



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL
Reporte final de Residencia Profesional



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

INVENTARIO DEL ARBOLADO URBANO EN PARQUES DEL
DISTRITO I.2 INSURGENTES DE LA CIUDAD DE CHETUMAL,
QUINTANA ROO.

ASESORA

DRA. HERLINDA DEL SOCORRO SILVA POOT.

REVISORES:

M. en Arq. GABRIELA ROSAS CORREA

M. en D. LAURA ISABEL GUARNEROS URBINA

ALUMNA:

JUDITH AGUSTINA VELASQUEZ AC

Chetumal, Quintana Roo. Marzo 2026



Agradecimiento

Agradezco, en primer lugar, a Dios por las oportunidades concedidas y por la fortaleza para reconocerlas y sostenerlas, por las vivencias y el tiempo que me permitieron crecer, madurar y comprender que cada etapa —con sus retos y aprendizajes— construye, paso a paso, el camino hacia lo que hoy se concreta.

Con profundo respeto y gratitud, agradezco a mis padres y a mi hermano por su apoyo permanente, su orientación y su amor a lo largo de tantos años de formación. A mi padre, Eladio Velasquez Parra, por enseñarme que la resiliencia no es solo resistir, sino transformarse y avanzar con determinación, incluso cuando el trayecto se vuelve exigente. A mi madre, Consuelo Ac Suares, por su comprensión, su cuidado y su acompañamiento constante; su presencia fue decisiva, sobre todo en los días más cansados, cuando su apoyo sostuvo mi ánimo y reafirmó mi propósito. A mi hermano, Esteban Velasquez, por ser inspiración cotidiana y motor silencioso; por impulsarme a mirar siempre hacia una mejor versión de mí misma.

De manera especial, deseo mencionar a todas las “huellitas” que han acompañado en mi camino. Algunas aún comparten conmigo desvelos y esfuerzos; otras ya no están, pero permanecen en la memoria como compañía fiel en momentos difíciles. En particular, agradezco a mi pequeño Cerbero, quien me enseñó, con una lección simple y profunda, que el tamaño nunca determina la grandeza, y que siempre es posible hacerse notar desde la ternura, la valentía y la presencia.

A mis amistades, gracias por caminar a mi lado. De cada una de ustedes he aprendido algo valioso: a ser mejor persona, a sostener metas con disciplina y a soñar con mayor amplitud. A mis amigos Victor Raúl del Angel Mendoza Villanueva y Mauricio Alejandro Cobos Poot, gracias por acompañarme en mis tristezas y triunfos, y por hacer que la vida se sienta más bella, más ligera y más humana. También agradezco, con especial aprecio, a las familias que me han recibido con cariño y me han hecho sentir parte de su hogar en especial la familia Mendoza Villanueva, ampliando mi sentido de pertenencia.

Por último, y no menos importante, agradezco a mis asesoras, Herlinda Silva y Gabriela Rosas, por su guía, su confianza y la oportunidad de aprender de su experiencia. Agradezco igualmente a mis maestros Guillermo Gomez, por despertar en mí el interés y orientar mi vocación hacia la arquitectura; y Juan Carlos Curiel, por sus consejos, su disposición para escuchar y su acompañamiento académico, elementos que resultaron fundamentales para alcanzar este logro. Finalmente, agradezco al Instituto Tecnológico de Chetumal por brindarme la formación y el espacio para crecer en todas las dimensiones posibles, y por haber sido el escenario donde esta meta dejó de ser un anhelo para convertirse en realidad.



Resumen

Esta investigación se desarrolla en el marco del proyecto PRODEP sobre estrategias de mitigación del cambio climático en entornos costeros. El estudio se localiza en el **Distrito I.2 "Insurgentes" de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo**, con el objetivo de generar un diagnóstico integral (cuantitativo y cualitativo) del patrimonio arbóreo existente, entendido como infraestructura verde esencial para la gestión urbana sostenible. Debido a la complejidad del tejido urbano en este sector, la investigación se delimitó a 48 plazas y parques públicos, donde se realizó un levantamiento censal georreferenciado de 1,784 individuos.

La metodología combinó el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con técnicas de análisis dasonómico para caracterizar cada ejemplar. Se registraron variables de configuración espacial —como altura total y radio de copa—, además de evaluar el estado fitosanitario y los conflictos físicos con la infraestructura gris (pavimentos, redes eléctricas y mobiliario urbano). Los resultados revelan una composición vegetal heterogénea y la necesidad de establecer criterios de diseño y mantenimiento silvicultural que minimicen el impacto en la obra civil. Este inventario constituye el insumo fundamental para proponer estrategias de diseño del paisaje alineadas a la Ley de Conservación del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo, optimizando la habitabilidad del espacio público en el contexto del trópico húmedo.

Palabras clave: Infraestructura verde, Espacio público, Urbanismo sostenible, Chetumal, SIG, Paisaje urbano.



Índice

Agradecimiento.....	2
Resumen.....	3
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.1 Antecedentes.....	10
1.2. Planteamiento del problema.....	12
1.3. Preguntas de investigación.....	14
1.4. Objetivos.....	14
1.4.1. Objetivo General.....	14
1.4.2. Objetivos específicos.....	15
1.5 Justificación.....	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Enfoque teórico de la investigación.....	17
2.2 Arbolado urbano como infraestructura verde.....	18
2.3. Servicios ecosistémicos del arbolado urbano.....	19
2.4. Servicios ecosistémicos del arbolado urbano.....	20
2.5 Inventarios de arbolado urbano.....	22
2.6 Conflictos entre arbolado urbano e infraestructura.....	24
2.7 Marco normativo de arbolado urbano.....	26
2.8 Antecedentes de la investigación.....	28
2.9 Consideraciones finales del marco teórico.....	30
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	32
3.1. Enfoque y nivel de la investigación.....	32
3.2. Diseño de investigación.....	33
3.3. Unidad de análisis y delimitación del estudio.....	33
3.4. Población, muestra y tipo de muestreo.....	36
3.5 Variables y operacionalización.....	38
3.5.1 Variables de georeferenciación.....	39
3.5.2. Variables taxonómicas.....	40
3.5.3. Variables dasométricas.....	41
3.5.4. Variables fitosanitarias.....	42
3.5.5. Variables de riesgo.....	43
3.5.6 Variables de conflicto urbano.....	43
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.6.1 Instrumentación para la Georreferenciación y Ubicación Espacial.....	45



3.6.2. Técnicas e instrumentos de medición dasométrica.....	46
3.6.4. Riesgo de interferencia urbana.....	46
3.7 Procedimiento metodológico.....	47
3.7.1 Planeación del trabajo.....	47
3.7.2. Levantamiento de información en campo.....	47
3.7.3. Sistematización y Validación de Gabinete.....	47
3.7.4. Integración en SIG.....	48
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1 Caracterización del arbolado urbano en parques seleccionados.....	49
4.1.1 Ubicación de los parques y sus resultados.....	49
4.1.2 Distribución y abundancia del arbolado.....	50
4.1.3 Origen de las especies arbóreas.....	52
4.1.4 Estructuras demográfica del arbolado.....	54
4.1.5 Riesgos y Conflictos.....	57
4.2 Resultados por unidad espacial (Polígonos).....	59
4.2.1 Polígono 1.....	59
4.2.2. Polígono 2.....	63
4.2.3. Polígono 3.....	68
4.2.4. Polígono 5.....	73
4.2.5. Polígono 6.....	77
4.2.6. Polígono 7.....	83
4.3 Resultados Generales.....	88
5. Discusión.....	90
6. CONCLUSIONES.....	93
Referencias.....	95



Índice de Figuras

Figura 1	Delimitación: Chetumal, Quintana Roo	35
Figura 2	Área de influencia: Distrito I.2 Insurgentes	35
Figura 3	Segmentación del área de influencia	38
Figura 4	Diagrama metodológico del inventario	46
Figura 5	Ubicación de los parques en el Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo	50
Figura 6	Imagen de la tabla de distribución porcentual de los individuos arbóreos por categoría y parque	51
Figura 7	Imagen de la tabla de distribución porcentual del origen de las especies arbóreas por categoría y parque	53
Figura 8	Imagen de la tabla de distribución porcentual por desarrollo de los individuos arbóreos por categoría y parque	56
Figura 9	Imagen de la tabla de distribución porcentual de riesgos y conflictos de los individuos arbóreos por categoría y parque	59
Figura 10	Delimitación del Polígono 1 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base	61
Figura 11	Distribución de Especies en el Polígono 1 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	62
Figura 12	Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 1 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	63



Figura 13	Delimitación del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base	64
Figura 14	Distribución de Especies en el Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	66
Figura 15	Origen de las especies del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	67
Figura 16	Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	68
Figura 17	Estado Fitosanitario del Arbolado del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	68
Figura 18	Delimitación del Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base	69
Figura 19	Distribución de Especies en el Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	71
Figura 20	Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	73
Figura 21	Delimitación del Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base	74
Figura 22	Distribución de Especies en el Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	76
Figura 23	Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	77
Figura 24	Delimitación del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base	78



Figura 25	Distribución de Especies en el Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	79
Figura 26	Origen de las especies del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	80
Figura 27	Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	82
Figura 28	Conflictos del P5_ PVS (Polígono 5, Parque Sacxan entre Vallehermoso y C.Sergio Butrón)	84
Figura 29	Delimitación del Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base	84
Figura 30	Distribución de Especies en el Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	85
Figura 31	Origen de las especies del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	87
Figura 32	Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo	88



Índice de Tablas

Tabla 1	Tabla de las variables de georreferenciación	40
Tabla 2	Tabla de las variables de taxonómicas	40
Tabla 3	Tabla de las variables dasométricas	42
Tabla 4	Tabla de las variables fitosanitarias	43
Tabla 5	Tabla de las variables de riesgos	44
Tabla 6	Tabla de las variables de conflicto urbano	45
Tabla 7	Síntesis del estado forestal, composición taxonómica y servicios ecosistémicos por polígono en el Distrito I.2 Insurgentes	90



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes.

El crecimiento urbano requiere ajustar la relación entre las construcciones y su entorno. La infraestructura verde, como los espacios naturales y la vegetación, junto con el arbolado urbano, es decir, los árboles plantados en áreas públicas, cumple funciones ecológicas importantes y es clave para una planificación sostenible (FAO, 2022). Estos sistemas ayudan a regular la temperatura, mejoran el ciclo del agua, limpian el aire y crean espacios que favorecen la convivencia social. Frente al cambio climático, los árboles urbanos capturan y almacenan dióxido de carbono de manera eficiente. Por eso, los inventarios de arbolado, registros sistemáticos de los árboles urbanos, ayudan a gestionar estos servicios ecosistémicos a largo plazo (ONU-Hábitat, 2022).

En el sureste de México, el crecimiento urbano ha impermeabilizado el suelo y acentuado el efecto de isla de calor. En climas cálidos subhúmedos, la reducción de la vegetación agrava los problemas de temperatura y de escasez de agua. Las leyes reconocen que la falta de monitoreo sistemático aumenta los riesgos para la población, como las caídas de árboles o los accidentes con cables eléctricos. Así, la Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo exige la conservación, protección y desarrollo del arbolado urbano y establece que los municipios deben realizar censos técnicos, según lo señala el Congreso del Estado de Quintana Roo (2017).

Aunque existen normas, Chetumal sigue presentando un rezago técnico porque se conoce poco sobre sus árboles y la información no corresponde al tamaño de la ciudad ni a los objetivos ambientales del Plan Municipal de Desarrollo 2024-2027 (Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2024). Algunos estudios, como el de Reyes Chan et al. (2024), destacan los beneficios de los árboles urbanos, como la captura de CO₂ y su papel en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, la información disponible aún es insuficiente para gestionar adecuadamente los espacios públicos. La Secretaría



de Medio Ambiente y Ecología de Quintana Roo [SEMA] trabaja en un inventario estatal de arbolado, pero este no cuenta con el detalle necesario para aplicarse en espacios públicos locales, como los parques. El problema es más grave en el Distrito I.2 Insurgentes, donde faltan datos sobre especies, tamaños y ubicaciones de los árboles, lo que dificulta la creación de políticas públicas basadas en evidencia científica.

El Programa Estatal de Inventario y Mapeo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo (SEMA) señala que contar con una base de datos clara y actualizada sobre los árboles urbanos es esencial para evitar problemas operativos, económicos y de seguridad pública. Si falta información, se pueden usar los recursos de manera ineficiente y generar gastos adicionales por intervenciones innecesarias. Además, no evaluar la estructura de los árboles maduros aumenta los riesgos para la infraestructura y las personas.

En el diseño del paisaje, elegir especies sin saber cómo crecen sus raíces causa problemas frecuentes con el entorno, dañando el concreto y las redes subterráneas (Bonilla Toscano & Valdez Eleuterio, 2025). Además, plantar árboles sin planificación lleva a que haya pocas especies y monocultivos, lo que hace que los árboles sean más vulnerables a plagas y al clima (Reyes Chan et al., 2024).

En el Distrito I.2 Insurgentes, su tamaño y la cantidad de árboles pueden afectar la sostenibilidad de la ciudad. Si no se realizan censos sistemáticos en los espacios públicos, la infraestructura se deteriorará más rápido, habrá más riesgos derivados de fenómenos hidrometeorológicos y el presupuesto se utilizará de manera ineficiente. Además, no incluir la infraestructura verde en la planificación contradice las normas de resiliencia de la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano 2021) y los lineamientos internacionales de la ONU-Hábitat (2019). Por eso, es urgente crear e implementar herramientas de gestión urbana para frenar la degradación del paisaje, recuperar los servicios ecosistémicos y asegurar la equidad ambiental en la zona.



1.2. Planteamiento del problema

La consolidación de un manejo eficiente de la infraestructura verde exige, como premisa metodológica ineludible, la ejecución de un inventario de arbolado urbano (IAU). Este instrumento técnico provee la línea base cuantitativa —referente a la composición taxonómica, estructura diamétrica y altura— y cualitativa —estado fitosanitario, nivel de riesgo y grado de interferencia con el entorno construido— de la masa forestal (Hernández et al., 2022). La carencia de esta plataforma georreferenciada sume a las administraciones municipales y a los planificadores del territorio en un estado de incertidumbre diagnóstica, imposibilitando la formulación de estrategias adaptativas basadas en evidencia empírica.

Derivado de este vacío de información, se desencadenan externalidades negativas que comprometen la gestión operativa y financiera del espacio público. La ausencia de un registro pormenorizado impide dimensionar los requerimientos precisos de mantenimiento silvicultural, como podas formativas, esquemas de riego o sustitución de ejemplares, lo que invariablemente se traduce en el abandono progresivo del recurso vegetal. En paralelo, esta omisión técnica eleva de manera sustancial los niveles de vulnerabilidad civil. Al carecer de protocolos proactivos para la identificación de individuos con fallas estructurales o deterioro biológico, se incrementa la probabilidad de riesgos que atentan contra la integridad de los usuarios y el patrimonio privado. Respecto a este punto, la legislación estatal reconoce que el déficit de monitoreo propicia escenarios de riesgo y emergencia, particularizados en la interferencia de ramas inestables con el cableado aéreo y la infraestructura de servicios (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2017).

Como respuesta directa de esta problemática, la falta de criterios técnicos en la arborización suscita conflictos físicos crónicos con el entorno construido. La selección empírica de especímenes, ejecutada al margen del dimensionamiento del espacio higroscópico y del comportamiento radicular, origina el colapso sistemático de las planchas de concreto, guarniciones y redes subterráneas. El análisis de estas afectaciones viales demuestra que la incompatibilidad entre la geometría urbana y el



desarrollo botánico detona un ciclo reiterativo de mitigación de daños (Bonilla Toscano & Valdez Eleuterio, 2025). Adicionalmente, el desconocimiento del inventario promueve la homogeneización biótica y la instauración de monocultivos; esta pérdida de diversidad taxonómica merma la capacidad de captura de carbono del bosque urbano y acentúa su fragilidad frente a presiones patológicas y fluctuaciones climáticas extremas (Reyes Chan et al., 2024).

Al trasladar este escenario al ámbito territorial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, se advierte una marcada disonancia entre los instrumentos de planeación vigentes y la operatividad técnica local. Si bien el Plan Municipal de Desarrollo 2024-2027 (Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2024) y la Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2022) mandatan el ordenamiento del paisaje, prohíben prácticas lesivas e instruyen la ejecución de censos forestales, la materialización de estas directrices resulta fragmentaria. Cabe precisar que la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) desarrolla actualmente un inventario a escala estatal; no obstante, este esfuerzo macroinstitucional carece de la resolución espacial requerida para orientar el diseño del espacio público a microescala. Investigaciones previas elaboradas en el municipio validan el papel estructurante de la vegetación en la mitigación de inundaciones (Gómez-Poot, 2025) y documentan la diversidad florística en polígonos cerrados (Almeida-Cerino et al., 2024), pero constatan que el acervo dasonómico local permanece desarticulado ante la magnitud de la mancha urbana.

Bajo esta premisa, las deficiencias expuestas convergen de manera crítica en el Distrito I.2 Insurgentes. Dada su condición como una de las demarcaciones de mayor consolidación urbana y dinamismo poblacional en la capital, la inexistencia de un diagnóstico integral, taxonómico y espacial de sus parques y camellones obstaculiza la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades competentes. Mientras persista la carencia de un instrumento de medición detallado a esta escala distrital, se garantizará la prolongación de los conflictos radicales con la obra civil, la latencia de contingencias derivadas de ejemplares seniles y el dispendio de los recursos públicos.



Por consiguiente, la estructuración de esta línea base resulta impostergable para frenar la degradación paisajística y dotar al distrito de las herramientas analíticas necesarias para su consolidación como un entorno urbano verdaderamente resiliente y sostenible.

1.3. Preguntas de investigación.

1.3.1.1 Pregunta General

¿Cuál es el estado del arbolado urbano en los parques del Distrito Insurgentes I.2 de Chetumal, Quintana Roo, en términos taxonómicos, dasométricos, fitosanitarios y espaciales, ¿y de qué manera su diagnóstico integral permite identificar los conflictos con la infraestructura física para establecer las bases técnicas de una gestión orientada a la sostenibilidad urbana?

1.3.1.2 Preguntas específicas

- ¿Cuál es la composición taxonómica (clasificación biológica), la diversidad (variedad de especies) y la estructura dasométrica (atributos cuantitativos como diámetro y altura) actuales del arbolado urbano en los espacios públicos del distrito de Insurgentes?
- ¿Cuál es el estado fitosanitario del arbolado inventariado y qué conflictos principales existen entre el arbolado y la infraestructura urbana?
- ¿Cómo se distribuye espacialmente el arbolado y qué patrones de manejo, o su ausencia, pueden deducirse de esa distribución y de su condición?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Generar un inventario técnico y espacial del arbolado urbano en los parques del Distrito Insurgentes I.2 de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Mediante el uso de



herramientas de campo y de SIG, para diagnosticar su estado actual y establecer las bases de una gestión de infraestructura verde orientada a la sostenibilidad urbana.

1.4.2. Objetivos específicos

- Georreferenciar el arbolado urbano en los parques del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal mediante recorridos de campo, fichas técnicas, aplicaciones especializadas y GPS para crear una base de datos.
- Caracterizar el arbolado urbano en términos taxonómicos (clasificación de especies) y dasométricos (medición de dimensiones), incluyendo la identificación de especies y la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y la cobertura de copa.
- Evaluar el estado actual del arbolado y sus conflictos con la infraestructura urbana mediante observaciones de campo y criterios técnicos, tales como la inspección visual, el análisis de raíces y la evaluación de las afectaciones a las estructuras.
- Integrar la información en una base de datos geoespacial para sistematizarla y servir de insumo para la cartografía temática.

