05	5.50	5.66	6.00	6.79	5.98	4.33	4.40	4.00	5.80	7.73	6.27	4.35	4.02	3.41	3.39	4.70	6.13	6.49	6.81	6.35
20/07/23	5.78	5.81	5.99	6.75	7.05	7.06	8.12	7.56	3.87	1.99	1.46	1.64	1.62	2.12	1.60	1.65	1.86	2.60	3.84	3.72	5.09	5.39	4.73	4.80
21/07/23	5.50	6.12	6.09	6.26	6.61	6.15	6.62	6.62	6.51	6.08	5.16	4.82	5.87	6.01	5.39	5.80	7.48	6.45	7.68	12.06	14.15	15.49	15.54	15.19
22/07/23	13.06	14.83	14.34	13.65	11.88	14.86	11.63	11.59	10.26	10.74	8.51	9.11	5.86	5.16	9.69	5.86	6.46	5.80	6.18	7.97	8.34	10.83	9.94	11.01
23/07/23	15.68	15.06	15.57	15.87	15.33	14.09	14.51	12.99	1.40	0.90	0.27	0.40	1.17	1.03	1.70	3.81	5.50	3.51	8.08	13.68	14.29	13.63	12.70	11.89
24/07/23	11.50	12.25	14.44	15.74	11.78	11.22	13.58	14.31	12.52	9.66	8.00	9.10	9.56	6.46	6.07	7.35	8.70	6.55	6.28	8.65	8.46	8.09	8.24	7.36
25/07/23	6.92	6.51	6.30	6.29	7.32	10.45	13.53	10.03	8.99	7.45	6.57	6.44	8.28	6.39	8.45	9.14	4.85	4.81	6.43	7.44	8.40	9.31	8.73	8.32
26/07/23	8.01	8.41	8.36	8.05	8.06	8.27	8.95	8.70	7.73	7.95	6.06	5.92	5.35	8.28	18.83	13.10	6.66	3.92	4.78	6.48	6.52	7.26	6.74	6.84

27/07/23	6.94	7.05	8.33	7.16	7.33	7.23	7.82	8.25	7.19	5.00	3.43	3.85	4.55	3.50	3.56	3.97	3.54	2.98	4.18	5.85	6.79	7.53	7.70	6.94
28/07/23	6.99	6.08	6.86	7.20	6.91	6.78	6.83	6.11	5.56	4.47	4.27	3.94	4.06	4.60	4.83	4.29	3.84	3.37	4.29	5.57	7.01	7.31	7.55	7.27
29/07/23	8.35	7.73	7.47	7.17	6.06	5.62	6.35	5.79	4.61	3.97	4.19	4.12	6.03	3.96	3.99	5.00	4.29	4.80	4.80	6.93	7.16	7.12	7.12	6.60
30/07/23	6.72	7.23	7.66	7.58	6.95	6.12	6.09	4.83	4.09	3.27	4.72	3.24	3.24	4.70	5.32	6.21	4.29	6.94	6.28	7.55	8.76	8.48	8.54	8.67
31/07/23	8.46	8.39	7.98	8.15	8.20	8.03	8.14	7.31	5.89	3.74	4.24	5.68	6.81	5.80	6.03	4.29	4.55	4.72	7.19	7.16	8.48	6.45	6.97	7.52
01/08/23	6.83	7.07	7.99	7.61	7.62	7.44	8.61	8.96	10.32	7.12	7.51	7.06	6.45	7.53	5.88	6.03	5.27	5.41	7.00	8.72	6.65	7.96	7.44	7.81
02/08/23	8.16	7.80	7.25	8.29	9.38	10.03	11.02	9.26	5.62	4.52	4.52	4.76	5.76	5.85	5.25	5.80	5.78	6.00	8.52	9.14	9.39	6.76	7.04	7.05
03/08/23	7.12	7.76	8.44	8.42	8.71	8.71	8.68	7.81	6.56	4.97	5.52	4.27	3.30	3.28	5.85	5.84	5.35	4.30	6.27	8.29	8.58	10.34	10.50	10.53
04/08/23	10.10	10.44	10.43	9.94	10.14	10.06	10.14	9.71	8.63	6.27	5.57	6.73	6.49	5.69	4.48	3.61	5.78	5.36	8.98	8.10	7.16	7.24	8.24	8.13
05/08/23	7.55	7.42	9.13	9.73	9.27	8.61	7.75	7.18	7.79	7.80	6.79	7.57	8.75	4.38	2.63	3.84								
Total	7.82	7.68	8.12	8.15	7.78	8.04	8.45	7.95	6.78	5.48	5.01	5.25	4.90	4.58	4.92	4.84	4.68	4.71	5.57	7.26	7.45	7.57	7.73	7.71

ANEXO V.

Promedio de niveles diarios de PM_{2.5} CANACO de invierno

Promedio de niveles diarios de PM _{2.5} CANACO de invierno							
	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	Enero						
Día	7	8	9	10	11	12	13
µg/m ³							5.36
	Enero						
Día	14	15	16	17	18	19	20
µg/m ³	7.21	5.06	3.79	4.86	6.74	9.30	5.82
	Enero						
Día	21	22	23	24	25	26	27
µg/m ³	2.76	3.16	1.39	3.22	2.38	7.22	5.19
	Enero			Febrero			
Día	28	29	30	31	1	2	3
µg/m ³	5.07	4.79	4.54	5.50	1.64	2.54	3.64
	Febrero						
Día	4	5	6	7	8	9	10
µg/m ³	4.45	4.38	1.79	1.81	6.35	8.09	4.76
	Febrero						
Día	11	12	13	14	15	16	17
µg/m ³	12.52	5.76	9.03	7.46	8.45	7.11	7.94
	Febrero						
Día	18	19	20	21	22	23	24
µg/m ³	9.65	7.31	6.88	2.41	2.80	2.14	6.05
	Febrero				Marzo		
Día	25	26	27	28	29	1	2
µg/m ³	4.42	2.77	2.98	4.57	2.92	5.19	4.09

Marzo							
Día	3	4	5	6	7	8	9
µg/m ³	3.13	2.71	4.78	2.82	2.27	2.52	2.60
Marzo							
Día	10	11	12	13	14	15	16
µg/m ³	2.46	3.33	2.65	3.14	3.71	3.06	2.69
Marzo							
Día	17	18	19	20	21	22	23
µg/m ³	4.26	1.50	2.30	2.40			
Total	5.59	4.08	4.01	3.82	4.14	5.24	4.82

ANEXO VI.