1.5 Justificación

El crecimiento rápido de las ciudades, junto con los riesgos del cambio climático y las variaciones de temperatura, hace necesario aplicar estrategias locales de adaptación para fortalecer la resiliencia urbana (Rohat et al., 2021). En este sentido, los árboles urbanos son esenciales para la infraestructura verde porque ayudan a mitigar los impactos ambientales y a mejorar la calidad de los espacios públicos (Reyes Chan et al., 2024). La Organización Mundial de la Salud WHO (2025) indica que el aumento del calor urbano y la falta de acceso a áreas naturales afectan directamente la vulnerabilidad y la salud de la población. Además, la política climática nacional resalta la importancia de adoptar medidas de mitigación con un enfoque territorial para reducir riesgos y fortalecer las capacidades institucionales IPCC (2022).



La vegetación urbana proporciona servicios como la purificación del aire y la regulación del clima. ONU-Hábitat señala que los árboles urbanos aumentan la biodiversidad y capturan contaminantes. Un árbol maduro puede absorber hasta 150 kg de emisiones dañinas al año y, colocado adecuadamente, reducir la temperatura entre 2 °C y 8 °C. Estos beneficios reducen el uso de aire acondicionado en un 30 % y el de calefacción en un 50 %. Planificar la siembra de árboles ayuda a reducir las islas de calor y a mejorar el confort térmico.

Tener árboles en espacios públicos reduce el estrés y mejora el bienestar de la comunidad. Las áreas verdes accesibles protegen la salud física y mental. La OMS destaca la importancia del entorno en la prevención de enfermedades urbanas. Inventariar los árboles permite conocer su cantidad, valorar el espacio público y fomentar la convivencia, la salud y la equidad.

El diagnóstico forestal local se basa en la normativa de Quintana Roo. La Ley de Conservación regula el manejo del arbolado urbano, vinculándolo al equilibrio ecológico. La reforma de 2022 requiere actualizar los inventarios municipales. Los primeros esfuerzos en Chetumal se dieron en 1996, pero SEMA institucionalizó las prácticas en 2022 con el Programa Estatal de Inventario y Mapeo, lo que evidenció la necesidad de datos municipales sistematizados.

Medir el arbolado permite abandonar las intervenciones improvisadas y avanzar hacia una gestión basada en datos. INIFAP destaca que la gestión técnica es esencial para mantener la función de la infraestructura verde. Un registro actualizado sirve para diagnosticar estados, priorizar el mantenimiento según el riesgo y elegir especies para reforestar. Este enfoque respalda el Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal y la planificación territorial vigente.

Este enfoque metodológico se aplica a diversos sectores. Para instituciones, optimiza recursos, planifica mantenimientos y justifica presupuestos. Socialmente, mejora la seguridad y la calidad ambiental percibida. Académicamente, sirve de base para desarrollar capacidades técnicas y para futuros estudios. La investigación se



alinea con la Agenda 2030 y cumple con la meta 11.7 al garantizar el acceso a espacios públicos seguros. Detectar problemas a tiempo previene riesgos y gastos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Enfoque teórico de la investigación

Para abordar el tema del arbolado urbano, es importante considerar un enfoque integral basado en la ecología urbana, que concibe la ciudad como un sistema socioecológico en el que interactúan elementos naturales y humanos. De esta manera, la infraestructura verde se presenta como un marco teórico clave para entender el papel del arbolado urbano más allá de su función paisajística u ornamental, y lo sitúa como parte fundamental de la planificación del territorio.

A escala global, organismos como ONU-Hábitat (2022) han señalado que la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) es esencial para el desarrollo de ciudades sostenibles y resilientes. Estas soluciones, entre las que destaca el arbolado urbano, permiten enfrentar problemáticas como el cambio climático, la degradación ambiental y la pérdida de calidad de vida en entornos urbanos.

La Organización Mundial de la Salud (2016) reconoce que los espacios verdes urbanos constituyen un componente esencial para la salud y el bienestar de la población, al contribuir a reducir el estrés, mejorar la calidad del aire y regular la temperatura. En este contexto, el arbolado urbano adquiere un papel estratégico no solo desde la perspectiva ambiental, sino también desde las perspectivas sociales y sanitarias.

Sin embargo, pese al consenso en torno a la relevancia de la infraestructura verde, persisten limitaciones en la literatura sobre la integración de enfoques teóricos con análisis técnicos detallados del arbolado urbano, particularmente en las ciudades medianas de América Latina. En este sentido, la presente investigación pretende abordar este vacío al articular un enfoque teórico basado en la ecología urbana con un



análisis cuantitativo y espacial del arbolado, contribuyendo así a la generación de conocimiento aplicado para la gestión sostenible del espacio público en estas ciudades.

2.2 Arbolado urbano como infraestructura verde

En la planificación urbana contemporánea, la infraestructura verde es un mecanismo que permite integrar componentes naturales en la ciudad. La infraestructura verde se define como una red planificada de áreas naturales y seminaturales que generan beneficios ambientales y sociales en el entorno urbano (European Commission, 2013; FAO, 2017; ONU-Hábitat, 2022) que sostiene procesos ecológicos esenciales dentro del territorio urbano (Benedict & McMahon, 2006).

A diferencia de la infraestructura gris, centrada en el soporte funcional de las actividades urbanas, la infraestructura verde adopta un enfoque multifuncional al incorporar procesos ecológicos en la ciudad, lo cual permite regular el clima urbano, mejorar la infiltración de agua, conservar la biodiversidad y optimizar la calidad del aire, entre otros beneficios (IPCC, 2022; FAO, 2020). Estos beneficios se comprenden a partir del concepto de servicios ecosistémicos, que incluyen funciones de regulación climática, captura de carbono y mejora de la calidad del aire (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; IPCC, 2022).

Por ello, la infraestructura verde se convierte en la estrategia esencial para afrontar los retos ambientales urbanos, especialmente los vinculados al cambio climático y a la degradación urbana. Su implementación reduce los impactos ambientales y eleva la calidad de vida al crear espacios más saludables, accesibles y funcionales (López et al., 2019). Con este enfoque, los elementos de la infraestructura verde, como parques, áreas verdes y árboles urbanos, son componentes interrelacionados que operan a distintas escalas. A continuación, se explora el papel del arbolado urbano en el ámbito de la infraestructura verde, destacando su importancia y sus funciones.



La relevancia de la infraestructura verde se intensifica en el contexto actual de cambio climático, particularmente en regiones como América Latina y el Caribe, donde se ha identificado una tendencia sostenida de incremento de temperatura y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos. Ante este escenario, organismos internacionales como ONU-Hábitat (2022) han destacado la necesidad de incorporar soluciones basadas en la naturaleza como parte central de las estrategias de sostenibilidad urbana.

En este marco, el arbolado urbano se posiciona como uno de los elementos más relevantes de esta red, al concentrar funciones ecológicas, sociales y urbanas que inciden directamente en la sostenibilidad del entorno construido. Así, los parques urbanos se presentan como espacios ideales para analizar el arbolado urbano, ya que permiten evaluar de manera más completa su función ambiental y social en la ciudad. (Martínez-Valdés et al., 2020)

2.3. Servicios ecosistémicos del arbolado urbano

El concepto de servicios ecosistémicos es clave para entender por qué los árboles urbanos son importantes para la sostenibilidad de las ciudades. Según el Millennium Ecosystem Assessment (2005), los servicios ecosistémicos son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, como la regulación ambiental, la provisión de recursos, el soporte ecológico y los servicios culturales. Esta clasificación ayuda a ver el arbolado urbano como una parte activa del sistema urbano, capaz de aportar beneficios tanto concretos como intangibles a la población.

En las ciudades, varios estudios muestran que los espacios verdes, especialmente los árboles, son fundamentales para la provisión de servicios ecosistémicos. Tzoulas et al. (2007) indican que estos espacios ayudan mucho a la salud y el bienestar de las personas, ya que reducen el estrés, mejoran la calidad del aire y hacen los entornos más agradables para vivir. Así, los árboles urbanos no solo tienen un papel ambiental, sino también social, porque influyen directamente en la calidad de vida de la gente.



Nowak y Dwyer (2007) señalan que los árboles urbanos ofrecen servicios ecosistémicos medibles, como la captura de dióxido de carbono, la regulación de la temperatura mediante la sombra y la mejora de la calidad del aire al retener contaminantes. Estos servicios son especialmente importantes en ciudades con climas cálidos, como Chetumal, donde los árboles ayudan a reducir el efecto de isla de calor y a mejorar el clima en los espacios públicos.

Asimismo, la literatura indica que los servicios ecosistémicos de los árboles urbanos no solo son ambientales, sino que también incluyen beneficios sociales y económicos. La infraestructura verde en las ciudades ofrece servicios que mejoran la salud, el bienestar y la capacidad de adaptación al cambio climático, además de ayudar a regular el agua y a reducir los riesgos de eventos extremos. En el contexto de América Latina y el Caribe, los servicios ecosistémicos del arbolado urbano adquieren una relevancia estratégica. En este sentido, el arbolado se posiciona como una solución basada en la naturaleza que contribuye tanto a la mitigación como a la adaptación frente a estos procesos, reforzando su papel dentro de la planificación urbana sostenible

2.4. Servicios ecosistémicos del arbolado urbano

El arbolado urbano es un sistema ecológico que forma parte del entorno de la ciudad. Su estructura, composición y estado afectan directamente el ambiente urbano. Por eso, los árboles no son elementos aislados, sino partes que dependen unas de otras y participan en procesos importantes como la regulación del clima, la captura de carbono y la mejora de la calidad ambiental.

Camacho Sandoval et al. (2024) explican que la vegetación urbana es clave para regular el clima de la ciudad. Cuando se pierde, disminuyen los servicios de regulación climática y aumentan las temperaturas. Esto muestra que la presencia y la distribución de los árboles urbanos afectan directamente las condiciones climáticas locales, especialmente en lugares cálidos como Chetumal.



Nowak et al. (2013) señalan que los árboles urbanos contribuyen significativamente a la captura y almacenamiento de carbono, por lo que son importantes para mitigar el cambio climático. Así, los árboles en la ciudad no solo tienen un valor estético o recreativo, sino que también son parte activa de la regulación ambiental.

Para analizar el arbolado urbano como un sistema, es necesario emplear herramientas técnicas que permitan evaluar su estructura y funcionamiento. El manual de i-Tree (USDA Forest Service, 2017) indica que pueden utilizarse variables estructurales y funcionales para medir los servicios ambientales que proporcionan los árboles. Este método es especialmente útil en investigaciones que emplean inventarios técnicos del arbolado urbano.

A pesar de sus beneficios, el arbolado urbano también enfrenta problemas por su relación con la infraestructura de la ciudad. Fernández y Vargas (2011) explican que los conflictos entre árboles y elementos urbanos, como banquetas, redes eléctricas y edificios, se deben sobre todo a la falta de planificación, especialmente en la elección de especies y en la asignación de espacio suficiente. Esto coincide con otros estudios que muestran que la falta de criterios técnicos en el diseño urbano genera tensiones entre la infraestructura verde y la gris.

La Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI, 2005) destaca que el diseño de áreas verdes y la correcta selección de especies vegetales influyen directamente en la calidad ambiental y el bienestar de las personas, ya que ayudan a crear espacios cómodos y funcionales. Por eso, planificar el arbolado urbano es clave en el diseño de la ciudad, porque mejora tanto el ambiente como la habitabilidad de los espacios públicos.

En resumen, estos enfoques muestran que el arbolado urbano debe verse como un sistema complejo que incluye aspectos ecológicos, técnicos y urbanos. Gestionarlo bien es esencial para aprovechar sus beneficios y reducir los problemas que surgen al interactuar con la infraestructura de la ciudad.



2.5 Inventarios de arbolado urbano

El inventario de árboles urbanos es una herramienta técnica esencial para gestionar la infraestructura verde, ya que permite conocer de manera sistemática las características, el estado y la distribución de los árboles en la ciudad. Organismos internacionales como la FAO (2020) y autores como Nowak et al. (2018) coinciden en que el inventario ofrece información clave para tomar decisiones sobre la planeación, el mantenimiento y la conservación del arbolado urbano, ya que se basa en un proceso técnico y científico que convierte la gestión en un ejercicio respaldado por evidencia.

Un inventario de árboles urbanos implica recopilar datos en campo y registrar las características físicas, biológicas y espaciales de cada árbol. Esta información ayuda a evaluar su estado, detectar problemas de manejo y analizar cómo interactúan con el entorno urbano, lo que es clave para entender su papel en la ciudad. Según Hernández Tovar et al. (2021), en lugares como parques urbanos, es común hacer censos totales para registrar todos los árboles y obtener diagnósticos precisos sobre su composición y estado.

En este contexto, el inventario no solo describe las características de los árboles, sino que también permite evaluar su función dentro de la infraestructura verde. Según Tovar et al. (2022), los datos obtenidos ayudan a identificar áreas con poca cobertura vegetal, medir los beneficios ambientales y detectar conflictos con la infraestructura urbana, lo que mejora la gestión y la hace más eficiente.

Para un análisis más detallado, el inventario de árboles urbanos se basa en recopilar variables específicas que permiten conocer su estructura, estado y relación con el entorno. Estas variables, que suelen clasificarse como dasométricas, fitosanitarias y espaciales, son la base para evaluar el papel de los árboles en el sistema urbano (FAO, 2020; Nowak et al., 2018).

Entre las variables dasométricas, el diámetro a la altura del pecho (DAP) es uno de los indicadores más usados porque permite estimar el tamaño del árbol, su área



basal y su capacidad para capturar carbono. Según la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2012), este parámetro, medido a 1,30 metros del suelo, es clave para analizar la estructura del arbolado. Además, variables como la altura total y el diámetro de la copa ayudan a evaluar el desarrollo del árbol y su relación con el entorno urbano, especialmente en cuanto a la provisión de sombra y la regulación térmica, aspectos reconocidos en estudios sobre cambio climático (IPCC, 2022).

Las variables fitosanitarias sirven para evaluar la salud de los árboles urbanos. Matheny y Clark (1994) proponen métodos de evaluación visual que permiten clasificar los árboles según su estado (bueno, regular o malo) e identificar signos de deterioro, enfermedades o daños estructurales. Este tipo de evaluación es clave para decidir sobre el mantenimiento, la poda o la sustitución de árboles, y también para prevenir riesgos en espacios públicos.

Sobre la relación entre los árboles y el entorno urbano, la literatura destaca la importancia de incluir variables que ayuden a identificar conflictos con la infraestructura. Según la FAO (2020), estos conflictos pueden manifestarse como daños a banquetas causados por raíces, interferencias con redes de servicios o riesgos estructurales, lo que evidencia la necesidad de emplear criterios técnicos en la planeación del arbolado urbano. Fernández y Vargas (2011) también señalan que estos problemas suelen deberse a una mala planificación y selección de especies.

El uso de herramientas geoespaciales es clave para analizar el arbolado urbano. La georreferenciación con dispositivos GPS permite asignar coordenadas a cada árbol y crear una base de datos espacial confiable (FAO, 2020). Luego, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ayudan a organizar, analizar y visualizar esta información, lo que facilita la creación de mapas temáticos y el análisis de la distribución de los árboles. Aguilera Benavente et al. (2018) señalan que el uso de SIG permite integrar aspectos como la conectividad ecológica, el valor ambiental y la accesibilidad, lo que fortalece la planificación territorial basada en infraestructura verde.

El uso de herramientas como Google Earth y ortofotografías complementa el trabajo de campo, ya que facilita delimitar el área de estudio y verificar visualmente la



cobertura vegetal. Así, al integrar los datos de campo con herramientas geoespaciales, se pueden crear bases de datos sólidas que mejoran el análisis del arbolado urbano y su inclusión en estrategias de planificación sostenible.

2.6 Conflictos entre arbolado urbano e infraestructura

El arbolado urbano, además de proporcionar múltiples beneficios ambientales y sociales, genera una serie de conflictos derivados de su interacción con la infraestructura urbana, particularmente cuando no existe una planificación adecuada en su establecimiento y manejo. Estos conflictos se manifiestan principalmente en la relación entre el crecimiento natural de los árboles y los elementos construidos de la ciudad, como banquetas, redes eléctricas, edificaciones y sistemas de drenaje.

En este sentido, diversos organismos internacionales han señalado que los conflictos entre el arbolado urbano y la infraestructura no son inherentes a los árboles, sino resultado de una planificación urbana inadecuada, especialmente en la selección de especies y en la falta de previsión del espacio requerido para su desarrollo (FAO, 2020). Este enfoque permite entender que los problemas asociados al arbolado urbano se deben principalmente a decisiones de diseño y de gestión del espacio público.

Desde una perspectiva técnica, estos conflictos pueden clasificarse en función de su origen. Por un lado, se encuentran aquellos relacionados con el sistema radicular, donde el crecimiento de las raíces provoca levantamientos y fracturas en banquetas y pavimentos. Por otro lado, existen conflictos asociados a la parte aérea del árbol, como la interferencia con redes eléctricas o la obstrucción del espacio urbano. En ambos casos, la falta de previsión en el diseño urbano genera tensiones entre la infraestructura verde y la infraestructura gris (FAO, 2020).

La relevancia de estos conflictos también ha sido reconocida en el ámbito normativo. En el contexto del estado de Quintana Roo, la Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo establece que los árboles pueden considerarse factores de riesgo cuando interfieren con la infraestructura urbana o representan un peligro para personas y



bienes (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2022). En particular, se identifican situaciones de riesgo cuando las ramas entran en contacto con líneas de conducción aérea o cuando el estado estructural del árbol compromete su estabilidad .

Asimismo, dicha ley reconoce explícitamente que uno de los motivos del derribo de árboles urbanos es la afectación severa a la infraestructura urbana, tanto aérea como subterránea (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2022), lo que evidencia que la relación entre el arbolado y el entorno construido es un aspecto crítico en la gestión urbana .

No obstante, es importante señalar que estos conflictos no deben interpretarse únicamente como problemáticas, sino como indicadores de una integración inadecuada entre el diseño urbano y los sistemas naturales. En este sentido, la FAO (2020) enfatiza que la gestión del arbolado urbano debe basarse en criterios técnicos que permitan anticipar su desarrollo y evitar interferencias con la infraestructura existente.

En este contexto, la planeación del arbolado urbano debe considerar aspectos como el espaciamiento adecuado, la selección de especies compatibles con el entorno urbano y la previsión de su crecimiento a largo plazo. De acuerdo con la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI, 2005), el diseño de áreas verdes debe integrar criterios funcionales que eviten conflictos futuros, garantizando tanto el desarrollo del arbolado como la funcionalidad del espacio urbano.

Además, la normativa estatal establece la necesidad de considerar el espaciamiento entre árboles y su relación con la infraestructura como parte de los criterios técnicos en los inventarios urbanos, incluyendo variables como distancia a elementos urbanos y condiciones de riesgo (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2022) . Este enfoque refuerza la importancia de los inventarios como herramientas no solo descriptivas, sino también preventivas en la gestión del arbolado urbano.

Finalmente, el reconocimiento de estos conflictos permite avanzar hacia una visión más integral de la infraestructura verde, en la cual el arbolado urbano es



gestionado no solo en función de sus beneficios, sino también considerando sus interacciones con el entorno construido. En este sentido, el análisis de los conflictos entre el arbolado y la infraestructura urbana resulta fundamental para desarrollar estrategias de planificación que maximicen sus beneficios y reduzcan los riesgos asociados a su presencia en la ciudad.

2.7 Marco normativo de arbolado urbano

En México, la regulación del arbolado urbano se basa en diversas normas que operan en distintos niveles de gobierno y establecen criterios para su conservación, manejo e integración en las ciudades. Estas normas no solo fijan responsabilidades para las instituciones, sino que también guían la planeación urbana para incluir la infraestructura verde como parte esencial del espacio público.

En el ámbito municipal, el Reglamento de Desarrollo Urbano y Construcción del Municipio de Othón P. Blanco indica que toda acción urbanística debe seguir los instrumentos de planeación territorial y las reglas sobre uso de suelo, espacio público e infraestructura urbana (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2020). Este reglamento destaca la importancia de aplicar criterios técnicos para regular las intervenciones en el territorio, incluyendo la consideración de elementos naturales, como el arbolado urbano, en el diseño y la ejecución de proyectos.

El Reglamento de Parques, Fuentes, Jardines y Áreas Verdes del Municipio de Othón P. Blanco establece reglas específicas para el manejo del arbolado en espacios públicos y señala que su mantenimiento, conservación y restauración son responsabilidad de la autoridad municipal (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2005). También reconoce que se puede justificar la tala o poda de árboles si representan un riesgo o si sus raíces o ramas afectan la infraestructura urbana, mostrando la relación directa entre el arbolado y la infraestructura.

En el ámbito estatal, la Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo define los lineamientos para proteger, manejar y evaluar el arbolado urbano, reconociendo su valor ambiental y su función en el espacio público (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2022). Esta ley establece criterios técnicos para identificar riesgos, evaluar el estado de los árboles



y regular las intervenciones, lo que resalta la importancia de contar con inventarios urbanos para tomar decisiones informadas.

A nivel federal, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021 sobre espacios públicos en asentamientos humanos es un instrumento clave para regular el espacio público en México. Esta norma define criterios para planear, diseñar e implementar espacios públicos siguiendo principios de accesibilidad, seguridad, inclusión y sostenibilidad (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU], 2021). Además, busca unificar la terminología, la clasificación y la evaluación de los espacios públicos en todos los niveles de gobierno.

En esta norma, el arbolado urbano es fundamental, pues forma parte de las áreas verdes urbanas, definidas como superficies con vegetación natural o inducida que brindan servicios ambientales (SEDATU, 2021). Así, los parques, que son el foco de este estudio, se consideran espacios creados para la convivencia social, integran vegetación y ayudan en procesos ambientales como la infiltración de agua de lluvia y la regulación del clima.

La NOM-001-SEDATU-2021 también indica que los espacios públicos deben planificarse como sistemas integrados que respondan a funciones específicas, a diferentes escalas de servicio y a condiciones de accesibilidad. Esto implica considerar la distribución, la calidad y la funcionalidad de elementos como el arbolado urbano en el diseño de la ciudad. Así, la norma considera el espacio público como un elemento estratégico para el desarrollo urbano sostenible, ya que contribuye al bienestar social, la cohesión territorial y la reducción de impactos ambientales.

El Manual de Calles: Diseño vial para ciudades mexicanas (SEDATU, 2019) complementa este enfoque al establecer criterios técnicos para integrar infraestructura verde en el diseño del espacio público. Señala que las calles deben verse como espacios multifuncionales que priorizan a las personas y promueven la sostenibilidad urbana. El documento destaca la importancia de incluir vegetación urbana en el diseño vial, integrando arbolado, mobiliario y sistemas de drenaje en una visión completa del espacio urbano.

En resumen, el marco normativo muestra que la gestión del arbolado urbano en Othón P. Blanco está respaldada por normas de diferentes niveles de gobierno, que coinciden



en la importancia de integrar el arbolado en la planeación urbana con criterios técnicos y de sostenibilidad. Sin embargo, la efectividad de estas normas depende de su correcta aplicación y de contar con información técnica suficiente para tomar decisiones, lo que resalta la importancia de los inventarios urbanos como herramientas clave para gestionar la infraestructura verde.

2.8 Antecedentes de la investigación

En las últimas décadas, los estudios sobre el arbolado urbano han evolucionado desde enfoques descriptivos hacia perspectivas integrales que incorporan variables ecológicas, espaciales y sociales, con el propósito de comprender su papel dentro de la dinámica urbana. A nivel internacional, diversas investigaciones han desarrollado metodologías para evaluar la estructura y los beneficios del arbolado urbano mediante herramientas como *i-Tree*, las cuales permiten cuantificar servicios ecosistémicos como la captura de carbono, la regulación térmica y la eliminación de contaminantes atmosféricos (Nowak et al., 2018). Este tipo de enfoques ha contribuido a consolidar el análisis del arbolado urbano como un componente medible y funcional dentro de la infraestructura verde.

En el contexto latinoamericano, la investigación ha enfatizado el papel del arbolado urbano como parte fundamental de la infraestructura verde, destacando su contribución al bienestar social y ambiental en las ciudades. En este sentido, autores como Leal Elizondo et al. (2018) han promovido el uso de inventarios como herramientas clave para la gestión del arbolado, al permitir la generación de información sistematizada sobre su distribución, composición y estado. No obstante, estos estudios suelen centrarse en diagnósticos generales, con menor énfasis en el análisis detallado de unidades específicas del espacio público, lo que limita su aplicabilidad en contextos urbanos particulares.

En México, los estudios sobre arbolado urbano han incorporado principalmente la caracterización dasométrica, la evaluación del estado fitosanitario y su relación con el entorno urbano. Instituciones como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2012) han establecido lineamientos técnicos para la elaboración de inventarios, promoviendo la medición de variables estructurales y el uso de



herramientas geoespaciales como base para su análisis. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos se han desarrollado en ciudades de mayor escala o en estudios sectoriales, lo que restringe su aplicación en ciudades intermedias y en unidades territoriales específicas.

A pesar de estos avances, la literatura científica presenta limitaciones importantes. Por un lado, los estudios a escala metropolitana suelen emplear modelos complejos que requieren altos niveles de especialización técnica y recursos económicos, lo que dificulta su implementación en contextos locales con capacidades institucionales limitadas (FAO, 2020; Morales Manilla et al., 2018). Por otro lado, los estudios a escala local tienden a abordar el arbolado urbano desde enfoques parciales, centrados principalmente en aspectos botánicos o ecológicos, sin integrar de manera sistemática variables espaciales ni su relación con la infraestructura urbana. Como señalan Nowak et al. (2018), esta fragmentación limita la comprensión del arbolado como un sistema funcional dentro de la infraestructura verde, reduciendo su utilidad para la planeación urbana.

En el caso de ciudades intermedias con climas cálidos, como Chetumal, la evidencia científica disponible es aún más limitada. En particular, existe una carencia de estudios que integren de manera simultánea variables dasométricas, fitosanitarias, espaciales y de interacción con la infraestructura urbana, lo que impide generar diagnósticos integrales sobre el estado del arbolado urbano. Asimismo, se observa una escasez de investigaciones que utilicen unidades de análisis claramente delimitadas dentro del espacio urbano, como distritos o parques, lo cual restringe la comprensión del comportamiento del arbolado en espacios públicos específicos y dificulta la generación de información útil para la toma de decisiones a escala local.

Como consecuencia de lo anterior, la gestión del arbolado urbano en muchas ciudades se basa en criterios empíricos y no en diagnósticos técnicos sistematizados, lo que limita la efectividad de las acciones de planeación y manejo. En este sentido, la generación de inventarios georreferenciados se posiciona como una herramienta clave para reducir esta brecha de información, al permitir la construcción de bases de datos confiables que orienten la planeación urbana y fortalezcan la gestión de la infraestructura verde.



En este contexto, la presente investigación se inserta dentro de estos vacíos al proponer un análisis técnico y geoespacial del arbolado urbano en los parques del Distrito I.2 Insurgentes de la ciudad de Chetumal. A diferencia de otros estudios, este trabajo integra variables dasométricas, fitosanitarias, espaciales y de interacción con la infraestructura urbana en una unidad territorial específica, lo que permite generar un diagnóstico integral del sistema arbóreo y aportar información relevante para la toma de decisiones en la gestión del espacio público y la infraestructura verde a escala local.

2.9 Consideraciones finales del marco teórico

En resumen, la revisión teórica y normativa muestra que el arbolado urbano es un componente estratégico de la infraestructura verde. Su importancia va más allá de lo estético, ya que es clave para la regulación ambiental, el bienestar social y la sostenibilidad de las ciudades. Desde la ecología urbana, los árboles forman parte de un sistema socioecológico complejo, donde su estructura, estado y distribución afectan directamente el entorno urbano y la calidad de vida de las personas.

El análisis de los servicios ecosistémicos muestra que el arbolado urbano es esencial para mitigar el cambio climático, regular la temperatura y mejorar la calidad ambiental. Esto es especialmente importante en ciudades cálidas como Chetumal. Sin embargo, estos beneficios no ocurren por sí solos, sino que dependen de las condiciones del arbolado, su salud, su composición y su adecuada integración en la ciudad.

Por eso, los inventarios de arbolado urbano son herramientas clave para analizar técnicamente el sistema arbóreo, ya que permiten recopilar información sobre variables taxonómicas, dasométricas, fitosanitarias y espaciales. Como señalan la FAO (2020) y Nowak et al. (2018), estos instrumentos no solo ayudan a caracterizar el arbolado, sino que también permiten identificar problemas, evaluar riesgos y apoyar la toma de decisiones en la gestión urbana.

Además, el análisis de los conflictos entre el arbolado y la infraestructura urbana muestra que muchos problemas en el espacio público se deben a fallas en la



planificación urbana, especialmente en la selección de especies y la previsión de su crecimiento. En este contexto, la normativa vigente, tanto municipal como federal, establece criterios claros para proteger, gestionar e integrar el arbolado urbano. También resalta la importancia de incorporarlo adecuadamente en el diseño del espacio público, como lo indica la NOM-001-SEDATU-2021 (SEDATU, 2021).

Sin embargo, aunque existen estos instrumentos normativos, todavía hay vacíos en su aplicación práctica, sobre todo en la disponibilidad de información técnica detallada a nivel local. Por eso, es necesario generar diagnósticos integrales que permitan evaluar el estado actual del arbolado urbano y su relación con la infraestructura existente, especialmente en ciudades medianas del sur del país, donde aún hay pocos estudios de este tipo.

Por todo lo anterior, esta investigación se justifica al proponer un análisis técnico y espacial del arbolado urbano en los parques del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal. Se integran herramientas de campo y sistemas de información geográfica para lograr un diagnóstico integral. Este enfoque permite caracterizar el arbolado urbano, identificar sus principales problemas y su relación con la infraestructura urbana, y así generar información útil para gestionar la infraestructura verde a nivel local.

En este contexto, el siguiente apartado presenta los resultados del inventario realizado. Estos resultados muestran las condiciones actuales del arbolado urbano en el área de estudio, así como las principales tendencias en su composición, estado y relación con el entorno urbano.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque y nivel de la investigación

El presente estudio se enmarca en un nivel de investigación descriptivo, sustentado en un enfoque de carácter aplicado. Desde la perspectiva metodológica, se clasifica como descriptivo puesto que su objetivo central radica en detallar las



propiedades, características estructurales y perfiles taxonómicos de los individuos arbóreos localizados en los parques del Distrito I.2 Insurgentes, en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. En este sentido, la recolección de los datos empíricos se lleva a cabo mediante la observación y medición de las variables independientes en su entorno natural, garantizando el rigor analítico sin incurrir en la manipulación deliberada de las mismas (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Complementario a eso, la investigación adopta una tipología aplicada, debido a que el conocimiento científico y técnico generado se orienta directamente a la resolución de problemáticas territoriales tangibles. Específicamente, el diagnóstico obtenido busca subsanar la ausencia de una línea base dasonómica en el área de estudio. Asimismo, esta aproximación proporciona los insumos técnicos necesarios para dar estricto cumplimiento a los mandatos institucionales vigentes, en particular a las disposiciones dictadas en la Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo (Poder Legislativo del Estado de Quintana Roo, 2022).

El abordaje metodológico implementado en la presente investigación se fundamenta en un diseño no experimental de corte transversal. Desde una perspectiva científica, esta tipología metodológica establece que los componentes del entorno urbano fueron sometidos a observación y medición directa en su contexto natural, prescindiendo de cualquier manipulación deliberada sobre las variables de estudio. De igual forma, el trabajo adquiere una condición transversal, ya que la recolección de los datos empíricos se efectuó en un único lapso temporal. Bajo esta premisa, dicho enfoque permitió obtener una radiografía fidedigna del estado actual del paisaje, garantizando la objetividad en el registro de la información (Hernández-Sampieri et al., 2014).

3.2. Diseño de investigación.

Para la operatividad del levantamiento de información en campo, la aproximación se estructuró mediante un esquema escalonado conformado por dos



niveles de intervención analítica y espacial. Respecto a la fase inicial, centrada en la determinación de las unidades de análisis —representadas por los parques urbanos—, se ejecutó un muestreo no probabilístico de tipo intencional. La delimitación de estos sitios estuvo regida por el estricto cumplimiento de criterios normativos, espaciales y de funcionalidad. Por consiguiente, la metodología priorizó invariablemente la incorporación de aquellos espacios que operan como nodos estratégicos dentro del tejido urbano del distrito, asegurando así la pertinencia territorial del estudio.

En una segunda fase, la evaluación dasonómica se consolidó a través de la ejecución de un censo forestal total, el cual quedó circunscrito exclusivamente a las áreas previamente seleccionadas. La aplicación de este barrido sistemático garantizó la recopilación de información pormenorizada y exhaustiva en relación con las dimensiones estructurales del dosel arbóreo y la condición fitosanitaria inherente a cada ejemplar censado. Cabe precisar que la documentación detallada de estos elementos, sumada al análisis de su grado de interacción o conflicto físico con la infraestructura pública instalada, resulta indispensable para dotar a la investigación de una base diagnóstica técnica y rigurosa.

3.3. Unidad de análisis y delimitación del estudio

La unidad de análisis de la investigación está conformada por los parques urbanos ubicados en el Distrito I.2 Insurgentes de la ciudad de Chetumal. Estos espacios fueron seleccionados debido a su función como áreas públicas que concentran vegetación urbana y permiten evaluar la relación entre el arbolado, el uso del espacio y las condiciones ambientales.

El área de estudio corresponde al Distrito I.2 Insurgentes, ubicado en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, el cual colinda al sur con el Distrito D.I.1 Centro Urbano. Este sector se caracteriza por concentrar actividades comerciales relevantes, así como zonas habitacionales y usos mixtos, lo que lo posiciona como un espacio estratégico dentro de la estructura urbana de la ciudad.

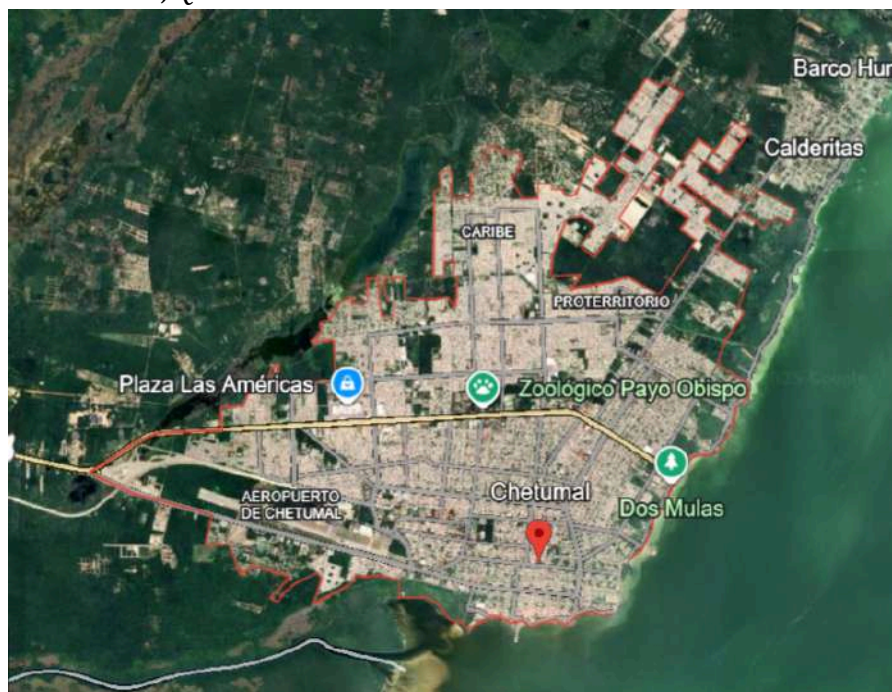


De acuerdo con el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chetumal (SEDETUS, 2021), el uso de suelo predominante se clasifica como Habitacional Mixto, el cual se complementa con Corredores Comerciales Urbanos, Comercio Distrital y equipamiento diverso. Los límites generales del área se definen de la siguiente manera:

- **Norte:** Avenida Maxuxac y su prolongación hasta la Calzada del Centenario, continuando por la calle Pucté en el tramo comprendido entre la Calzada del Centenario y la Avenida Universidad.
- **Este:** Avenida Universidad.
- **Sur:** Avenidas Juan de Dios Peza, Primo de Verdad y San Salvador.
- **Oeste:** Calle 10 Carmen Cardín Romero, Calle Colibrí, Calle Progreso y Calle De Ocotal.

Figura 1.

Delimitación: Chetumal, Quintana Roo



Nota: Se muestra el área de referencia de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Tomada de Google Earth (2026)



Figura 2

Área de influencia: Distrito I.2 Insurgentes



Nota: Se observa el área delimitada del Distrito Insurgentes I.2. de Chetumal, Quintana Roo. Tomada del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chetumal (SEDETUS,2021)

3.4. Población, muestra y tipo de muestreo

Ante la inexistencia de un inventario oficial, actualizado y sistematizado de los espacios públicos en el Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo que facilite la identificación precisa de los parques existentes y sus características funcionales, la presente investigación adoptó un muestreo no probabilístico de tipo intencional. La selección de los sitios se basó en el cumplimiento de parámetros normativos y funcionales dictaminados por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos, destacando aspectos como por su función, por su administración y escala de servicio.

El estudio se fundamentó en un diseño de investigación no experimental y de corte transversal. Esta elección metodológica obedece a que las variables de interés no fueron objeto de manipulación, y la recopilación empírica de datos se circunscribió a un único levantamiento en el tiempo. Para abordar el objeto de estudio con el rigor analítico requerido, la investigación considera dos niveles de análisis:



- Población de estudio (nivel espacial): Quedó integrada por el universo de parques y espacios públicos pertenecientes al Distrito I.2 Insurgentes, localizados en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.
- Muestra (nivel espacial): Se definió a través del referido muestreo intencional, seleccionando exclusivamente aquellos parques que evidenciaron su alineación con la concepción de espacio público de la normativa federal, cumpliendo con los requerimientos de tamaño, área de influencia y diversidad de actividades.
- Unidad de análisis (nivel individual): Estuvo representada por cada individuo arbóreo radicado dentro de los polígonos de los parques muestreados.
- Tipo de muestreo del arbolado (nivel individual) : Para la evaluación de la masa vegetal se ejecutó un censo total, lo que implicó el registro exhaustivo del cien por ciento de los ejemplares ubicados dentro de los límites perimetrales de cada sitio seleccionado.

Por la escala y naturaleza del proyecto, se optó por un censo total del arbolado en los parques urbanos del distrito para garantizar una recolección de datos exhaustiva y representativa de la infraestructura verde local. Para efectos de organización técnica y optimización del levantamiento de campo, el área de estudio se dividió sistemáticamente en siete polígonos, delimitados por las vialidades principales y secundarias que configuran la morfología urbana del sector:

1. **Polígono 1:** Delimitado por la Calle Gerona, Avenida Juan de Dios Peza, Calle Manuel Acuña, Avenida Insurgentes, Calle Aarón Merino y Avenida Erick Paolo Martínez.
2. **Polígono 2:** Comprendido entre la Calle Manuel Acuña, Calle Aarón Merino, Avenida Erick Paolo Martínez, Calle Colibrí, Calle Progreso y Avenida Javier Rojo Gómez.
3. **Polígono 3:** Circunscrito por la Avenida Javier Rojo Gómez, Avenida San Salvador, Avenida Nápoles, Avenida del Magisterio y Avenida Maxuxac.
4. **Polígono 4:** Ubicado entre la Avenida Nápoles, Avenida Insurgentes, Avenida Juárez y Avenida San Salvador.