Promedio de niveles horarios de PM_{2.5} CANACO de invierno

Día	Hora																							
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
13/01/24											1.88	2.28	2.84	2.87	2.83	2.10	4.67	5.33	5.38	7.92	20.89	11.23	9.22	7.52
14/01/24	6.39	7.62	12.72	15.09	9.12	9.77	10.26	12.82	9.78	6.87	3.08	2.29	1.69	0.41	0.59	0.50	1.48	3.62	5.27	15.37	15.77	15.31	5.19	2.15
15/01/24	6.92	1.10	1.33	1.18	1.10	2.35	6.94	12.99	12.27	15.25	7.48	2.01	0.81	0.52	2.78	0.90	3.89	6.06	4.96	4.66	7.69	8.05	6.77	2.97
16/01/24	3.85	4.28	1.22	0.65	0.72	1.36	2.84	4.16	4.20	2.46	1.81	2.80	2.24	1.63	1.99	2.60	2.64	5.79	6.36	6.39	8.26	10.55	6.80	5.42
17/01/24	5.36	4.82	10.98	8.15	3.09	2.25	3.71	3.03	2.55	1.41	0.90	0.92	0.83	0.67	1.06	0.41	2.33	6.78	8.21	3.35	22.11	12.75	7.22	3.64
18/01/24	7.50	4.36	4.99	3.59	2.07	1.68	2.42	10.25	11.59	9.62	2.52	2.47	0.78	0.70	1.19	0.55	2.46	3.97	8.49	13.34	10.43	21.61	19.17	17.12
19/01/24	10.96	8.66	10.95	10.29	7.03	7.11	12.40	19.45	21.41	8.40	4.98	2.36	1.30	1.46	0.48	1.29	3.23	6.81	9.02	11.87	8.74	14.97	20.87	19.25
20/01/24	9.38	7.72	13.79	7.52	6.16	5.54	4.16	11.86	11.68	3.49	4.41	5.03	8.61	4.00	4.16	4.17	0.72	2.69	4.70	4.82	3.91	3.72	3.82	3.62
21/01/24	3.50	2.52	2.16	1.83	1.74	1.32	1.57	2.36	3.57	2.91	2.28	2.67	2.28	2.93	3.82	2.09	1.54	2.44	3.72	4.43	4.15	3.64	2.29	4.38
22/01/24	2.81	2.51	2.28	2.20	1.85	2.91	2.69	3.41	4.72	2.59	1.94	1.14	1.52	0.82	1.47	1.84	3.45	7.41	12.18	5.68	4.24	2.55	2.25	1.75
23/01/24	1.22	0.78	0.67	0.55	0.49	0.68	2.11	3.64	3.46	2.91	0.74	1.49	0.35	0.31	0.40	0.53	0.77	1.46	1.97	2.24	1.79	2.05	2.20	0.53
24/01/24	0.21	0.53	0.46	0.56	0.97	1.92	3.47	15.08	15.45	7.60	3.20	1.18	0.98	0.77	0.91	0.61	1.89	1.04	1.89	4.20	3.09	4.96	2.73	3.55
25/01/24	2.28	1.40	0.72	0.29	0.17	0.31	0.79	1.20	1.25	1.17	1.31	1.17	0.82	0.44	0.20	0.45	0.38	0.70	2.92	6.28	7.98	5.25	10.25	9.46
26/01/24	16.59	6.59	8.53	15.91	13.98	19.37	15.19	15.73	9.74	0.49	0.86	0.90	1.27	1.75	1.41	1.14	1.61	4.48	4.06	6.35	11.12	7.71	5.44	2.65
27/01/24	3.99	1.96	5.07	3.31	1.48	1.29	1.92	3.92	4.82	4.74	3.89	3.54	3.73	3.98	2.66	3.08	4.13	4.89	10.66	13.07	9.60	14.06	10.28	4.50
28/01/24	4.64	4.70	5.29	6.73	2.41	2.50	3.98	3.60	3.26	1.91	2.01	2.18	1.93	1.63	1.95	4.56	4.52	5.30	14.22	5.55	10.35	9.06	11.51	7.96
29/01/24	8.96	13.47	22.83	8.67	9.09	4.60	1.35	1.80	2.10	1.47	1.52	1.74	1.13	0.99	0.57	0.86	2.16	1.98	4.27	6.83	5.43	4.06	4.36	4.47
30/01/24	3.32	1.17	5.09	1.99	0.58	0.17	1.32	1.18	5.13	8.55	4.58	2.14	2.64	1.99	3.39	5.37	4.29	2.65	3.21	5.09	6.46	7.05	15.35	16.20
31/01/24	14.59	15.52	9.11	4.62	4.85	5.09	6.81	6.35	9.31	4.18	3.21	2.78	0.40	0.51	0.73	0.69	2.44	5.64	2.04	4.47	6.18	10.95	7.16	4.13
01/02/24	2.16	1.07	0.81	0.80	0.54	1.01	2.83	6.93	2.61	1.69	0.72	1.03	0.70	0.14	1.06	0.66	0.75	0.50	1.23	3.42	1.91	2.68	1.67	2.34
02/02/24	0.87	1.28	1.64	1.39	0.81	1.69	2.47	2.91	1.78	1.43	1.94	5.02	0.66	0.61	1.03	1.48	0.55	6.04	8.39	2.61	2.91	4.51	5.86	3.09
03/02/24	1.91	1.84	4.28	3.76	2.11	1.88	3.50	4.63	3.33	1.95	1.62	1.13	0.90	1.48	1.56	1.22	1.02	3.93	5.96	4.50	10.41	6.02	7.26	11.25
04/02/24	3.19	6.25	9.97	10.39	5.66	4.94	4.68	5.08	6.29	3.59	1.08	1.09	0.74	0.52	0.34	1.54	2.15	1.97	7.33	7.61	8.51	5.91	4.63	3.40
05/02/24	0.88	0.58	4.72	14.39	5.54	5.28	6.47	6.81	6.37	8.05	1.92	0.85	1.03	0.24	0.12	0.55	1.25	4.69	6.07	5.75	7.65	9.97	3.14	2.85

06/02/24	2.26	4.98	2.03	2.59	0.73	1.24	2.59	5.68	4.41	1.69	1.01	0.66	0.98	0.84	0.61	0.63	0.78	1.02	1.57	1.04	1.45	1.16	1.79	1.16
07/02/24	1.17	0.83	0.77	0.64	0.57	0.00	0.01	1.25	7.88	0.56	4.08	1.19	0.84	0.91	0.16	0.15	0.72	0.94	2.11	4.90	3.32	3.83	4.41	2.17
08/02/24	0.67	0.45	0.94	0.82	0.13	0.93	2.86	6.72	13.79	26.72	18.93	6.20	3.41	1.63	5.35	4.34	2.44	2.07	7.53	6.88	3.69	7.77	13.55	15.22
09/02/24	10.65	6.69	6.29	7.71	12.70	8.40	9.41	5.40	11.34	10.88	10.54	3.50	3.96	3.29	2.61	1.68	1.54	5.80	10.89	18.31	12.57	8.06	9.99	11.90
10/02/24	3.81	3.65	5.15	3.88	1.04	1.05	2.04	4.18	4.17	1.04	0.54	1.51	0.36	0.27	0.45	0.23	0.42	0.86	4.32	23.68	7.63	6.81	12.38	24.74
11/02/24	18.45	18.35	11.53	9.03	9.40	11.73	16.24	15.76	12.32	2.44	0.73	0.33	0.57	1.32	1.45	1.68	1.69	14.18	35.94	14.75	27.67	18.22	31.83	25.27
12/02/24	4.25	5.10	6.40	6.26	4.84	1.70	1.58	2.21	2.94	3.92	2.87	2.69	1.75	1.44	1.52	2.25	3.86	2.42	18.12	13.14	7.91	5.99	10.18	25.61
13/02/24	18.32	6.14	7.86	9.61	6.14	4.74	8.82	12.27	13.06	11.09	4.97	2.96	1.96	1.56	1.52	0.97	2.18	18.52	10.76	4.76	18.53	19.69	11.82	19.03
14/02/24	17.58	26.01	17.84	13.92	10.67	7.45	6.37	9.27	7.97	4.69	3.01	5.32	1.38	1.73	3.08	0.76	0.63	2.02	5.05	11.39	5.24	6.19	5.63	5.49
15/02/24	4.01	5.13	2.58	0.83	2.25	10.42	8.17	13.85	17.40	17.21	45.54	12.74	4.76	4.73	2.63	3.44	6.15	3.91	5.58	3.78	6.46	14.31	14.65	15.26
16/02/24	13.10	6.71	3.82	6.17	8.30	5.23	9.23	16.46	18.26	9.96	4.91	1.89	0.75	0.85	0.69	0.37	3.36	3.19	4.13	6.34	11.31	11.98	13.13	10.07
17/02/24	8.08	4.82	6.54	11.31	6.44	4.63	7.57	11.84	16.04	10.90	4.95	5.26	4.48	0.94	0.57	0.57	0.30	1.88	17.20	7.30	8.89	17.66	17.23	14.95
18/02/24	10.56	11.56	9.34	14.93	10.82	9.73	11.81	13.63	20.85	16.00	5.01	3.05	1.54	1.81	3.23	1.54	3.45	6.16	7.37	19.00	14.37	13.76	11.02	10.04
19/02/24	8.61	5.16	4.06	4.60	4.08	5.13	8.80	17.01	16.32	8.52	4.51	2.62	3.02	2.41	1.42	0.71	1.33	2.02	4.56	6.02	14.04	19.59	15.57	14.74
20/02/24	16.96	12.52	11.08	11.86	10.19	9.95	8.65	13.77	10.93	7.89	6.81	3.79	2.50	0.40	0.49	12.87	0.07	0.37	2.54	3.57	3.50	7.82	3.61	2.27
21/02/24	2.40	5.21	2.54	1.11	1.49	3.85	5.54	3.21	2.32	1.22	1.49	0.68	0.46	0.27	0.57	0.03	0.31	1.24	3.24	4.07	4.40	4.68	5.37	2.26
22/02/24	3.01	3.43	1.62	1.71	4.27	6.34	6.02	6.20	3.97	2.28	0.98	0.50	0.69	0.08	0.15	0.01	0.11	1.97	3.80	6.35	4.77	5.25	2.09	1.76
23/02/24	1.15	2.47	0.49	1.28	0.05	0.16	1.03	1.44	1.31	0.83	0.60	0.42	0.63	0.86	1.89	0.52	0.75	1.42	3.87	7.20	6.60	7.43	5.08	3.62
24/02/24	4.64	8.12	7.02	15.14	11.25	14.12	9.75	12.48	10.66	2.73	0.79	0.53	0.48	0.59	0.20	0.23	0.21	0.96	4.85	7.16	11.03	11.66	7.08	4.18
25/02/24	2.44	3.00	4.77	5.52	5.55	3.49	5.40	17.42	15.14	4.65	2.93	0.97	1.21	1.14	1.89	1.22	1.05	1.97	4.93	4.77	4.17	5.15	3.08	4.28
26/02/24	3.11	2.76	6.06	2.23	1.08	1.50	5.38	8.09	10.07	5.51	1.17	0.58	0.81	0.57	0.59	0.75	1.65	0.87	1.73	1.66	2.26	2.66	2.70	2.69
27/02/24	2.87	2.70	2.23	2.34	2.48	2.10	3.25	3.81	3.07	2.31	1.08	1.02	2.45	2.83	1.64	4.42	2.31	2.12	4.46	4.47	5.28	4.47	3.26	4.56
28/02/24	5.84	4.71	4.55	3.39	5.33	5.39	4.90	7.00	8.74	6.50	5.25	4.22	2.65	1.67	1.03	1.16	1.83	3.79	3.01	5.01	4.33	5.34	8.88	5.01
29/02/24	1.58	2.72	3.43	5.07	4.58	4.15	2.29	1.66	1.12	0.38	0.20	0.48	0.83	0.32	0.14	0.66	1.68	2.82	5.71	3.04	7.22	3.76	4.50	11.83
01/03/24	13.11	8.10	4.60	5.05	3.68	3.76	7.72	11.72	8.55	8.45	4.95	2.54	1.03	0.82	0.22	0.37	0.33	1.18	4.10	9.82	7.17	6.85	5.39	5.13
02/03/24	3.09	4.30	7.84	6.31	8.53	6.62	3.67	5.74	5.79	2.64	1.78	3.56	0.87	1.65	0.10	1.02	1.96	2.37	5.74	7.75	4.00	4.94	4.61	4.97
03/03/24	4.26	5.67	5.84	4.97	3.24	1.87	2.14	3.37	3.13	2.25	1.18	1.05	0.46	0.34	0.17	1.71	1.92	3.89	5.91	6.81	4.21	3.24	3.71	3.89
04/03/24	3.32	2.89	2.59	2.66	2.08	2.11	2.22	2.90	2.45	1.33	1.61	0.52	1.02	0.82	0.02	0.25	0.38	1.66	4.01	4.45	8.64	6.93	5.33	5.10
05/03/24	3.91	4.98	5.59	7.08	6.47	6.74	12.14	12.95	9.48	4.96	1.81	0.97	0.98	0.16	0.38	0.20	0.46	2.17	3.81	4.31	8.26	7.87	5.63	3.57
06/03/24	2.16	2.03	1.90	1.64	1.36	1.63	2.57	6.65	10.63	4.58	1.46	4.74	0.14	0.12	0.24	0.20	0.33	2.43	3.53	3.62	4.23	3.67	3.91	3.73