- 37



3.5 Variables y operacionalización

Para crear el inventario de árboles urbanos, se eligieron variables que describen las condiciones estructurales, de salud y funcionales de los árboles en los parques del Distrito I.2 Insurgentes, en Chetumal, Quintana Roo.

Estas variables se eligieron siguiendo criterios técnicos usados en inventarios de árboles urbanos, combinando aspectos de dasonomía, arboricultura urbana y gestión de riesgos. El objetivo fue obtener información útil para describir los árboles y apoyar su manejo y planificación dentro de la infraestructura verde.

Las variables se agruparon en tres áreas principales: la descripción física de los árboles, la evaluación de su salud y nivel de riesgo, y su relación con la infraestructura urbana. Esta organización ayudó a recopilar la información de manera clara y facilitó su análisis posterior.

La definición de las variables se basó en la normativa vigente en Quintana Roo y en métodos académicos empleados en estudios similares. Esto ayudó a mantener la coherencia al obtener y al procesar los datos.

3.5.1 Variables de georeferenciación

Las variables de georreferenciación ayudan a ubicar cada árbol registrado, lo que es clave para analizarlos en un sistema de información geográfica. Como se muestra en la Tabla 1, estas variables incluyen identificadores únicos, ubicación por parque y polígono, y coordenadas geográficas precisas. El registro espacial de los árboles sigue la Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo (Periódico Oficial del Estado, 2022), que exige información georreferenciada para su gestión.

Para obtener estos datos, se usaron equipos GPS, sistemas de información geográfica (SIG) y aplicaciones móviles. Esto permitió crear una base de datos espacial



organizada y útil para el análisis territorial (Hernández Tovar et al., 2022; Morales Manilla et al., 2018).

Tabla 1

Variables de georreferenciación

Variable	Definición operativa	Tipo de dato	Unidad / Categoría	Método de medición	Instrumento	Relación normativa	Uso en análisis
ID_Arbol	Identificador único del individuo	Texto	Código	Asignación en campo	Formato / app	Control de inventario	Base de datos
ID_Parque	Identificador del parque	Texto	Código	Asignación	SIG	Organización territorial	Análisis espacial
Polígono	Zona operativa de levantamiento	Texto	1-7	Clasificación espacial	SIG	Planeación urbana	Mapas Temáticos
AGEB	Área geoestadística básica de ubicación	Númerico / Alfanumérico	Código INEGI	Superposición cartográfica	SIG (Capas de INEGI)	Art.60 (Área Geoestadística)	Mapeo SIG
Latitud	Coordenada geográfica	Númerico	Decimal	GPS	GPS / App	Georreferenciación	SIG
Longitud	Coordenada geográfica	Númerico	Decimal	GPS	GPS / App	Georreferenciación	SIG

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.5.2. Variables taxonómicas

Las variables taxonómicas ayudaron a identificar las especies en el área de estudio, usando tanto el nombre científico como el común. También se incluyó información sobre si las especies son nativas o exóticas y su estatus de protección (ver Tabla 2). Para identificar las especies, se usaron catálogos y bases de datos oficiales para asegurar la consistencia en la clasificación. Este registro cumple con la normativa estatal al documentar la diversidad y condición de los árboles en el ecosistema urbano, lo que es importante para su manejo y conservación.



Tabla 2

Variables de Taxonómicas

Variable	Definición operativa	Tipo	Unidad	Método	Instrumento	Norma	Uso
Nombre científico	Identificación botánica	Texto	-	Observación	Guía botánica	Ley estatal (registro)	Diversidad
Nombre común	Nombre local	Texto	-	Observación	Catálogo	-	Interpretación
Origen	Nativa o exótica	Categorico	Nativa/Exótica	Clasificación	Lista flora	Biodiversidad (CONABIO, 2023)	Sustentabilidad
Especie Protegida	Estatus de riesgo o conservación	Categorico	Sí/No/Pr/A/P/E	Revisión documental/ Consultada de bases de datos	Listado oficial de especies en riesgo	NOM-059-SE MARNAT-2010	Manejo, conservación y permiso de intervención

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.5.3. Variables dasométricas

Las variables dasométricas se usaron para describir la estructura física de los árboles, midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y el diámetro de la copa. Estas variables, comunes en estudios forestales, ayudan a estimar el tamaño, desarrollo y capacidad de los árboles para dar sombra o regular la temperatura.

Estas mediciones también siguen los lineamientos del Programa Estatal de Inventario y Mapeo del Arbolado Urbano (SEMA, 2022), que resalta su importancia para evaluar cómo se comportan los árboles en áreas urbanas.

Tabla 3

Variables Dasométricas

Variable	Definición	Tipo	Unidad	Método	Instrumento	Norma	Uso climático
----------	------------	------	--------	--------	-------------	-------	---------------



DAP	Diámetro a 1.30 m	Numérico	cm	Medición directa	Cinta métrica	Estándar forestal	Biomasa
Altura	Altura total	Numérico	m	Estimación trigonométrica	App	Estándar	Estratificación
Fuste	Altura a la primera rama (Fuste limpio)	Numérico	m	Medición ejes	App	-	Permeabilidad al viento
Diámetro de copa	Ancho de copa	Numérico	m	Medición ejes	Cinta métrica	-	Sombra
Área de copa	Superficie proyectada	Calculado	m ²	Fórmula	Excel/SIG	-	Regulación térmica
Forma	Geometría de la copa	Categorico	Clase	Observación visual	Catálogo botánico/Guía visual	-	Patrón de intercepción solar

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.5.4. Variables fitosanitarias

Las variables fitosanitarias, presentadas en la Tabla 4, se centran en evaluar la salud de los árboles, considerando su estado general, su nivel de desarrollo y si presentan plagas o enfermedades.

Esta evaluación se basa en lo establecido en la Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo (Periódico Oficial del Estado, 2022), que señala la necesidad de identificar el estado sanitario de los ejemplares para orientar su manejo. Para ello, se utilizó la observación directa en campo, apoyada en criterios de sanidad forestal propuestos por la CONAFOR (2018), lo que permitió clasificar de manera sistemática la condición del arbolado.

Tabla 4

Tabla de las variables Fitosanitarias



Variable	Definición	Tipo	Categorías	Método	Norma	Uso
Estado general	Condición del árbol	Categórico	Bueno / Regular / Malo	Observación	Ley estatal	Mantenimiento
Vigor	Nivel de desarrollo	Categórico	Juvenil / Maduro / Senil / Muerto	Observación	-	Salud
Plagas/enfermedades	Presencia de daño	Binario	Sí / No	Observación	Ley estatal	Riesgo

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.5.5. Variables de riesgo

Las variables de riesgo permitieron identificar condiciones que representaran peligro para la población o la infraestructura urbana, a partir de aspectos como la inclinación del árbol, la presencia de daños estructurales y la probabilidad de falla (ver Tabla 5).

Este análisis sigue la legislación estatal sobre la identificación de situaciones de riesgo, alto riesgo y emergencia. La evaluación se hizo por observación directa y usando métodos de inspección visual de árboles urbanos, lo que permitió clasificar los árboles según su nivel de riesgo y priorizar intervenciones.

Tabla 5

Variables de Riesgo

Variable	Definición	Tipo	Categorías	Método	Uso
Nivel de riesgo	Probabilidad de falla	Categórico	Sin riesgo / Riesgo / Alto riesgo / Emergencia	VTA	Gestión



Inclinación	Desviación del eje	Categorico	Leve / Moderada / Severa	Observación	Seguridad
Daños estructurales	Cavidades, grietas	Categorico	Sí / No	Observación	Diagnóstico

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.5.6 Variables de conflicto urbano

Por último, las variables de conflicto urbano (ver Tabla 6) permitieron analizar la relación entre los árboles y el entorno construido, identificando posibles interferencias con la infraestructura, como las banquetas, los cables o el mobiliario urbano.

Estas variables se basan en las fracciones VIII y IX de la *Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo* (Periódico Oficial del Estado, 2022) y en la normativa estatal, que destaca la importancia de evaluar el espacio disponible para el crecimiento de los árboles y su interacción con los elementos urbanos. Analizar estas variables permitió identificar problemas como daños en pavimentos o interferencias con servicios urbanos y aportó información útil para planear y manejar el espacio público.

Tabla 6

Variables de conflicto urbano

Variable	Definición	Tipo	Categorías	Método	Uso
Conflicto infraestructura	Interacción con elementos urbanos	Categorico	Conflicto sobre la copa/Laterales a la copa/ Debajo de la copa/ Conflictos en Raíces	Observación	Planeación



Espacio de crecimiento	Área disponible	Categorico	Adecuado / Limitado	Medición	Diseño urbano
------------------------	-----------------	------------	---------------------	----------	---------------

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para llevar a cabo el levantamiento de información en campo, se utilizaron técnicas de medición directa, apoyadas en herramientas físicas y en algunas aplicaciones digitales. Estas permitieron registrar datos sobre la ubicación, las características físicas, el estado y la relación del arbolado con el entorno urbano (ver Figura 4).

Figura 4

Diagrama metodológico del inventario



Nota: Se muestra la metodología usada para el desarrollo del proyecto de Inventario de Arbolado Urbano del Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo 2026.

Elaboración propia, 2026.



3.6.1 Instrumentación para la Georreferenciación y Ubicación Espacial

Para registrar las coordenadas geográficas de cada árbol (latitud y longitud), se emplearon dispositivos GPS de alta sensibilidad, modelos GPSMAP 65s y GPSMAP 60Cx. Durante el levantamiento, estos equipos se colocaron en la base del tronco de cada individuo, lo que permitió georreferenciar todos los árboles identificados en campo y vincularlos posteriormente con una base de datos espacial (Morales Manilla et al., 2018).

Como apoyo adicional, durante la fase de gabinete se utilizó Google Street View para revisar algunos puntos de difícil acceso. Esta herramienta permitió confirmar la ubicación de ciertos individuos y observar su relación con elementos del entorno urbano, como banquetas y vialidades.

3.6.2. Técnicas e instrumentos de medición dasométrica

La caracterización del arbolado se realizó mediante el registro de variables dasométricas básicas. Para obtener el diámetro a la altura del pecho (DAP), se utilizó una cinta métrica marca Trupper, midiendo la circunferencia del tronco a 1.30 metros del suelo. Posteriormente, este valor se dividió entre π para calcular el diámetro. En casos en que el árbol presentaba bifurcaciones por debajo de esa altura o se encontraba en terreno inclinado, se realizaron ajustes en la medición para evitar errores en los resultados (CONAFOR, 2020).

La altura de los árboles se estimó mediante la aplicación *Arbolado Urbano* (versión 1.0.0), desarrollada por la SEMA, que permite obtener medidas a partir de la distancia y el ángulo. Este dato ayudó a identificar posibles conflictos con la infraestructura aérea, como el cableado eléctrico.

Para medir la copa, se utilizó una cinta de 50 metros y se registró el diámetro del follaje en dos direcciones. A partir de estas mediciones se estimó el área de sombra, relevante para comprender el papel del arbolado en la regulación térmica del espacio urbano (ONU-Hábitat, 2019).



3.6.3. Instrumentos para el diagnóstico fitosanitario y de riesgo

El estado del arbolado se evaluó mediante observación directa, utilizando el método VTA (*Visual Tree Assessment*), que consiste en revisar visualmente cada árbol para identificar posibles señales de riesgo, como ramas dañadas, cavidades o inclinaciones del tronco (Matheny & Clark, 1994). La información se registró en una ficha técnica, en la que se clasificaba a cada individuo en cuatro categorías: bueno, regular, malo o muerto.

3.6.4. Riesgo de interferencia urbana

Además, se documentó la relación entre el arbolado y la infraestructura urbana mediante fotografías digitales de cada árbol. Estas imágenes permitieron identificar posibles conflictos con elementos como cables, luminarias o construcciones cercanas. Esta información se organizó en formatos de campo, clasificando el nivel de riesgo en tres categorías: riesgo, alto riesgo y emergencia.

3.7 Procedimiento metodológico

3.7.1 Planeación del trabajo

Antes del trabajo de campo, se realizaron varias actividades de preparación:

- Se delimitaron los polígonos de estudio en Google Earth Pro y se definieron rutas de recorrido para cada parque, con el fin de cubrir toda el área sin omitir individuos.
- Se revisó el funcionamiento de los equipos, configurando los GPS con el sistema de coordenadas WGS84 y la proyección UTM Zona 16N.
- Se diseñaron las fichas de campo, asegurando que incluyeran todas las variables necesarias.
- Se asignaron códigos a cada parque para facilitar la organización de la información.
- Se formaron dos brigadas de trabajo y se les capacitó en el uso del equipo y en la forma de registrar los datos.



3.7.2. Levantamiento de información en campo

El trabajo de campo se realizó siguiendo un recorrido ordenado en cada parque, procurando cubrir toda el área.

Para cada árbol se registró:

- su ubicación mediante GPS
- su especie (apoyándose en observación y herramientas como PictureThis, con validación posterior)
- sus medidas (DAP, altura y copa)
- su estado fitosanitario
- posibles conflictos con la infraestructura
- una fotografía como respaldo visual

3.7.3. Sistematización y Validación de Gabinete

Una vez concluido el trabajo de campo, la información fue organizada y revisada en gabinete. Primero, se integraron los datos en una base en Excel. Posteriormente, se utilizó Python para unificar y limpiar la información, lo que permitió reducir errores y facilitar su manejo. Posteriormente, se revisaron posibles inconsistencias, como valores atípicos o errores en coordenadas. También se verificaron los nombres de las especies, comparándolos con fuentes como SEMA y el Herbario CICY, para asegurar que la información fuera consistente.

3.7.4. Integración en SIG

Finalmente, la base de datos se integró en el software QGIS, generando una capa de puntos con la ubicación del arbolado. Esto permitió visualizar su distribución y analizar su relación con el entorno urbano.



CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

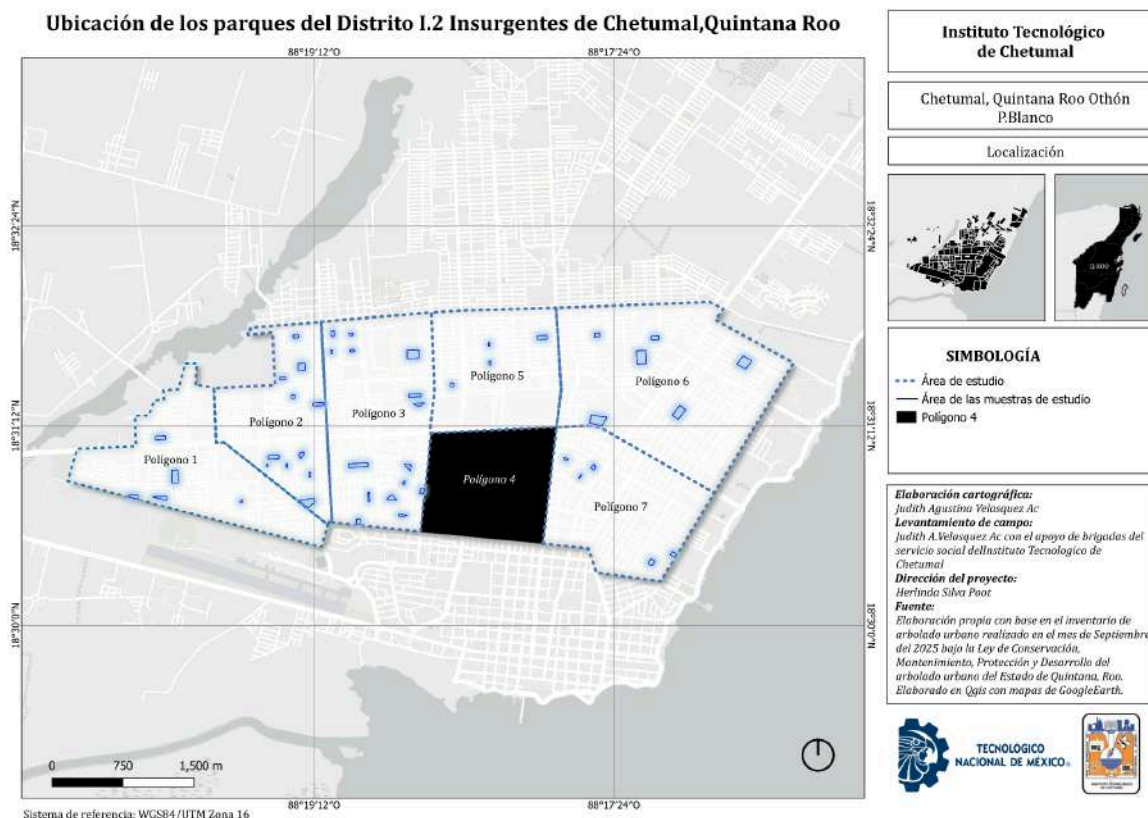
4.1 Caracterización del arbolado urbano en parques seleccionados.

4.1.1 Ubicación de los parques y sus resultados

La Figura 12 muestra la distribución espacial de los 48 parques censados en el Distrito I.2 Insurgentes, con un total de 1,784 individuos arbóreos. A partir de la visita en sitio y la revisión de la cartografía municipal, se corroboró la existencia de parques urbanos acordes con los criterios de selección antes especificados en siete de los ocho polígonos en los que se dividió el distrito por cuestiones operativas (ver figura 5).

Figura 5

Ubicación de los parques en el Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo.



Nota: Se puede observar la ubicación de los parques en el Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia realizada en el programa de Qgis, 2026.

4.1.2 Distribución y abundancia del arbolado

El análisis cuantitativo de la vegetación en los parques estudiados muestra que la composición florística se organiza en tres categorías principales: árboles, arbustos y palmas. El censo forestal permitió conocer cuántos individuos hay en cada parque y cómo se distribuyen, lo que ayudó a identificar patrones específicos en la estructura de la infraestructura verde local.

La Tabla 7 muestra la distribución de las categorías y su abundancia. Las palmas predominan, aunque su distribución varía mucho entre los parques, por ejemplo, en algunos, casi no hay palmas o su presencia es mínima, mientras que en otros pueden representar hasta el 40% de las plantas registradas. Esta diferencia evidencia que los criterios de diseño paisajístico han sido distintos en cada parque a lo largo del tiempo.



Por el contrario, se encontró que hay muy pocos arbustos en la mayoría de los parques. Muchos espacios públicos no cuentan con ningún ejemplar de este tipo. Esta falta de arbustos reduce los microhábitats del suelo. Al comparar la cantidad de vegetación con el tamaño de cada parque, se observó una gran diferencia en la densidad de plantas. Algunos parques pequeños tienen menos de 10 plantas en total, mientras que los más grandes pueden tener más de cien. Esta diferencia evidencia la falta de uniformidad en la cantidad de biomasa vegetal y resalta la importancia de emplear criterios técnicos que relacionen la capacidad del terreno con el número de plantas.