07/03/24	2.87	2.72	3.24	3.36	2.84	2.21	3.15	4.04	3.37	2.87	1.35	1.24	1.27	0.79	0.33	0.41	1.42	2.44	3.10	3.90	4.65	0.68	0.86	1.31
08/03/24	0.92	0.70	0.83	0.63	1.60	1.85	7.45	6.58	11.94	2.47	0.87	0.57	0.55	0.28	0.84	0.67	1.30	1.07	3.78	2.69	2.51	3.45	4.23	3.04
09/03/24	2.66	1.99	1.64	0.62	0.53	0.48	0.65	1.57	1.52	1.19	2.17	1.98	1.72	1.63	1.69	1.68	2.62	1.56	4.04	6.50	4.61	9.31	5.40	4.78
10/03/24	2.89	3.32	3.33	1.51	0.34	0.19	0.28	0.85	0.50	1.28	0.85	0.40	0.53	0.64	0.10	0.45	0.36	1.75	2.96	6.08	4.83	6.37	12.33	7.74
11/03/24	5.70	6.43	3.83	2.79	2.74	3.57	4.16	11.42	6.26	2.85	4.12	1.22	0.80	0.76	0.70	0.67	5.40	2.07	2.46	4.13	3.61	3.25	1.83	1.92
12/03/24	2.31	1.58	0.86	0.90	2.22	2.17	2.53	3.27	4.76	2.40	1.72	0.89	0.39	0.23	2.24	1.05	4.64	3.19	3.22	3.05	3.92	5.60	6.06	4.93
13/03/24	3.79	3.98	2.96	3.60	10.05	5.59	3.08	5.45	3.79	2.29	1.06	0.68	0.24	0.13	0.24	0.10	0.62	0.66	2.64	3.82	4.70	4.51	5.57	5.75
14/03/24	5.91	7.24	7.91	5.68	4.85	5.03	4.23	3.48	3.17	2.52	1.37	1.01	0.54	0.16	0.24	0.58	1.15	2.45	4.02	4.97	6.15	6.47	5.14	5.00
15/03/24	4.30	3.65	3.55	5.55	5.02	4.32	3.57	4.29	2.67	2.75	2.42	2.89	1.52	1.48	1.38	2.34	1.30	1.51	2.46	2.79	2.47	3.38	3.85	3.76
16/03/24	2.35	3.38	3.57	6.16	3.71	2.47	1.73	1.64	1.14	1.01	1.19	0.42	0.90	0.65	0.04	0.25	0.62	2.23	3.52	6.33	4.52	4.78	5.97	5.98
17/03/24	4.55	5.77	7.13	8.08	3.73	6.52	10.41	9.67	3.50	0.97	2.56	3.06	2.32	2.04	1.46	1.60	1.92	2.46	3.47	5.29	7.03	3.18	3.06	2.71
18/03/24	1.49	2.40	2.00	1.24	0.86	0.92	1.37	2.48	0.92	0.48	0.25	0.80	0.68	0.63	0.68	0.78	0.97	0.81	2.19	3.08	3.06	1.62	2.36	3.92
19/03/24	3.09	2.48	3.96	4.30	3.25	4.16	5.77	4.25	5.37	0.69	2.28	0.52	0.13	0.29	0.29	0.27	0.69	1.05	1.78	1.63	3.00	2.01	1.97	1.85
20/03/24	3.67	4.74	5.01	4.44	3.23	2.76	2.95	4.30	3.03	1.72	0.69	0.56	0.32	0.49	0.44	0.40	0.90	0.46	2.12	3.62	3.26	1.55	3.38	3.82
Total	5.42	4.96	5.17	5.11	4.12	4.08	4.98	7.11	7.20	4.66	3.36	2.10	1.46	1.15	1.21	1.40	1.80	3.18	5.66	6.46	7.22	7.37	7.13	6.84

ANEXO VII.

Fichas de datos de especies de vegetación para i-Tree Eco


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 1

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-01
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.161887° -110.317440°
	Altura	m.s.n.m. 10.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: <input checked="" type="checkbox"/> Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: <input checked="" type="checkbox"/> Privado: _____

Categoría	N/A	Plantado (P): <input checked="" type="checkbox"/>	Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____
Muerto	N/A	Si: _____ No: <input checked="" type="checkbox"/>	
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.00	
Altura total del árbol	Metros	5.50	
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros	5.50
	Altura a la base de la copa	Metros	4.20
	Ancho de la copa	Metros	Norte-sur: 3.00 Este-oeste: 2.60
	Falta del porcentaje de corona	%	25 %
Condición	%	100 %	
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4	
Información de manejo			
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): <input checked="" type="checkbox"/> Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____	
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: <input checked="" type="checkbox"/> Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____	

			Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____
Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 2

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-02
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
Coordenada GPS	24.161895°	
Coordenada GPS	-110.317362°	
Coordenada GPS	m.s.n.m.	7.65
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.94
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 8.42
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.50 Este-oeste: 4.45
	Falta del porcentaje de corona	% 15 %
Condición	%	95 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 3

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-03
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
	24.161947°	
	-101.317330°	
	m.s.n.m.	1.05
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.89
Altura total del árbol	Metros	9.05
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 9.05
	Altura a la base de la copa	Metros 7.15
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.30 Este-oeste: 4.60
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 4

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-04
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.152033 -110.317268
	Altura	m.s.n.m. 4.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X	
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.02	
Altura total del árbol	Metros	2.65	
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 2.65	
	Altura a la base de la copa	Metros 1.10	
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 2.10 Este-oeste: 2.10	
	Falta del porcentaje de corona	% 40 %	
Condición	%	100%	
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3	
Información de manejo			
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____	
	Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 5

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-05
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162070 -110.317247
	Altura	m.s.n.m. 5.05
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.84
Altura total del árbol	Metros	12.57
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 12.57
	Altura a la base de la copa	Metros 10.07
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.50 Este-oeste: 2.10
	Falta del porcentaje de corona	% 15 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 6

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-06
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162075°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317203°
	Altura	m.s.n.m. 1.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.93
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 8.42
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 6.00 Este-oeste: 5.00
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 7

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-07
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
	24.162172°	
	-110.317275°	
	m.s.n.m.	2.3
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.01
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 8.42
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.80 Este-oeste: 4.26
	Falta del porcentaje de corona	% 30 %
Condición	%	95 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 8

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-08
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
	24.162127°	-110.317200°
	m.s.n.m.	1.85
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.08
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 8.42
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.85 Este-oeste: 3.45
	Falta del porcentaje de corona	% 20 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 9

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-09
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
Coordenada GPS		24.162180°
Coordenada GPS		-110.317283°
Coordenada GPS		5.65
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.45
Altura total del árbol	Metros	1.65
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 1.65
	Altura a la base de la copa	Metros 0.53
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 2.50 Este-oeste: 2.60
	Falta del porcentaje de corona	% 35 %
Condición	%	100%
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 10

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-10
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162342°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317277°
	Altura	m.s.n.m. 3.8
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.84
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 8.42
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.74 Este-oeste: 4.25
	Falta del porcentaje de corona	% 10 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 11

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	04/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-11
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162240°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317208°
	Altura	m.s.n.m. 4.75
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.79
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 7.22
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.00 Este-oeste: 4.00
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100%
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 12

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-12
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
	24.162317°	-110.317140°
	m.s.n.m.	-3.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Schinus terebinthifolius
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.95
Altura total del árbol	Metros	10.70
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.70
	Altura a la base de la copa	Metros 3.45
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 8.20 Este-oeste: 10.35
	Falta del porcentaje de corona	% 30 %
Condición	%	80 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: _____ 1,9 a 3,8cm: X Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 13

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-13
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos ("). 24.162383°
	Longitud	-110.317055°
	Altura	m.s.n.m. -2.65
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Schinus terebinthifolius
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	2.08
Altura total del árbol	Metros	10.70
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.70
	Altura a la base de la copa	Metros 4.47
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 6.52 Este-oeste: 9.36
	Falta del porcentaje de corona	% 30 %
Condición	%	80 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: X Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 14

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-14
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
		24.162442°
		-110.316998°
		-2.95
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	2.30
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 2.70
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 11.50 Este-oeste: 11.87
	Falta del porcentaje de corona	% 10 %
Condición	%	75 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: X Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 15

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-15
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162505° -110.316903°
	Altura	m.s.n.m. 0.95
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	2.50
Altura total del árbol	Metros	10.67
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 10.67
	Altura a la base de la copa	Metros 2.88
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 11.00 Este-oeste: 14.80
	Falta del porcentaje de corona	% 15 %
Condición	%	85 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 16