Figura 6

Imagen de la tabla de distribución porcentual de los individuos arbóreos por categoría y parque



Clave del parque	Área (m²)	No. Arb	% Arb	No. arbustos	% Arbustos	No. Palmas	% Palmas	Total	% Total de individuos arbóreos
P1_PLA	4,243.91	13	52.00%	3	12.00%	9	36.00%	25	1.40%
P1_PFOR	9,488.17	42	97.67%	0	0.00%	1	2.33%	43	2.41%
P1_PAC	647	8	88.89%	1	11.11%	0	0.00%	9	0.50%
PA_PFA	3,381.12	64	58.72%	0	0.00%	45	41.28%	109	6.11%
P1_PJM	3,724.65	23	85.19%	0	0.00%	4	14.81%	27	1.51%
P2_PM	9,684.12	22	55.00%	0	0.00%	18	45.00%	40	2.24%
P2_PDP	941.83	6	100.00%	0	0.00%	0	0.00%	6	0.34%
P2_PP	2,449.46	15	83.33%	0	0.00%	3	16.67%	18	1.01%
P2_PCA	555.2	7	41.18%	5	29.41%	5	29.41%	17	0.95%
P2_PI	4,393.84	12	85.71%	0	0.00%	2	14.29%	14	0.78%
P2_PJSR	280.19	11	100.00%	0	0.00%	0	0.00%	11	0.62%
P2_PK5	3,026.57	22	68.75%	5	15.63%	5	15.63%	32	1.79%
P2_PDY	5,792.72	22	53.66%	0	0.00%	19	46.34%	41	2.30%
P2_PRT	1,992.31	20	66.67%	0	0.00%	10	33.33%	30	1.68%
P2_PLP	1,986.71	24	42.86%	8	14.29%	24	42.86%	56	3.14%
P2_PE	1,147.08	30	40.54%	0	0.00%	44	59.46%	74	4.15%
P2_PEC	4,304.23	19	27.54%	0	0.00%	50	72.46%	69	3.87%
P3_PQ	8,979.03	55	100.00%	0	0.00%	0	0.00%	55	3.08%
P3_P4M	1,454.26	4	40.00%	0	0.00%	6	60.00%	10	0.56%
P3_PA	2,256.31	7	70.00%	0	0.00%	3	30.00%	10	0.56%
P3_PC1	1,616.29	14	53.85%	0	0.00%	12	46.15%	26	1.46%
P3_PC2	1,930.94	33	73.33%	0	0.00%	12	26.67%	45	2.52%
P3_PPII	3,403.54	13	76.47%	0	0.00%	4	23.53%	17	0.95%
P3_PB	2,416.52	7	77.78%	0	0.00%	2	22.22%	9	0.50%
P3_PLI	698.42	5	83.33%	0	0.00%	1	16.67%	6	0.34%
P3_PDA	2,792.57	34	58.62%	1	1.72%	23	39.66%	58	3.25%
P3_PM	2,693.63	46	97.87%	0	0.00%	1	2.13%	47	2.63%
P3_PTEC	4,089.31	80	82.47%	0	0.00%	17	17.53%	97	5.44%
P3_PRC	11,460.25	71	64.55%	0	0.00%	39	35.45%	110	6.17%
P3_PCV	1,214.89	6	40.00%	0	0.00%	9	60.00%	15	0.84%
P3_PPO	973.98	8	100.00%	0	0.00%	0	0.00%	8	0.45%
P3_PCP	1,778.38	15	48.39%	0	0.00%	16	51.61%	31	1.74%
P3_PBX	874.91	17	62.96%	0	0.00%	10	37.04%	27	1.51%
P5_PÓTB	4,402.17	19	100.00%	0	0.00%	0	0.00%	19	1.07%
P5_PDA	745.91	8	72.73%	0	0.00%	3	27.27%	11	0.62%
P5_PCS	838.66	25	100.00%	0	0.00%	0	0.00%	25	1.40%
P5_PVS	1,181.14	8	66.67%	2	16.67%	2	16.67%	12	0.67%
P6_PINS	14,303.93	81	83.51%	0	0.00%	16	16.49%	97	5.44%
P6_PÁR	10,403.18	38	71.70%	0	0.00%	15	28.30%	53	2.97%
P6_PCB	12,074.92	57	78.08%	0	0.00%	16	21.92%	73	4.09%
P6_PCH	3,256.27	19	48.72%	0	0.00%	20	51.28%	39	2.19%
P6_PH2	14,378.59	29	28.43%	9	8.82%	64	62.75%	102	5.72%
P6_PCM	2,389.59	40	100.00%	0	0.00%	0	0.00%	40	2.24%
P7_PCC	918.5	1	10.00%	5	50.00%	4	40.00%	10	0.56%
P7_PRH	428.87	2	66.67%	0	0.00%	1	33.33%	3	0.17%
P7_P2C	1,845.49	5	45.45%	0	0.00%	6	54.55%	11	0.62%
P7_PMAV	3,005.16	18	75.00%	1	4.17%	5	20.83%	24	1.35%
P7_PDP	2,349.14	56	76.71%	0	0.00%	17	23.29%	73	4.09%
TOTAL		1181	66.20%	40	2.24%	563	31.56%	1784	100.00%

Nota: Se muestran los porcentajes de árboles, palmeras y arbustos que hay en cada parque muestreado del Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia, 2026.



4.1.3 Origen de las especies arbóreas

El trabajo de campo permitió identificar el origen de las especies arbóreas en cada parque, clasificando los ejemplares censados como nativos o introducidos (ver Tabla 8). Los resultados muestran que la composición vegetal varía de manera importante entre los espacios analizados.

El análisis espacial permite reconocer parques donde predomina la flora nativa. Por ejemplo, en el parque P3_PC1, el 76,9% de los árboles (20 ejemplares) son especies nativas, mientras que el 23,1% corresponde a especies introducidas. De manera similar, en P1_PLA, el 64% de los individuos registrados son nativos. Destaca también el parque PA_PFA, que, además de contar con el mayor número de árboles (109 en total), presenta una distribución relativamente equilibrada: 66 individuos nativos (60,5%) y 43 introducidos (39,5%).

En contraste, se identificaron parques donde predominan ampliamente las especies introducidas. El caso más evidente es P2_PM, donde el 97,5% de los árboles (39 ejemplares) son introducidos y únicamente uno corresponde a especie nativa (2,5%). Situaciones similares se observan en P1_PFOR y P2_PDP, donde las especies introducidas representan el 81,4% y el 83,3%, respectivamente.

En parques con una cantidad intermedia de individuos, como P3_PC2 y P3_PDA, la distribución es más equilibrada, aunque se mantiene una ligera predominancia de especies introducidas, con valores de 66,6% y 46,5%, respectivamente.

En conjunto, estos resultados evidencian una distribución heterogénea en el origen de las especies dentro del distrito. Esta variación sugiere que los criterios de plantación no han sido consistentes entre parques, lo que se refleja en diferencias en la composición vegetal de cada espacio. El análisis individual de los parques permite identificar áreas con menor presencia de especies nativas, lo que resulta útil para orientar futuras acciones de manejo y mejorar la composición del arbolado urbano.

Figura 7

Figura de la tabla de distribución porcentual del origen de las especies arbóreas por categoría y parque



Clave del parque	Nativa	% Nativa	Introducida	% Introducida	Total	% Total
P1_PLA	16	64,00%	9	36,00%	25	1,40%
P1_PFOR	8	18,60%	35	81,40%	43	2,41%
P1_PAC	2	22,22%	7	77,78%	9	0,50%
PA_PFA	66	60,55%	43	39,45%	109	6,11%
P1_PJM	17	60,71%	11	39,29%	28	1,57%
P2_PM	1	2,50%	39	97,50%	40	2,24%
P2_PDP	1	16,67%	5	83,33%	6	0,34%
P2_PP	14	70,00%	6	30,00%	20	1,12%
P2_PCA	4	23,53%	13	76,47%	17	0,95%
P2_PI	6	42,86%	8	57,14%	14	0,78%
P2_PJSR	0	0,00%	11	100,00%	11	0,62%
P2_PK5	15	46,88%	17	53,13%	32	1,79%
P2_PDY	15	36,59%	26	63,41%	41	2,30%
P2_PRT	21	70,00%	9	30,00%	30	1,68%
P2_PLP	35	62,50%	21	37,50%	56	3,14%
P2_PE	60	81,08%	14	18,92%	74	4,15%
P2_PEC	55	79,71%	14	20,29%	69	3,87%
P3_PQ	42	76,36%	13	23,64%	55	3,08%
P3_P4M	9	90,00%	1	10,00%	10	0,56%
P3_PA	3	30,00%	7	70,00%	10	0,56%
P3_PC1	20	76,92%	6	23,08%	26	1,46%
P3_PC2	15	33,33%	30	66,67%	45	2,52%
P3_PPII	11	64,71%	6	35,29%	17	0,95%
P3_PB	6	66,67%	3	33,33%	9	0,50%
P3_PLI	2	33,33%	4	66,67%	6	0,34%
P3_PDA	31	53,45%	27	46,55%	58	3,25%
P3_PM	25	53,19%	22	46,81%	47	2,63%
P3_PTEC	60	61,86%	37	38,14%	97	5,44%
P3_PRC	25	22,73%	85	77,27%	110	6,17%
P3_PCV	9	60,00%	6	40,00%	15	0,84%
P3_PPO	8	100,00%	0	0,00%	8	0,45%
P3_PCP	5	16,13%	26	83,87%	31	1,74%
P3_PBX	13	48,15%	14	51,85%	27	1,51%
P5_PÓTB	15	78,95%	4	21,05%	19	1,07%
P5_PDA	8	72,73%	3	27,27%	11	0,62%
P5_PCS	16	64,00%	9	36,00%	25	1,40%
P5_PVS	4	33,33%	8	66,67%	12	0,67%
P6_PINS	60	61,86%	37	38,14%	97	5,44%
P6_PÁR	30	56,60%	23	43,40%	53	2,97%
P6_PCB	30	41,10%	43	58,90%	73	4,09%



P6_PCH	13	36,11%	23	63,89%	36	2,02%
P6_PH2	82	80,39%	20	19,61%	102	5,72%
P6_PCM	32	80,00%	8	20,00%	40	2,24%
P7_PCC	5	50,00%	5	50,00%	10	0,56%
P7_PRH	1	33,33%	2	66,67%	3	0,17%
P7_P2C	1	9,09%	10	90,91%	11	0,62%
P7_PMAV	16	66,67%	8	33,33%	24	1,35%
P7_PDP	18	24,66%	55	75,34%	73	4,09%
TOTAL	951	53,31%	833	46,69%	1784	100,00%

Nota: Se muestran los porcentajes de individuos arbóreos por su origen nativo o introducido que hay en cada parque muestreado del Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo.

Elaboración propia, 2026.

4.1.4 Estructuras demográfica del arbolado

Al analizar el comportamiento demográfico y botánico en cada sitio, se observan diferentes patrones de consolidación poblacional. Por ejemplo, el polígono P1_PLA muestra una estructura demográfica en una etapa inicial de sucesión ecológica, con el 96 % de los individuos en etapa juvenil. Es importante señalar que la mayoría de esta biomasa reciente es nativa (64 %). Desde el punto de vista silvicultural, este escenario tiene un alto valor a futuro. La presencia de germoplasma local en los individuos jóvenes favorece una mayor supervivencia, menor necesidad de agua y mejor adaptación al clima regional, lo que permitirá un dosel resistente y de bajo mantenimiento a mediano plazo.

Por otro lado, el análisis de datos muestra que parques como P1_PFOR y P2_PM presentan condiciones de vulnerabilidad. Aunque P1_PFOR parece estable porque el 55.8 % de sus árboles son maduros, el 81.4 % de ellos son especies introducidas. Esta dependencia de especies exóticas es aún mayor en P2_PM, donde la vegetación introducida llega al 97,5 %. La presencia dominante de flora no nativa, sobre todo en árboles adultos o grandes, representa un riesgo operativo y económico. Estas especies suelen ser incompatibles con el entorno urbano, ya que sus raíces agresivas pueden dañar la infraestructura vial y de agua, lo que obliga a la administración a realizar podas correctivas frecuentes.



El análisis también muestra que existen áreas que funcionan como verdaderos parches de conservación urbana, como el parque PA_PFA. Este parque, con 109 árboles, mantiene un buen equilibrio demográfico: el 56 % son juveniles y el 42 % maduros. Además, la mayoría son de origen nativo (60,5 %). Esta estructura asegura que los servicios ecosistémicos continúen, ya que los árboles maduros ofrecen beneficios inmediatos como la regulación térmica, mientras que los juveniles garantizan el reemplazo natural de la población.

En general, los datos muestran que hay muy pocos árboles viejos en casi todo el distrito. Esto indica que la mayoría de los árboles están en una fase activa de crecimiento. El análisis respalda la necesidad de actualizar los programas municipales de manejo. Es importante enfocar los esfuerzos en podas de formación para guiar el desarrollo de los árboles jóvenes y limitar el uso de especies exóticas en futuras obras públicas. El objetivo debe ser fortalecer el patrimonio biocultural y avanzar hacia una gestión sostenible de la infraestructura verde urbana, en lugar de un paisajismo solo ornamental.

Al analizar más a fondo los datos socioeconómicos y biogeográficos, se observa una gran variedad espacial que indica una fragmentación en las políticas de arborización del distrito. La polarización en los polígonos, donde algunos sitios tienen muchos árboles jóvenes y otros están casi completamente dominados por árboles maduros (como se ve en parques con más del 90 % de madurez), muestra que no existe un plan maestro de gestión forestal a mediano o largo plazo. Esta distribución desigual sugiere que las plantaciones se han hecho en campañas puntuales o reactivas, y no como parte de un proceso planificado y continuo.

Figura 8

Figura de la tabla de distribución porcentual por desarrollo de los individuos arbóreos por categoría y parque



Clave del parque	Juveniles	%	Maduros	%	Seniles	%	Total de individuos arbóreos
P1_PLA	24	96,00%	1	4,00%	0	0,00%	25
P1_PFOR	19	44,19%	24	55,81%	0	0,00%	43
P1_PAC	7	77,78%	2	22,22%	0	0,00%	9
PA_PFA	61	55,96%	46	42,20%	2	1,83%	109
P1_PJM	19	67,86%	6	21,43%	3	10,71%	28
P2_PM	10	25,00%	27	67,50%	3	7,50%	40
P2_PDP	6	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	6
P2_PP	20	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	20
P2_PCA	16	94,12%	1	5,88%	0	0,00%	17
P2_PI	11	78,57%	3	21,43%	0	0,00%	14
P2_PJSR	4	36,36%	7	63,64%	0	0,00%	11
P2_PK5	16	50,00%	16	50,00%	0	0,00%	32
P2_PDY	12	29,27%	24	58,54%	5	12,20%	41
P2_PRT	24	80,00%	4	13,33%	2	6,67%	30
P2_PLP	36	64,29%	18	32,14%	2	3,57%	56
P2_PE	74	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	74
P2_PEC	69	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	69
P3_PQ	8	14,55%	44	80,00%	3	5,45%	55
P3_P4M	10	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	10
P3_PA	10	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	10
P3_PC1	22	84,62%	4	15,38%	0	0,00%	26
P3_PC2	39	86,67%	3	6,67%	3	6,67%	45
P3_PPII	15	88,24%	2	11,76%	0	0,00%	17
P3_PB	9	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	9
P3_PLI	1	16,67%	4	66,67%	1	16,67%	6
P3_PDA	24	41,38%	34	58,62%	0	0,00%	58
P3_PM	8	17,02%	34	72,34%	5	10,64%	47
P3_PTEC	2	2,06%	91	93,81%	4	4,12%	97
P3_PRC	90	81,82%	18	16,36%	2	1,82%	110
P3_PCV	7	46,67%	8	53,33%	0	0,00%	15
P3_PPO	8	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	8
P3_PCP	18	58,06%	9	29,03%	4	12,90%	31
P3_PBX	21	77,78%	3	11,11%	3	11,11%	27
P5_PÓTB	0	0,00%	14	73,68%	5	26,32%	19
P5_PDA	2	18,18%	9	81,82%	0	0,00%	11
P5_PCS	2	8,00%	23	92,00%	0	0,00%	25
P5_PVS	0	0,00%	12	100,00%	0	0,00%	12
P6_PINS	3	3,09%	12	12,37%	82	84,54%	97
P6_PÁR	1	1,89%	41	77,36%	11	20,75%	53



P6_PCB	6	8,22%	62	84,93%	5	6,85%	73
P6_PCH	2	6,06%	29	87,88%	2	6,06%	33
P6_PH2	46	45,10%	54	52,94%	2	1,96%	102
P6_PCM	3	7,50%	37	92,50%	0	0,00%	40
P7_PCC	7	70,00%	3	30,00%	0	0,00%	10
P7_PRH	1	33,33%	2	66,67%	0	0,00%	3
P7_P2C	1	9,09%	10	90,91%	0	0,00%	11
P7_PMAV	22	91,67%	2	8,33%	0	0,00%	24
P7_PDP	73	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	73
TOTAL	889	49,92%	743	41,72%	149	8,37%	1781

Nota: Se muestran los porcentajes de individuos arbóreos por su desarrollo que hay en cada parque muestreado del Distrito I.2 Insurgentes en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia, 2026.

4.1.5 Riesgos y Conflictos

El análisis revela una interacción física entre los árboles y la infraestructura urbana. Se evaluaron 1,784 árboles en parques del Distrito I.2 Insurgentes, encontrando 138 casos de riesgo y 1,252 conflictos estructurales (ver Tabla 10). Los conflictos superan el número de árboles porque un solo árbol puede presentar varios problemas.

Diferenciar los conceptos del estudio es crucial: los "conflictos" representan problemas de espacio o de infraestructura, mientras que los "riesgos" implican una amenaza física o sanitaria que puede provocar la caída de ramas o del árbol completo. Los datos señalan áreas alarmantes. En el polígono P2_PM, 38 de los 40 árboles presentan riesgos, lo que representa casi el 95% de la población y exige una intervención inmediata. Este deterioro generalizado o la fuerte presión urbana requiere activar con urgencia los protocolos de protección civil y revisar cada caso para evitar accidentes graves.

Los principales problemas se presentan en las raíces y en los lados. Hay 397 conflictos en raíces (22.25%), 392 en lados de copa (21.97%), 342 debajo de copa (19.17%) y 121 sobre copa (6.78%).

El análisis por parque revela diferencias críticas en la gestión del espacio y pone de manifiesto áreas vulnerables. En el Parque Comunitario (P6_PCM) hay 119 conflictos



en 40 árboles, principalmente en la copa y en las raíces. En Colonia Solidaridad (P5_PCS) se registran 80 conflictos en 25 árboles y, en Insurgentes (P6_PINS), 123 problemas en 97 árboles, con la mayoría de los daños en las raíces y en los lados. Esto evidencia una falta de planeación en la arborización urbana. Los problemas subterráneos sugieren una plantación en espacios reducidos, lo que provoca el levantamiento del pavimento y posibles daños a la red de agua. Además, la fricción constante de las ramas evidencia la falta de mantenimiento, lo que afecta el alumbrado público, el cableado y el paso de peatones o vehículos.