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-16
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162542°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316937°
	Altura	m.s.n.m. 0.95
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.82
Altura total del árbol	Metros	8.00
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 8.00
	Altura a la base de la copa	Metros 2.20
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.60 Este-oeste: 3.05
	Falta del porcentaje de corona	% 20 %
Condición	%	45 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: X Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 17

VARIABLES	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-17
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162518°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316793°
	Altura	m.s.n.m. 6.95
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____

Desconocidos (U): _____		
Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.65
Altura total del árbol	Metros	7.79
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 7.79
	Altura a la base de la copa	Metros 2.40
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.70 Este-oeste: 2.90
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	50 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: X Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____

			Tratar plagas/enfermedades: _____
Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 18

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-18
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162543°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316832°
	Altura	m.s.n.m. 6.95
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.66
Altura total del árbol	Metros	8.00
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 8.00
	Altura a la base de la copa	Metros 2.10
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.05 Este-oeste: 4.33
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	45 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: X Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 19

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-19
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162630° -110.316793°
	Altura	m.s.n.m. 2.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.43
Altura total del árbol	Metros	4.92
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 4.92
	Altura a la base de la copa	Metros 2.10
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 6.07 Este-oeste: 5.56
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: _____ 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 20

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-20
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
Coordenada GPS	Latitud	24.162643°
Coordenada GPS	Longitud	-110.316723°
Coordenada GPS	Altura	m.s.n.m. 2.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.45
Altura total del árbol	Metros	7.93
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 7.93
	Altura a la base de la copa	Metros 2.80
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.65 Este-oeste: 5.45
	Falta del porcentaje de corona	% 30 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	5
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: X Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 21

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-21
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
	24.162632°	
	-110.316675°	
	m.s.n.m.	-1.75
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.30
Altura total del árbol	Metros	1.64
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 1.64
	Altura a la base de la copa	Metros 0.60
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 1.70 Este-oeste: 1.85
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	5
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 22

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	06/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-22
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162793
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316513°
	Altura	m.s.n.m. -0.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.43
Altura total del árbol	Metros	5.52
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 5.52
	Altura a la base de la copa	Metros 1.66
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 4.50 Este-oeste: 5.00
	Falta del porcentaje de corona	% 15 %
Condición	%	100
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: X Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: X
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 23

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-23
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162818°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316472°
	Altura	m.s.n.m. 0.65
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.43
Altura total del árbol	Metros	5.09
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 5.09
	Altura a la base de la copa	Metros 1.95
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 5.23 Este-oeste: 5.17
	Falta del porcentaje de corona	% 30 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: _____ 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 24

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-24
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162888°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316458°
	Altura	m.s.n.m. -0.45
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.94
Altura total del árbol	Metros	7.41
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 7.41
	Altura a la base de la copa	Metros 2.10
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 9.90 Este-oeste: 10.20
	Falta del porcentaje de corona	% 10 %
Condición	%	90 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras	N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios	N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 25

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-25
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162863° -110.316377°
	Altura	m.s.n.m. 1.35
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.47
Altura total del árbol	Metros	8.77
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 8.77
	Altura a la base de la copa	Metros 2.40
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 8.59 Este-oeste: 6.00
	Falta del porcentaje de corona	% 55 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: _____ 1,9 a 3,8cm: X Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 26

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-26
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162860°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316317°
	Altura	m.s.n.m. 1.35
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.74
Altura total del árbol	Metros	9.53
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 9.53
	Altura a la base de la copa	Metros 2.60
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 9.11 Este-oeste: 9.43
	Falta del porcentaje de corona	% 15 %
Condición	%	80 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 27

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-27
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162888° -110.316232°
	Altura	m.s.n.m. 0.84
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: <input checked="" type="checkbox"/> Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: <input checked="" type="checkbox"/> Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): <input checked="" type="checkbox"/> Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.96
Altura total del árbol	Metros	6.28
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 6.28
	Altura a la base de la copa	Metros 3.00
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 7.34 Este-oeste: 9.04
	Falta del porcentaje de corona	% 40 %
Condición	%	50 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: X
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 28

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-28
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162793°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316190°
	Altura	m.s.n.m. 9.24
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Tamarindus indica
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	5.08
Altura total del árbol	Metros	16.36
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 16.36
	Altura a la base de la copa	Metros 3.95
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 19.00 Este-oeste: 22.00
	Falta del porcentaje de corona	% 45 %
Condición	%	60 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: X Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 29

Variables	Unidad de medida	Descripción	
Información del estudio			
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24	
Brigada	B-00	B-01	
Información del árbol			
Identificación del árbol	X-00	E-29	
ID Foto del árbol	N/A		
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").	24.162751°
	Longitud		-110.316395°
	Altura	m.s.n.m.	3.35
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)	
Especies	N/A	Washingtonia robusta	
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____	
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____	
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____	

		Desconocidos (U): _____		
Muerto	N/A	Si: _____	No: X	
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.86		
Altura total del árbol	Metros	2.72		
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros	2.72	
	Altura a la base de la copa	Metros	0.55	
	Ancho de la copa	Metros	Norte-sur: 3.32	
			Este-oeste: 2.83	
Falta del porcentaje de corona	%	25 %		
Condición	%	95 %		
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2		
Información de manejo				
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____		
		Árbol pequeño (rutina): X		
		Árbol pequeño (inmediato): _____		
		Árbol grande (rutina): _____		
		Árbol grande (inmediato): _____		
		Preocupación crítica (seguridad pública): _____		
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____		
		Estaca/capacitar: _____		
		Despeje de copa: _____		
		Elevación de copa: X		
		Reducción/raleo: _____		
		Remover: _____		

			Tratar plagas/enfermedades: _____
Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: X Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 30

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-30
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	m.s.n.m.
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X	
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.78	
Altura total del árbol	Metros	3.00	
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 3.00	
	Altura a la base de la copa	Metros 0.55	
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.10 Este-oeste: 2.75	
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %	
Condición	%	100 %	
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3	
Información de manejo			
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____	
	Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: X Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: X Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 31

Variab les	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00 B-01	
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-31
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162754°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316445°
	Altura	m.s.n.m. -0.55
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.60
Altura total del árbol	Metros	2.77
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 2.77
	Altura a la base de la copa	Metros 0.40
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 2.06 Este-oeste: 2.42
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: X Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: X
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 32

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-32
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162682° -110.316397°
	Altura	m.s.n.m. 0.85
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Jacaranda mimosifolia
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.24 0.18 0.53
Altura total del árbol	Metros	4.90
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 4.90
	Altura a la base de la copa	Metros 2.70
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 2.59 Este-oeste: 2.92
	Falta del porcentaje de corona	% 60 %
Condición	%	80 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	5
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: <input checked="" type="checkbox"/> 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: <input checked="" type="checkbox"/> Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 33

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	08/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-33
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162617°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316545
	Altura	m.s.n.m. 1.15
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.27
Altura total del árbol	Metros	5.65
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 5.65
	Altura a la base de la copa	Metros 2.00
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.25 Este-oeste: 2.50
	Falta del porcentaje de corona	% 35 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9cm: X 1,9 a 3,8cm: _____ Más de 3,8cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: X
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 34

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	09/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-34
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
	24.162537°	-110.316683°
	m.s.n.m.	0.45
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.29
Altura total del árbol	Metros	0.93
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 0.93
	Altura a la base de la copa	Metros 0.26
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 1.10 Este-oeste: 1.14
	Falta del porcentaje de corona	% 75 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	5
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: X Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 35

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	09/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-35
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162505°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316720°
	Altura	m.s.n.m. 1.15
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.10
Altura total del árbol	Metros	2.27
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 2.27
	Altura a la base de la copa	Metros 0.90
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 2.50 Este-oeste: 3.00
	Falta del porcentaje de corona	% 40 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: X Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 36

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	09/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-36
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162535°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316732
	Altura	m.s.n.m. -1.05
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washingtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.42
Altura total del árbol	Metros	1.32
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 1.32
	Altura a la base de la copa	Metros 0.50
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 1.50 Este-oeste: 1.45
	Falta del porcentaje de corona	% 35 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): X Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): _____ Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: X Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 37

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	09/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-37
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
Coordenada GPS	24.162482°	-110.316765°
Coordenada GPS	-0.75	
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Jacaranda mimosifolia
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.26
Altura total del árbol	Metros	6.36
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 6.36
	Altura a la base de la copa	Metros 1.87
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.89 Este-oeste: 4.17
	Falta del porcentaje de corona	% 70 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 38

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	09/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-38
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162463°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.316808°
	Altura	m.s.n.m. 1.95
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.38
Altura total del árbol	Metros	7.05
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 7.05
	Altura a la base de la copa	Metros 2.23
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 7.12 Este-oeste: 8.58
	Falta del porcentaje de corona	% 60 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 39

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	10/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-39
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
Coordenada GPS	24.162395°	-110.316923°
Coordenada GPS	m.s.n.m.	4.55
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.38
Altura total del árbol	Metros	8.19
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 8.19
	Altura a la base de la copa	Metros 3.70
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 5.82 Este-oeste: 6.34
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: X Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 40

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	10/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-40
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud Longitud Altura	Grados (°), minutos (') y segundos ("). 24.162345° -110.317033° m.s.n.m. -1.05
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.40
Altura total del árbol	Metros	7.81
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 7.81
	Altura a la base de la copa	Metros 4.16
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 10.62 Este-oeste: 14.34
	Falta del porcentaje de corona	% 10 %
Condición	%	80 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: X Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 41

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	10/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-41
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162302° -110.317110°
	Altura	m.s.n.m. 15.25
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.73
Altura total del árbol	Metros	15.87
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 15.87
	Altura a la base de la copa	Metros 4.12
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.70 Este-oeste: 5.00
	Falta del porcentaje de corona	% 20 %
Condición	%	95 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	0
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: X
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____


DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 42

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	10/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-42
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	m.s.n.m.
Uso de tierra	N/A	24.162313° -110.317065° 15.55 Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X	
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.95	
Altura total del árbol	Metros	13.56	
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 13.56	
	Altura a la base de la copa	Metros 3.72	
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 13.34 Este-oeste: 11.04	
	Falta del porcentaje de corona	% 50 %	
Condición	%	65 %	
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2	
Información de manejo			
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____	
	Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 43

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	10/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-43
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162280°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317052°
	Altura	m.s.n.m. 19.85
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____

Desconocidos (U): _____			
Muerto	N/A	Si: _____ No: X	
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.44	
Altura total del árbol	Metros	16.00	
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 16.00	
	Altura a la base de la copa	Metros 4.36	
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 7.04 Este-oeste: 5.15	
	Falta del porcentaje de corona	% 50 %	
Condición	%	45 %	
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	1	
Información de manejo			
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____	
	Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____

		Tratar _____ Tratar _____	plagas/enfermedades: plagas/enfermedades:
Conflicto de aceras	N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____	
Conflicto de servicios	N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____	
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 44

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	10/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-44
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.162290° -110.317154°
	Altura	m.s.n.m. 19.65
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.62
Altura total del árbol	Metros	14.15
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 14.15
	Altura a la base de la copa	Metros 2.44
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 10.04 Este-oeste: 9.37
	Falta del porcentaje de corona	% 50 %
Condición	%	45 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 45