Figura 9

Figura de la tabla de distribución porcentual de riesgos y conflictos de los individuos arbóreos por categoría y parque



% de Riesgos y Conflictos de los individuos arbóreos por categoría y por parque													
Clave del parque	Riesgo	%	Conflicto sobre la copa	%	Conflicto laterales a la copa	%	Conflicto debajo de la copa	%	Conflictos en raíces	%	Total de conflictos en ejemplares	%	Total de individuos arbóreos
P1_PLA	10	0.56%	3	12.00%	5	20.00%	5	20.00%	11	44.00%	24	96.00%	25
P1_PFOR	0	0.00%	0	0.00%	12	27.91%	34	79.07%	26	60.47%	72	167.44%	43
P1_PAC	0	0.00%	1	11.11%	0	0.00%	1	11.11%	1	11.11%	3	33.33%	9
PA_PFA	1	0.06%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	14	12.84%	14	12.84%	109
P1_PJM	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	7	25.00%	7	25.00%	28
P2_PM	38	2.13%	2	5.00%	10	25.00%	18	45.00%	13	32.50%	43	107.50%	40
P2_PDP	0	0.00%	2	33.33%	2	33.33%	3	50.00%	1	16.67%	8	133.33%	6
P2_PP	0	0.00%	0	0.00%	4	20.00%	5	25.00%	5	25.00%	14	70.00%	20
P2_PCA	1	0.06%	2	11.76%	3	17.65%	3	17.65%	1	5.88%	9	52.94%	17
P2_PI	4	0.22%	1	7.14%	4	28.57%	6	42.86%	3	21.43%	14	100.00%	14
P2_PJSR	3	0.17%	2	18.18%	4	36.36%	7	63.64%	1	9.09%	14	127.27%	11
P2_PK5	9	0.50%	5	15.63%	5	15.63%	5	15.63%	8	25.00%	23	71.88%	32
P2_PDY	0	0.00%	0	0.00%	36	87.80%	0	0.00%	3	7.32%	39	95.12%	41
P2_PRT	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	10	33.33%	10	33.33%	30
P2_PLP	0	0.00%	11	19.64%	7	12.50%	9	16.07%	4	7.14%	31	55.36%	56
P2_PE	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	4	5.41%	4	5.41%	74
P2_PEC	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	69
P3_P3	0	0.00%	0	0.00%	5	9.09%	4	7.27%	0	0.00%	9	16.36%	55
P3_P4M	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	1	10.00%	1	10.00%	10
P3_PA	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	10
P3_PC1	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	1	3.85%	1	3.85%	26
P3_PC2	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	6	13.33%	6	13.33%	45
P3_PP1	1	0.06%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	5	29.41%	5	29.41%	17
P3_PB	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	2	22.22%	2	22.22%	9
P3_PLI	4	0.22%	2	33.33%	3	50.00%	3	50.00%	4	66.67%	12	200.00%	6
P3_PDA	8	0.45%	8	13.79%	13	22.41%	11	18.97%	9	15.52%	41	70.69%	58
P3_PM	0	0.00%	7	14.89%	12	25.53%	14	29.79%	3	6.38%	36	76.60%	47
P3_PTEC	0	0.00%	15	15.46%	16	16.49%	17	17.53%	15	15.46%	63	64.95%	97
P3_PRC	8	0.45%	0	0.00%	3	2.73%	3	2.73%	15	13.64%	21	19.09%	110
P3_PCV	6	0.34%	4	26.67%	7	46.67%	8	53.33%	2	13.33%	21	140.00%	15
P3_PPO	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	8	100.00%	8	100.00%	8
P3_PCP	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	31
P3_PBX	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	4	14.81%	4	14.81%	27
P5_POTB	0	0.00%	5	26.32%	19	100.00%	19	100.00%	7	36.84%	50	263.16%	19
P5_PDA	3	0.17%	0	0.00%	4	36.36%	11	100.00%	6	54.55%	21	190.91%	11
P5_PCS	9	0.50%	10	40.00%	20	80.00%	25	100.00%	25	100.00%	80	320.00%	25
P5_PVS	6	0.34%	1	8.33%	6	50.00%	11	91.67%	8	66.67%	26	216.67%	12
P6_PINS	0	0.00%	0	0.00%	97	100.00%	0	0.00%	26	26.80%	123	126.80%	97
P6_PAR	0	0.00%	2	3.77%	7	13.21%	10	18.87%	9	16.98%	28	52.83%	53

P6_PCB	0	0.00%	2	2.74%	7	9.59%	14	19.18%	24	32.88%	47	64.38%	73
P6_PCH	7	0.39%	4	12.12%	8	24.24%	18	54.55%	4	12.12%	34	103.03%	33
P6_PH2	5	0.28%	6	5.88%	10	9.80%	16	15.69%	13	12.75%	45	44.12%	102
P6_PCM	7	0.39%	21	52.50%	24	60.00%	38	55.00%	36	90.00%	119	297.50%	40
P7_PCC	3	0.17%	3	30.00%	9	90.00%	7	70.00%	3	30.00%	22	220.00%	10
P7_PRH	1	0.06%	0	0.00%	3	100.00%	3	100.00%	2	66.67%	8	266.67%	3
P7_P2C	3	0.17%	0	0.00%	4	36.36%	8	72.73%	2	18.18%	14	127.27%	11
P7_PMAV	1	0.06%	2	8.33%	9	37.50%	2	8.33%	6	25.00%	19	79.17%	24
P7_PDP	0	0.00%	0	0.00%	14	19.18%	4	5.48%	39	53.42%	57	78.08%	73
TOTAL	138	7.74%	121	6.78%	392	21.97%	342	19.17%	397	22.25%	1252	70.18%	1784

Nota: La sumatoria de los conflictos cuantificados supera el total de los individuos arbóreos evaluados, dado que un solo espécimen puede estar sujeto a más de una incidencia. Es importante puntualizar que la evaluación de los riesgos y conflictos corresponde a un diagnóstico de tipo transversal, es decir, los datos reflejan exclusivamente las condiciones presentes al momento del levantamiento en campo, sin contemplar proyecciones o variaciones temporales. Elaboración propia, 2026.

4.2 Resultados por unidad espacial (Polígonos)

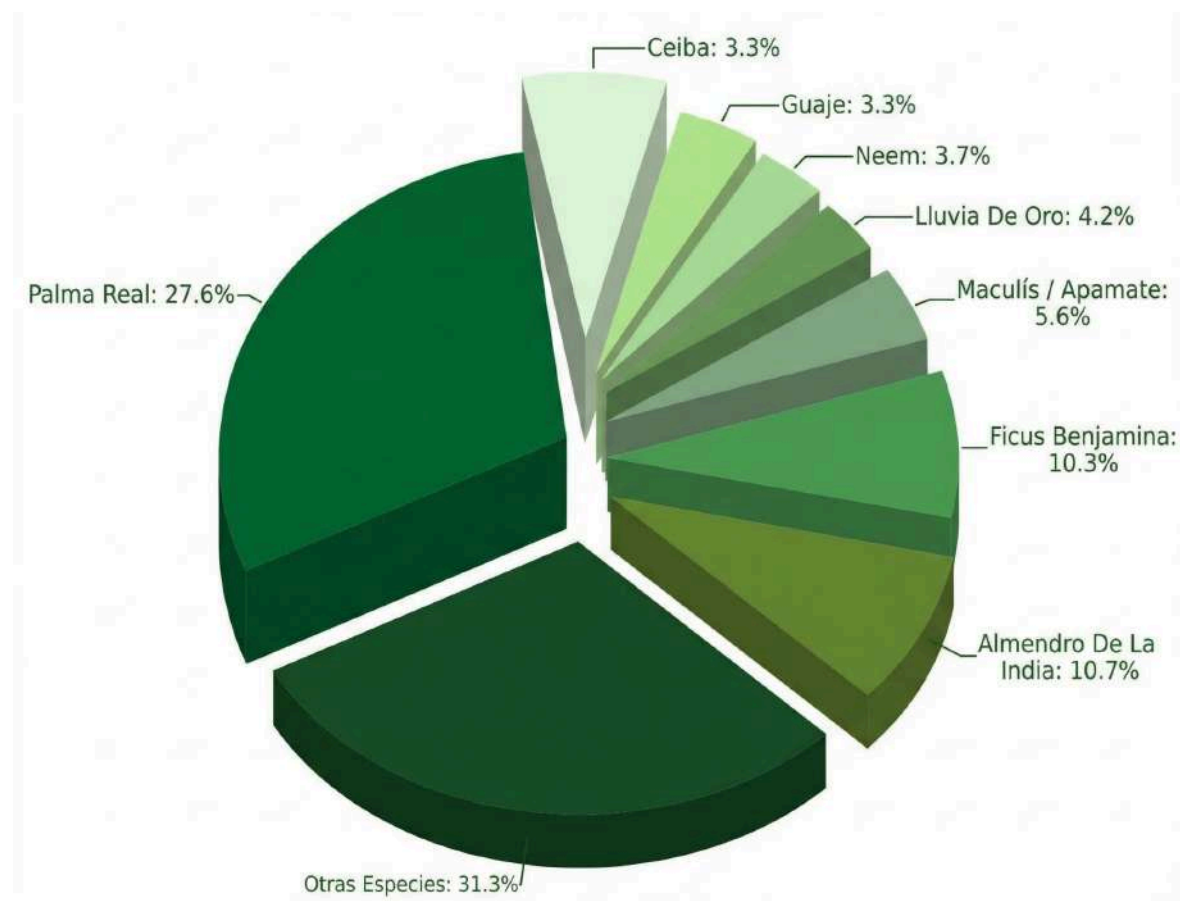
4.2.1 Polígono 1



Nota: Se muestra la delimitación del Polígono 1 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono: P1_ PLA (Polígono 1, Parque lagunitas) , P1_ PFOR (Polígono 1, Parque Forjadores) , P1_ PAC (Polígono 1, Parque del Andador Cobre), P1_ PFA (Polígono 1, Parque del Fraccionamiento los Almendros) y P1_ PJM (Polígono 1, Parque José Marrufo) en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia , 2026.

Figura 11

Distribución de Especies en el Polígono 1 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

La figura 12 muestra la variedad de tamaños y edades del arbolado. La mayoría está en etapas juveniles o maduras, lo que indica que el ecosistema urbano está en

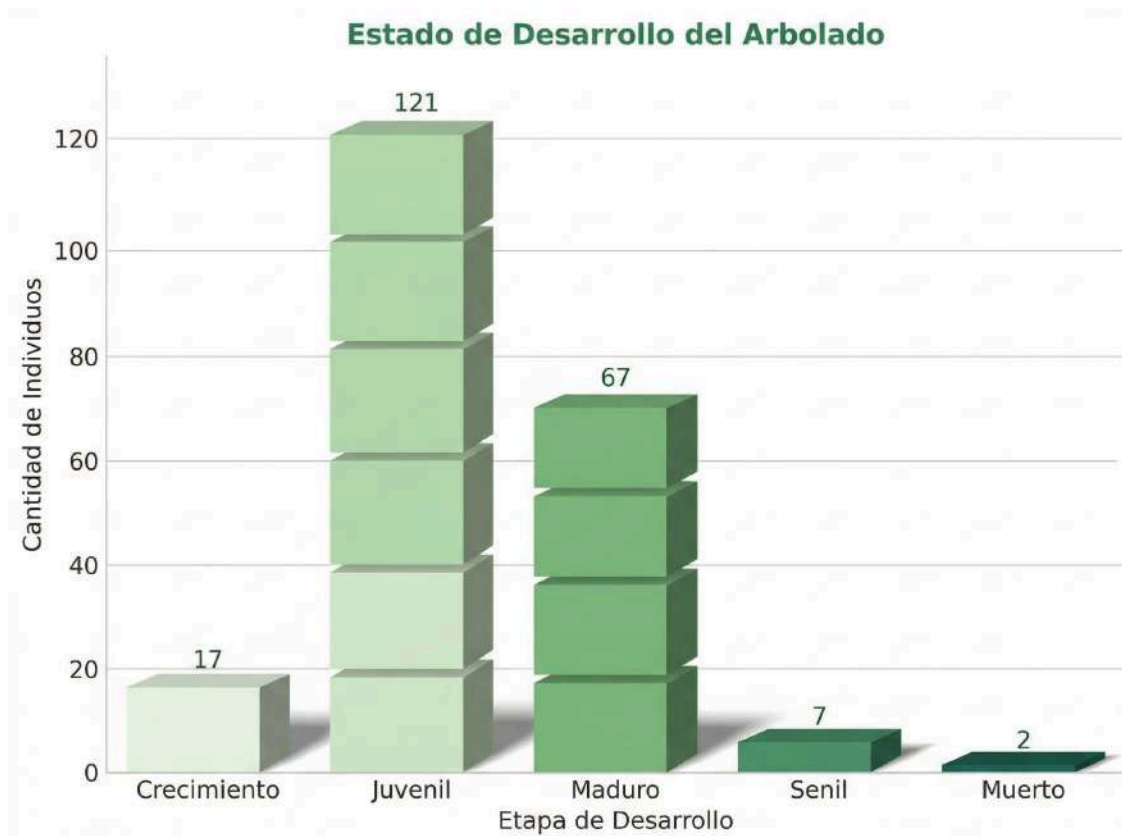


proceso de consolidación y tiene buen potencial de crecimiento y servicios a futuro. Los diámetros a la altura del pecho (DAP) varían mucho: especies como *Roystonea regia* tienen diámetros más pequeños y uniformes, mientras que *Ficus benjamina*, *Delonix regia* y *Ceiba pentandra* pueden superar los 50 cm y tienen copas grandes e irregulares.

En general, los árboles están en buen estado. Las evaluaciones del tronco y la copa suelen ser "Buenas" o "Excelentes". Los casos de árboles muertos o en declive son pocos y se observan sobre todo en especies frutales introducidas como el limón (*Citrus limon*). La baja presencia de fusiones entre árboles indica que la mayoría ha crecido de forma individual.

Figura 12

Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 1 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.



El análisis de riesgos e interferencias con el entorno edificado evidencia los retos de la arborización urbana en la zona. Se registran múltiples conflictos, destacando las interferencias con el cableado de redes aéreas (CRA_ES, CRA_EX) y los conflictos directos con peatones o banquetas (CDC_PP). Estos roces urbanos son particularmente frecuentes en especies de copa extendida o irregular y en raíces agresivas plantadas en espacios reducidos. En respuesta a estas dinámicas, el análisis de riesgos e interferencias con el entorno construido evidencia los desafíos de la arborización urbana en la zona. Se detectaron varios conflictos, especialmente con el cableado aéreo y con peatones o con banquetas. Estos problemas son más comunes en especies con copas grandes o raíces agresivas en espacios reducidos. Para atender estos casos, se han planeado programas de poda ajustados a cada especie y su ciclo, concentrando la mayoría de las intervenciones a principios de primavera y en invierno para reducir riesgos y cuidar la salud de los árboles. arque Parque), P2_PCA (Polígono 2, Parque Carlos A.Vidal) , P2_Pl (Polígono 2, Parque ISSTE), P2_PJSR (Polígono 2, Parque José Siurob Ramírez), P2_PK5 (Polígono 2, Parque del Kilómetro 5), P2_PDY (Polígono 2, Parque Domo Yaxcopoil), P2_PRT (Polígono 2, Parque Rtno.51 entre Rton.50 y Rtno.53), P2_PLP (Polígono 2, Parque “Las Palmeritas”), P2_PE (Polígono 2, Parque Emancipación), P2_PEC (Polígono 2, Parque Emancipación de la Chicotera).

4.2.2. Polígono 2

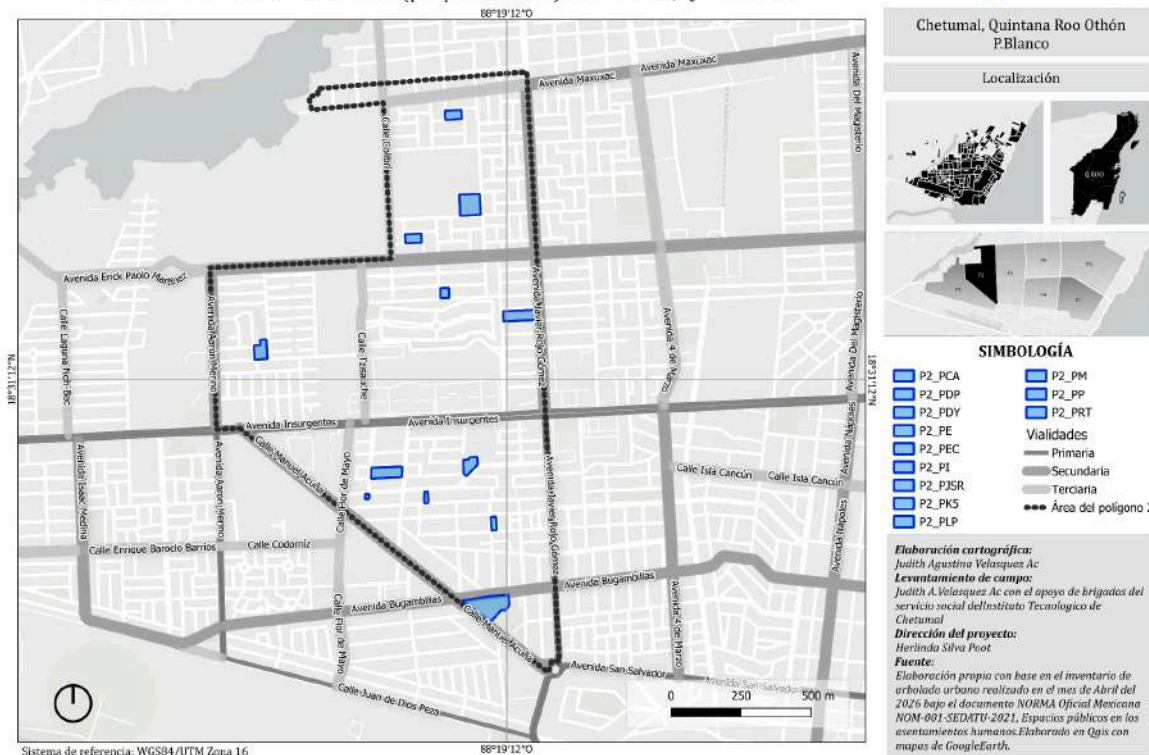
Figura 13

Delimitación del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base el documento NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos



"Delimitación del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes"

Localización de unidades de análisis (parques urbanos) en Chetumal, Quintana Roo



Nota: Se muestra la delimitación del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono: P2_PM (Polígono 2, Parque de la Mujer), P2_PDP (Polígono 2, Parque del Payaso), P2_PP (Polígono 2, Parque Parque), P2_PCA (Polígono 2, Parque Carlos A. Vidal), P2_PI (Polígono 2, Parque ISSTE), P2_PJSR (Polígono 2, Parque José Siurob Ramírez), P2_PK5 (Polígono 2, Parque del Kilómetro 5), P2_PDY (Polígono 2, Parque Domo Yaxcopoil), P2_PRT (Polígono 2, Parque Rtno.51 entre Rton.50 y Rtno.53), P2_PLP (Polígono 2, Parque "Las Palmeritas"), P2_PE (Polígono 2, Parque Emancipación), P2_PEC (Polígono 2, Parque Emancipación de la Chicotera).

en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia realizada en QGIS, 2026.

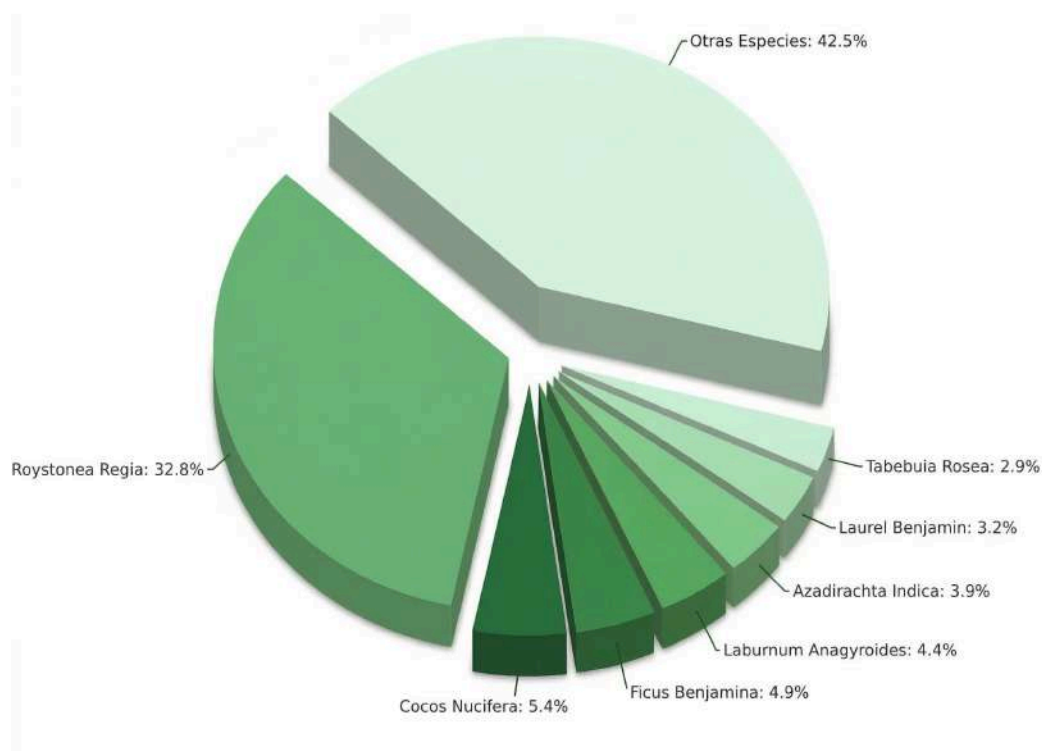
El inventario forestal del Polígono 2 registró 410 plantas. La mayoría son árboles (51.7%, 212 individuos), seguidos de palmeras (43.9%, 180 individuos) y algunos arbustos (4.4%, 18 individuos). Predominan las especies nativas (228 individuos, 55.6%), lo que indica buena conservación de la flora local y adaptación al sitio. El



44.4% son especies introducidas. Las especies más comunes son la palma real (Roystonea regia, 144 individuos), el cocotero (Cocos nucifera, 22), el ficus (Ficus benjamina, 32) y la lluvia de oro (Laburnum anagyroides, 31). Esta mezcla muestra tanto especies nativas de valor paisajístico como introducidas usadas para ornato y cobertura rápida (ver figura 14).