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	10/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-45
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	
Coordenada GPS		24.162253°
Coordenada GPS		-110.317186°
Coordenada GPS		19.65
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: <input checked="" type="checkbox"/> Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: <input checked="" type="checkbox"/> Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): <input checked="" type="checkbox"/> Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.57
Altura total del árbol	Metros	11.81
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 11.81
	Altura a la base de la copa	Metros 3.34
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 10.35 Este-oeste: 8.73
	Falta del porcentaje de corona	% 65 %
Condición	%	70 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 46

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-46
ID Foto del árbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162184°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317241°
	Altura	m.s.n.m. 19.65
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	2.03
Altura total del árbol	Metros	13.32
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 13.32
	Altura a la base de la copa	Metros 3.50
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 15.65 Este-oeste: 13.00
	Falta del porcentaje de corona	% 30 %
Condición	%	90 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 47

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-47
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.162062°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317138°
	Altura	m.s.n.m. 18.75
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Ficus benjamina
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.55
Altura total del árbol	Metros	11.91
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 11.91
	Altura a la base de la copa	Metros 2.85
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 8.36 Este-oeste: 8.17
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	4
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: X
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 48

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-48
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	m.s.n.m.
Coordenada GPS	24.161920°	-110.317262°
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.44
Altura total del árbol	Metros	9.35
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 9.35
	Altura a la base de la copa	Metros 2.79
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 6.33 Este-oeste: 5.45
	Falta del porcentaje de corona	% 35 %
Condición	%	100%
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: X
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 49

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-49
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	24.161857° -110.317292°
	Altura	m.s.n.m. 11.15
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.41
Altura total del árbol	Metros	7.86
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 7.86
	Altura a la base de la copa	Metros 2.57
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 8.27 Este-oeste: 7.24
	Falta del porcentaje de corona	% 40 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	2
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: _____ 1,9 a 3,8 cm: X Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 50

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-50
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.161845°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317325°
	Altura	m.s.n.m. -0.15
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.28 0.24 0.28 1.12
Altura total del árbol	Metros	8.28
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 8.28
	Altura a la base de la copa	Metros 2.58
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 5.95 Este-oeste: 5.65
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 51

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-51
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados 24.161813°
	Longitud	(°), minutos (') y segundos ("). -110.317395°
	Altura	m.s.n.m. 2.85
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Bucida buceras
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.88
Altura total del árbol	Metros	6.77
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 6.77
	Altura a la base de la copa	Metros 2.08
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.53 Este-oeste: 3.05
	Falta del porcentaje de corona	% 35 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: X Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: <input checked="" type="checkbox"/> 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: <input checked="" type="checkbox"/> Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 52

Variables	Unidad de medida	Descripción
Información del estudio		
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24
Brigada	B-00	B-01
Información del árbol		
Identificación del árbol	X-00	E-52
ID Foto del arbol	N/A	
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").
	Longitud	
	Altura	m.s.n.m.
		24.161765°
		-110.317386°
		3.05
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)
Especies	N/A	Washigtonia robusta
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____ Desconocidos (U): _____

Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	0.85
Altura total del árbol	Metros	4.11
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 4.11
	Altura a la base de la copa	Metros 2.10
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 3.51 Este-oeste: 3.66
	Falta del porcentaje de corona	% 25 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: X Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: _____ Reducción/raleo: _____ Remover: _____ Tratar plagas/enfermedades: _____

Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: <input checked="" type="checkbox"/> 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: _____ Presentes y sin conflicto potencial: <input checked="" type="checkbox"/> Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: <input checked="" type="checkbox"/> Presencia: _____

DATOS GENERALES DE ESPECIES – ESPECIMEN NO. 53

Variables	Unidad de medida	Descripción	
Información del estudio			
Fecha de estudio	dd/mm/aa	12/02/24	
Brigada	B-00	B-01	
Información del árbol			
Identificación del árbol	X-00	E-53	
ID Foto del arbol	N/A		
Coordenada GPS	Latitud	Grados (°), minutos (') y segundos (").	24.161768°
	Longitud		-110.317370°
	Altura	m.s.n.m.	3.05
Uso de tierra	N/A	Comercial/industrial (C)	
Especies	N/A	Washigtonia robusta	
Árbol en la calle/no en la calle	N/A	Árbol en la calle: X Árbol no en la calle: _____	
Público/privado	N/A	Público: X Privado: _____	
Categoría	N/A	Plantado (P): X Masa Natural (auto sembrado) (I): _____	

Desconocidos (U): _____		
Muerto	N/A	Si: _____ No: X
Diámetro a la altura de pecho (d.a.p.)	Metros	1.57
Altura total del árbol	Metros	3.98
Tamaño de copa	Altura a la copa viva	Metros 3.98
	Altura a la base de la copa	Metros 2.38
	Ancho de la copa	Metros Norte-sur: 12.00 Este-oeste: 10.80
	Falta del porcentaje de corona	% 40 %
Condición	%	100 %
Exposición a la luz de la corona	Número de lados (1-5)	3
Información de manejo		
Mantenimiento recomendado	N/A	Ninguna: _____ Árbol pequeño (rutina): _____ Árbol pequeño (inmediato): _____ Árbol grande (rutina): X Árbol grande (inmediato): _____ Preocupación crítica (seguridad pública): _____
Tarea de mantenimiento	N/A	Ninguna: _____ Estaca/capacitar: _____ Despeje de copa: _____ Elevación de copa: X Reducción/raleo: _____ Remover: _____

			Tratar plagas/enfermedades: _____
Conflicto de aceras		N/A	Levantamiento de aceros por: 0 a 1,9 cm: X 1,9 a 3,8 cm: _____ Más de 3,8 cm: _____
Conflicto de servicios		N/A	No hay líneas: X Presentes y sin conflicto potencial: _____ Presentes y en conflicto: _____
Plagas (IPED)	Señales y síntomas de estrés en árboles	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de follaje/ramitas	N/A	Ausencia: X Presencia: _____
	Señales y síntomas de ramas/tronco	N/A	Ausencia: X Presencia: _____