Figura 14

Distribución de Especies en el Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

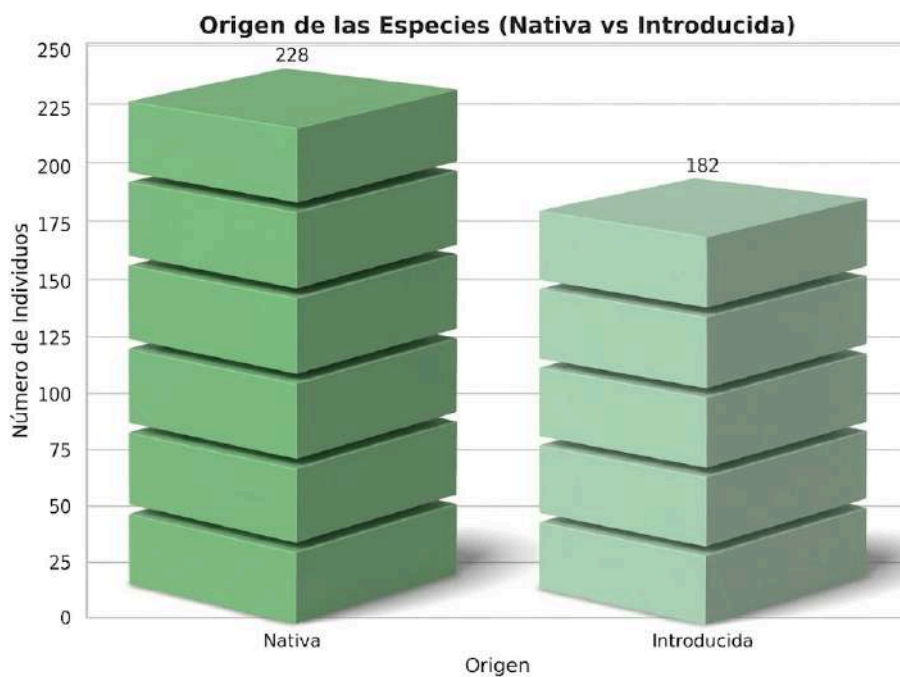
El análisis de las medidas de los árboles muestra que la mayoría está en una fase de desarrollo temprana o intermedia (ver figura 11) . El diámetro promedio es de 23.35 cm y la altura media es de 6.74 metros. El 76% de los árboles (312) son juveniles, el 21.2% (87) son maduros y hay pocos seniles (10) o muertos (1). Esta



mayoría de juveniles es positiva para el futuro, ya que indica un bosque urbano en crecimiento, lo que asegura servicios ambientales y requiere manejo enfocado en podas de formación y tutorado.

Figura 15

Origen de las especies del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.

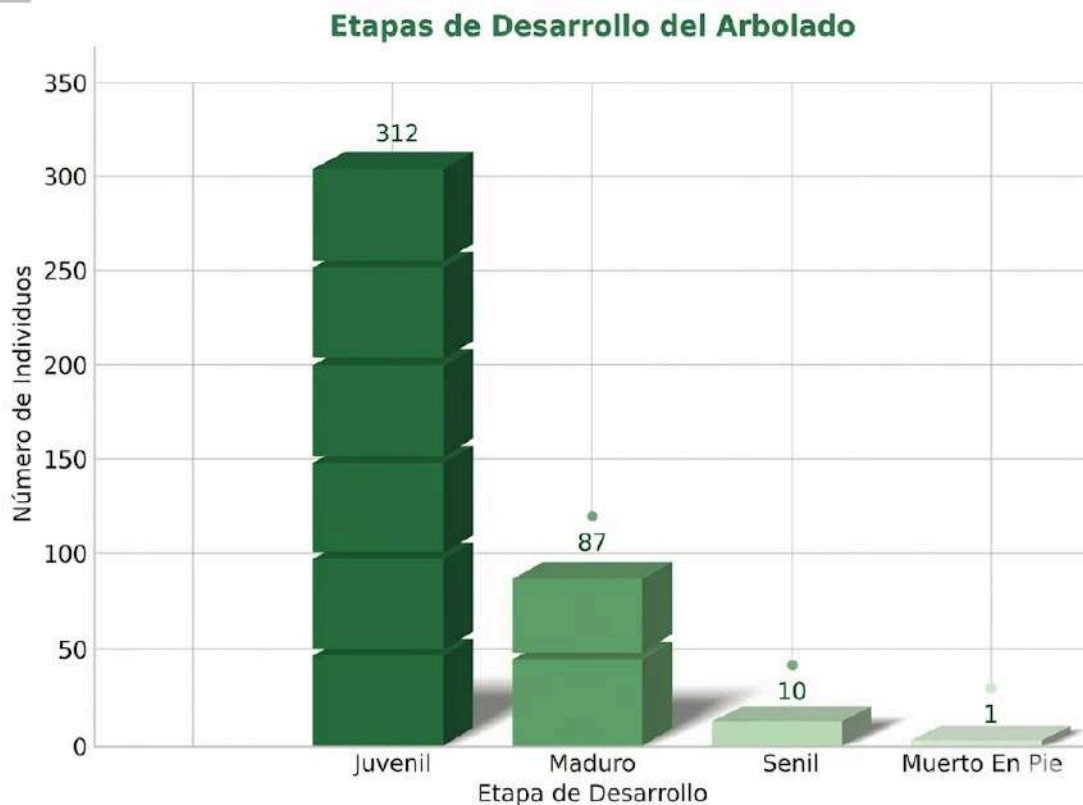


Fuente: Elaboración propia, 2026.

El gráfico de barras del origen de la vegetación muestra la distribución demográfica de los especímenes autóctonos y los introducidos presentes en el área de estudio. Los datos procesados reflejan una predominancia de la flora nativa, con un registro de 228 individuos frente a 182 de especies introducidas.

Figura 16

Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.

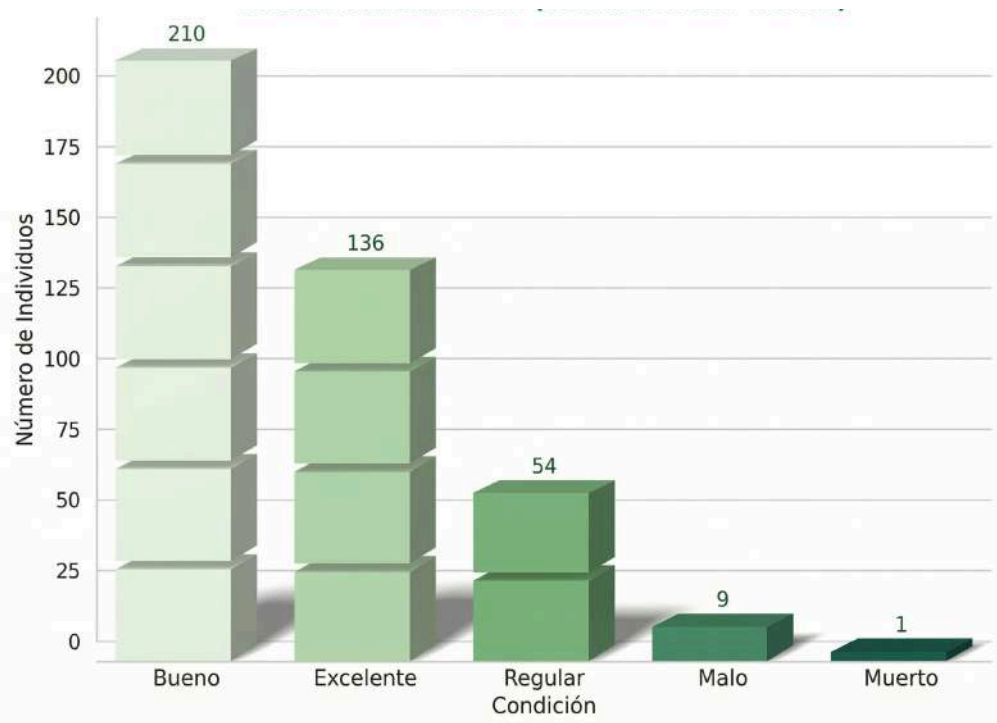


Fuente: Elaboración propia, 2026.

En cuanto a la vitalidad de los árboles, la mayoría está en condición "Buena" o "Excelente" tanto en tronco como en copa, y menos del 3% muestra deterioro o mortalidad. Además, hay pocos conflictos con construcciones y pavimentos: cerca del 90% no tiene problemas de raíces y más del 75% no presenta conflictos con cableado. Esto indica que la planeación y distribución han sido adecuadas o que los árboles jóvenes aún no compiten con el entorno construido, lo que reduce los costos de mantenimiento a corto plazo.

Figura 17

Estado Fitosanitario del Arbolado del Polígono 2 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Un aspecto importante en este polígono es la presencia de especies en riesgo o bajo protección legal, según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y CITES. El censo registró 3 guayacanes (*Guaiacum sanctum*) en peligro de extinción y 3 palmas de guano (*Coccothrinax readii*) como especies amenazadas. Además, se identificaron 75 ejemplares bajo protección especial, como la caoba (*Swietenia macrophylla*), el cedro (*Cedrela odorata*) y muchas palmas reales (*Roystonea regia*). También se registraron ceibas (*Ceiba pentandra*), de gran valor biocultural y protección local. La presencia de estas especies aumenta el valor ecológico del polígono y hace necesario diseñar estrategias de manejo para su conservación.

4.2.3. Polígono 3

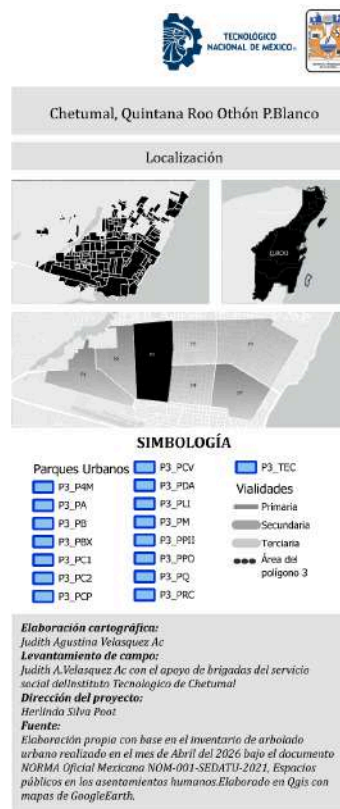
Figura 18

Delimitación del Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base el documento NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos



"Delimitación del Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes"

Localización de unidades de análisis (parques urbanos) en Chetumal, Quintana Roo



Nota: Se muestra la delimitación del Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono: P3_PM (Polígono 3, Parque Emilio Portes Gil “Parque del Queso”) , P3_P4M (Polígono 3, Parque 4 de Marzo), P3_PA (Polígono 3, “Parque de la Amistad”) , P3_PC1 (Polígono 3, Parque C.23, C.25 Y C.10) , P3_C2 (Polígono 3, Parque de la C.8, C.21 y C.02), P3_PPII (Polígono 3, Parque Polígono II) , P3_PB (Polígono 3, Parque Bugambilias) , P3_PLI (Polígono 3, Parque “Las Iguanas”) , P3_PDA (Polígono 3, Parque del Amor) , P3_PM (Polígono 3, Parque del magisterio) , P3_PTEC (Polígono 3, Parque del Tecnológico), P3_PRC (Polígono 3, Parque Residencial Chetumal) , P3_PCV (Polígono 3, Parque Canchita Voli Payo), P3_PPO (Polígono 3, Parque de Payo Obispo SEDESOL), P3_PCP (Polígono 3, Parque Codorniz entre Paloma y Perdiz), P3_PBX (Polígono 3, Parque Bulukax). en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia realizada en QGIS , 2026.

El análisis dasométrico y florístico realizado en el Polígono 3 contempla un censo total de 571 individuos, compuestos en su gran mayoría por especímenes

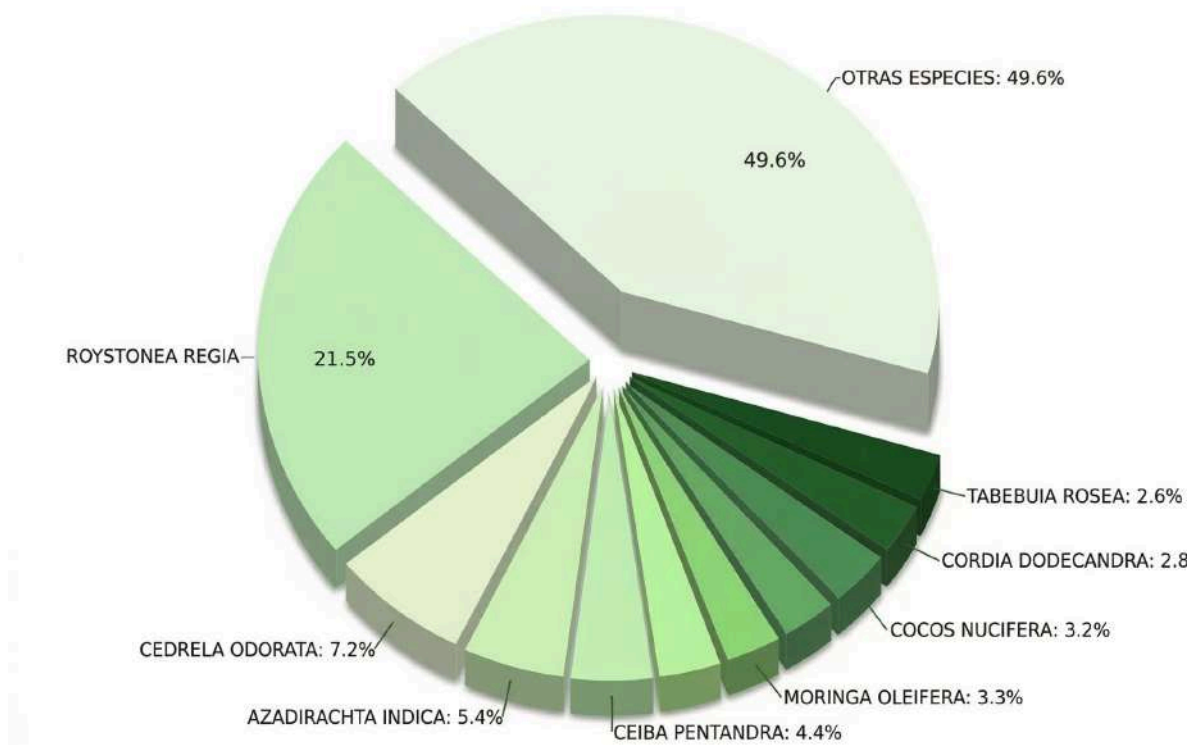


arbóreos (414 individuos, que representan aproximadamente el 72,5% de la muestra) y palmeras (156 individuos, 27,3%), además de una presencia marginal de especímenes arbustivos. La diversidad florística del polígono evidencia una distribución altamente equitativa en cuanto al origen botánico de las especies, con 285 individuos nativos y 282 de origen introducido o exótico. Esta paridad sugiere una conformación antrópica del paisaje urbano en la que se han integrado especies ornamentales y exóticas junto con la flora autóctona (ver figura 14).

Entre las especies con mayor dominancia en el sitio destacan la palma real (*Roystonea regia*), con 123 individuos; el cedro (*Cedrela odorata*), con 41; el nim (*Azadirachta indica*), con 31; y la ceiba (*Ceiba pentandra*), con 25 ejemplares. La fuerte presencia de especies introducidas, como el nim, evidencia prácticas históricas de arborización urbana orientadas al rápido crecimiento y a la provisión de sombra, aunque subraya la importancia de monitorear su dinámica poblacional frente a la de la flora nativa.

Figura 19

Distribución de Especies (Principales especies) en el Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



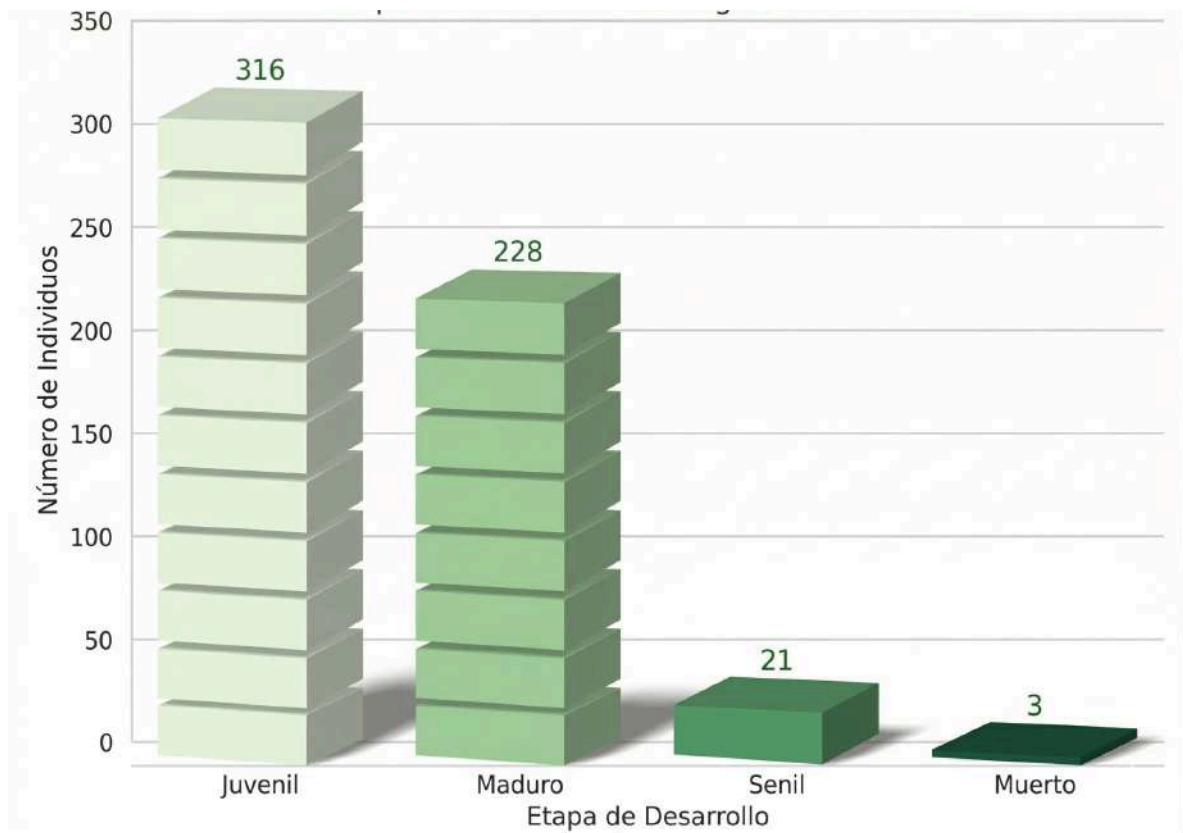
Fuente: Elaboración propia, 2026

El análisis morfométrico del arbolado revela que la comunidad vegetal se encuentra, en su mayoría, en una fase de desarrollo de temprana a intermedia. Los promedios generales de las dimensiones estructurales indican un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 23,35 cm y una altura total promedio de 6,74 metros. Estos valores concuerdan con la distribución de las etapas de desarrollo: el 76% de los individuos (312 ejemplares) se clasifica en la etapa juvenil, mientras que el 21,2% (87 ejemplares) ha alcanzado la madurez, con una presencia mínima de individuos seniles (10) o muertos en pie (1). Esta dominancia de especímenes juveniles es un indicador positivo de la dinámica poblacional a largo plazo, ya que señala que el bosque urbano o parche vegetal se encuentra en una etapa activa de crecimiento y consolidación, lo que garantiza la provisión futura de servicios ambientales y requiere prácticas de manejo enfocadas en podas de formación y en el tutorado preventivo.

Figura 20



Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 3 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026

El vigor y la condición biomecánica de los individuos evaluados reflejan un estado general altamente favorable. Al categorizar el estado físico del tronco y de la copa, más del 50% de la población (289 individuos) se clasifica en la condición "Excelente", seguida de proporciones considerables en "Regular" o "Bueno". La incidencia de árboles con daño estructural grave, madera muerta o condiciones de pudrición es estadísticamente baja. Esto es fundamental desde la perspectiva de la silvicultura urbana, ya que un buen estado físico mitiga exponencialmente los factores de riesgo de caída y maximiza la vida útil del individuo en el entorno construido.

En la gestión de la infraestructura verde, la interacción de los individuos con el entorno construido es un factor determinante en la toma de decisiones. El censo analizó múltiples variables de conflicto: Conflictos en el Sistema de Raíces (CSC),



Conflictos en las Líneas de Conducción eléctrica o aérea (CLC) y Conflictos en el Desarrollo de Copa (CDC). Los resultados indican que la inmensa mayoría de la población arbórea (más de 440 individuos, de manera consistente en las diferentes métricas) no presenta interferencia ni conflicto ("Ninguno").

No obstante, se identifican áreas de oportunidad para el manejo: 58 individuos presentan exposición de raíces superficiales (CSC_SE) que podrían comprometer banquetas o guarniciones en el futuro y ya las comprometen; se observan interferencias leves a nivel de copa o de líneas de conducción en una minoría del censo (p. ej., CLC_PP y CLC_SE). Al evaluar el riesgo integral de los individuos categorizados bajo este parámetro, 266 no representan riesgo alguno, 30 presentan un nivel de riesgo moderado y únicamente 3 están marcados como "Alto Riesgo". Estos últimos requieren una intervención silvicultural inmediata (como el derribo o la poda de mitigación) para salvaguardar la integridad civil.

Las recomendaciones de poda se concentran principalmente en los períodos de "principios de primavera" (221 individuos) e "invierno" (177 individuos). La programación de las intervenciones agronómicas en estas ventanas estacionales obedece a la necesidad de realizar las podas de saneamiento o de formación durante etapas de latencia o justo antes de la explosión del crecimiento vegetativo, minimizando el estrés fisiológico en los especímenes y evitando la proliferación de patógenos.

4.2.4. Polígono 5

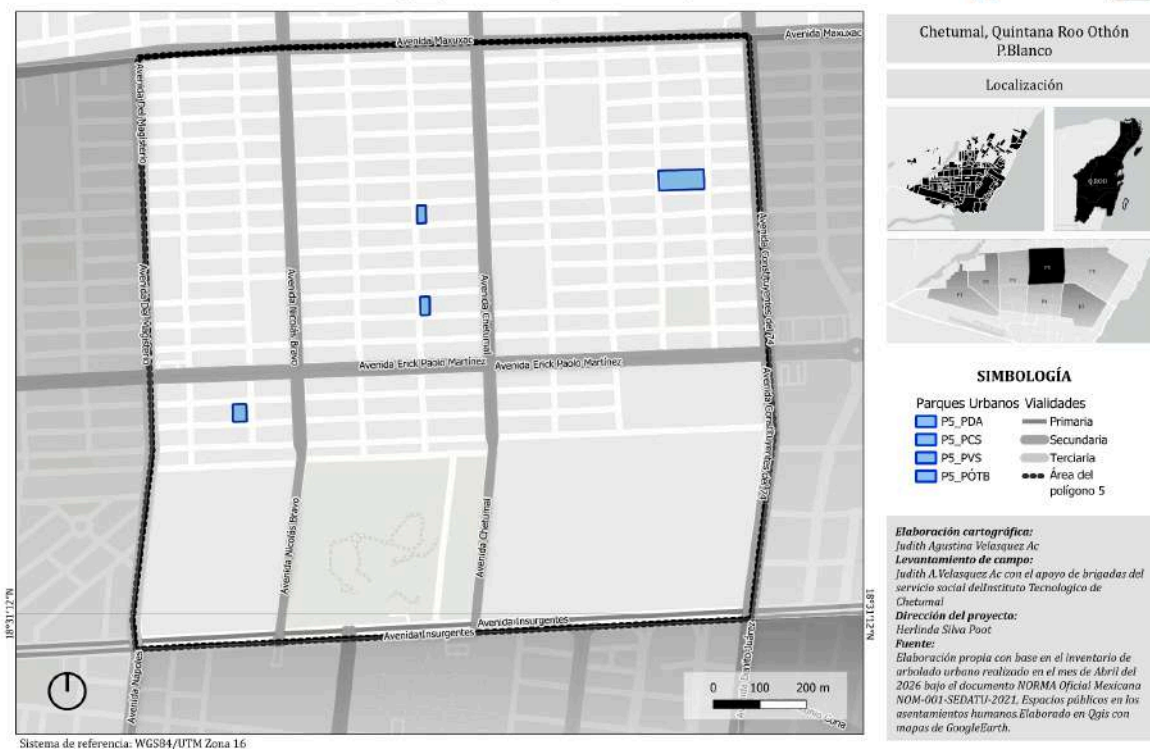
Figura 21

Delimitación del Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base el documento NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos



"Delimitación del Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes"

Localización de unidades de análisis (parques urbanos) en Chetumal, Quintana Roo



Nota: Se muestra la delimitación del Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono: P5_PÓTB (Polígono 5, Parque Othón P. Blanco), P5_PDA (Polígono 5, Parque del amor), P5_PCS (Polígono 5, Parque Colonia Solidaridad) y P5_PVS (Polígono 5, Parque Sacxan entre Valle Hermoso y C. Sergio) en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia realizada en QGIS, 2026.

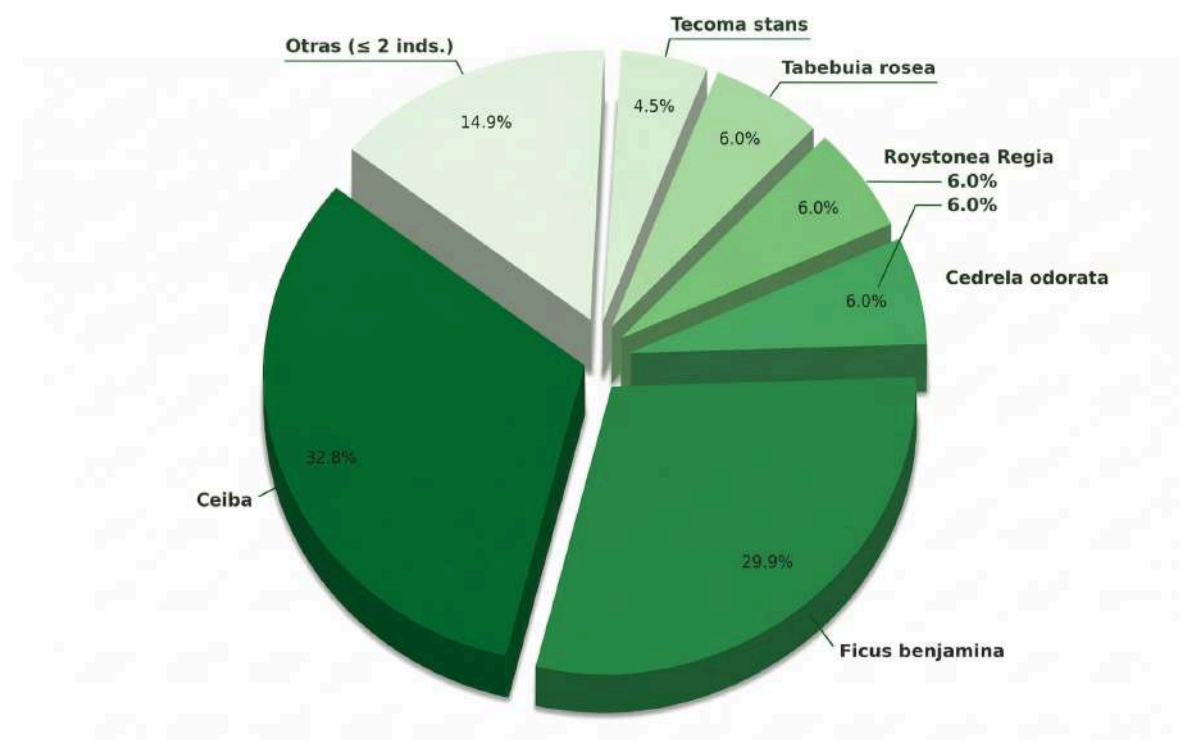
El análisis muestra los resultados derivados del censo forestal y la evaluación ecológica del Polígono 5, en el cual se encuentran 4 parques: PÓTB (19 individuos), PDA (11 individuos), PCS (25 individuos) y PVS (12 individuos). Se determinaron 67 registros botánicos; el estudio permite comprender en profundidad la dinámica estructural, la composición florística y el estado fitosanitario. La composición arrojó la presencia de 13 especies distintas, lo que denota una riqueza biológica moderada pero funcional. La estructura de la comunidad vegetal está dominada por dos especies principales: la *Ceiba* (*Ceiba pentandra*), con 22 individuos, y el *Ficus benjamina*, con 20 individuos. De manera paralela, se registró la presencia de especies de alto valor



ecológico y maderable como el cedro (*Cedrela odorata*), la palma real (*Roystonea regia*) y el maculí (*Tabebuia rosea*).

Figura 22

Distribución de especies (las principales) en el Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026

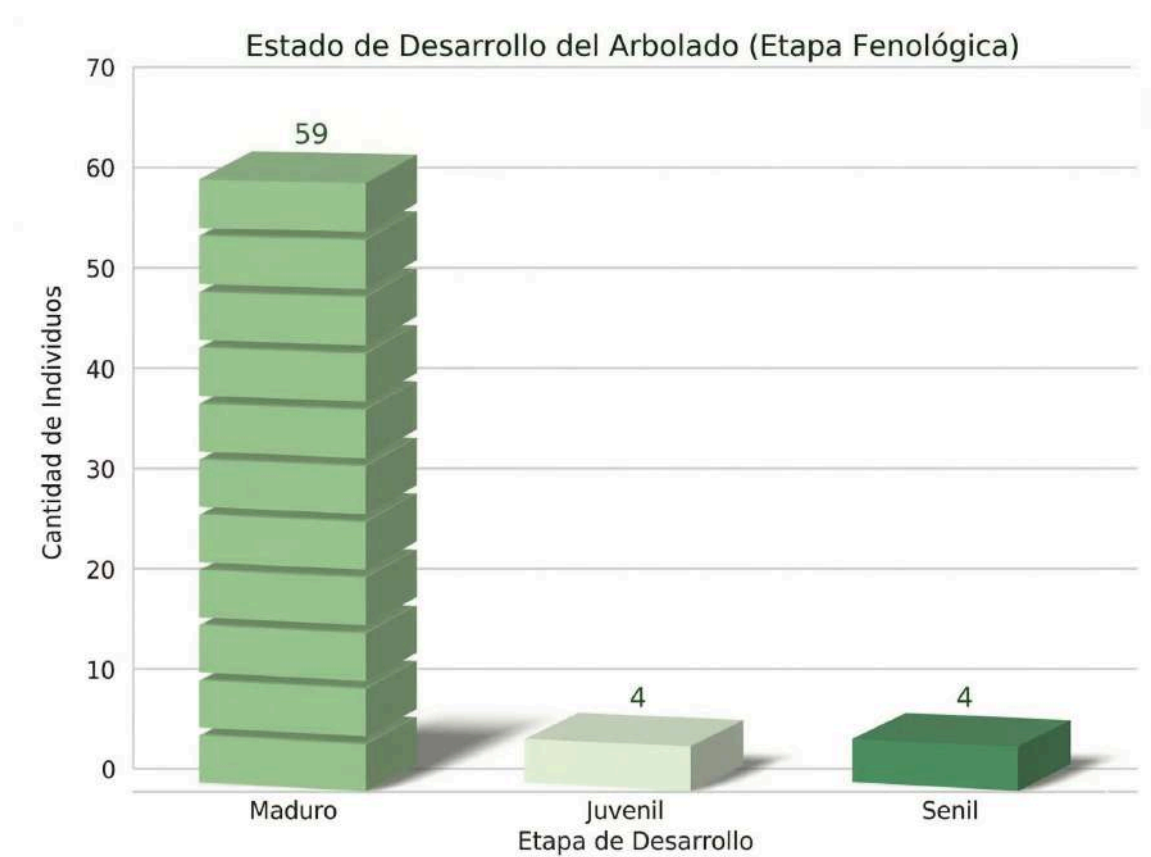
Desde la perspectiva de la morfometría y la dinámica poblacional, los indicadores dasométricos reflejan un arbolado consolidado. El diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio del polígono es de 43,05 cm, con valores máximos de hasta 102,8 cm, predominantemente en los ejemplares de *Ceiba*. En cuanto a la altura total, la media general es de 9,45 metros, y existen especímenes que alcanzan los 20 metros en el estrato superior. Al analizar el estadio de desarrollo, se observa un sesgo significativo hacia la madurez de la masa forestal: 59 de los 67 individuos (88%) se encuentran en etapa madura, mientras que solo se registraron 4 en etapa juvenil y 4



en etapa senil. Este comportamiento demográfico, si bien garantiza una provisión óptima de servicios ambientales en el presente, advierte de un déficit crítico en la tasa de reclutamiento y en la sucesión ecológica.

Figura 23

Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 5 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026

Respecto al estado fitosanitario y a las condiciones de manejo, el arbolado presenta una condición estructural predominantemente favorable. La evaluación del tronco indica que 45 ejemplares se encuentran en estado "Bueno" o "Excelente", mientras que los 22 restantes se encuentran en estado "Regular", sin evidencia de individuos con un nivel crítico de deterioro biológico ("Malo"). A pesar de esta aparente salud generalizada, los registros de campo identificaron que al menos 20



ejemplares presentan alguna condición de riesgo (posiblemente asociada a la arquitectura de su copa o a su inclinación). Las prescripciones de manejo silvicultural demuestran que las intervenciones de poda están calendarizadas prioritariamente para la temporada de invierno (47 individuos), lo que constituye una estrategia adecuada para minimizar el estrés fisiológico de las plantas y reducir la vulnerabilidad a la incidencia de patógenos.

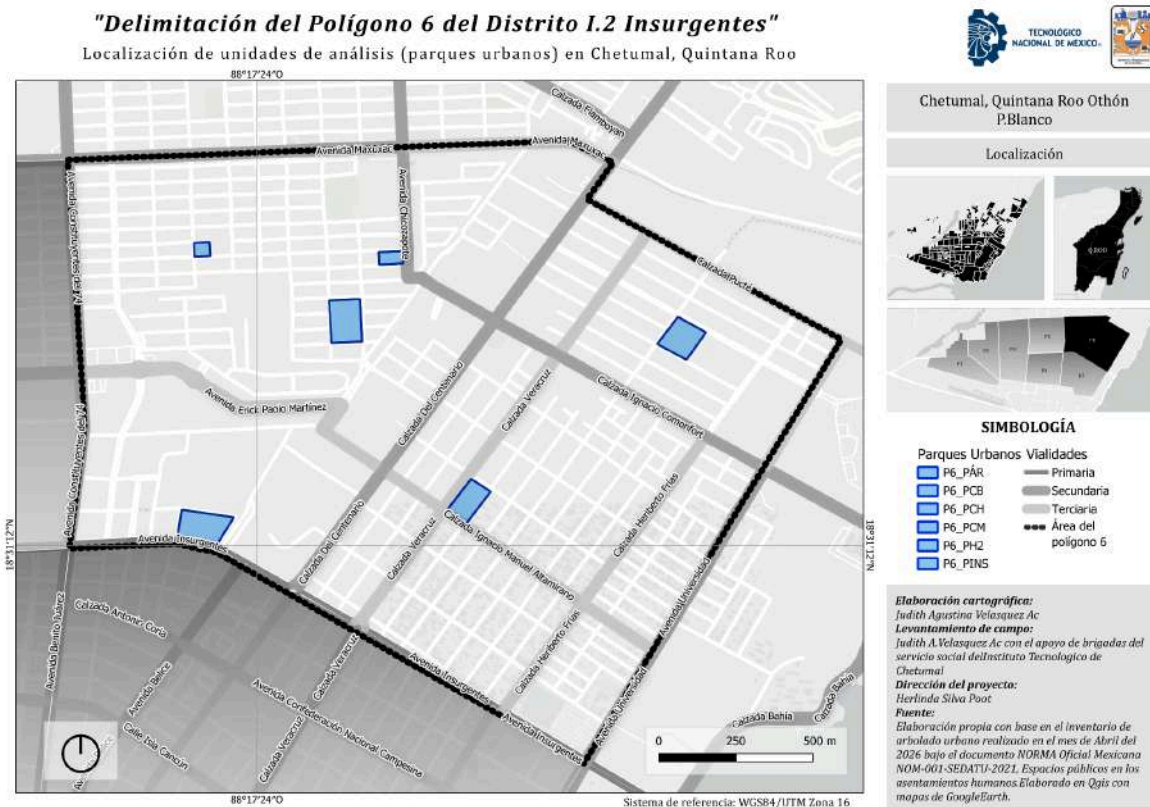
4.2.5. Polígono 6

El censo total validado para los seis sectores se compone de 399 individuos arbóreos y palmas. El estudio de la composición de la vegetación muestra una diversidad dominada puntualmente por unas cuantas especies clave. La palma real (*Roystonea regia*) constituye el elemento florístico más frecuente en el polígono, con un registro de 95 individuos, lo que representa el 23,8% de la masa vegetal inventariada.

A esta le siguen especies con fustes y copas de proporciones arquitectónicas mayores, como la ceiba (*Ceiba pentandra*), con 36 individuos (9,0%); el cocotero (*Cocos nucifera*) y el cedro (*Cedrela odorata*), ambos con 26 individuos (6,5%) cada uno. Posteriormente, destacan el flamboyán (*Delonix regia*) con 21 individuos (5,3%) y la moringa (*Moringa oleifera*) con 20 individuos (5,0%). Se agrupan en la categoría "Otras" los 122 ejemplares restantes (30,6%), lo cual denota que, si bien el paisajismo de estos parques recae en 10 especies primarias, existe una matriz de biodiversidad subyacente que enriquece el hábitat urbano.

Figura 24

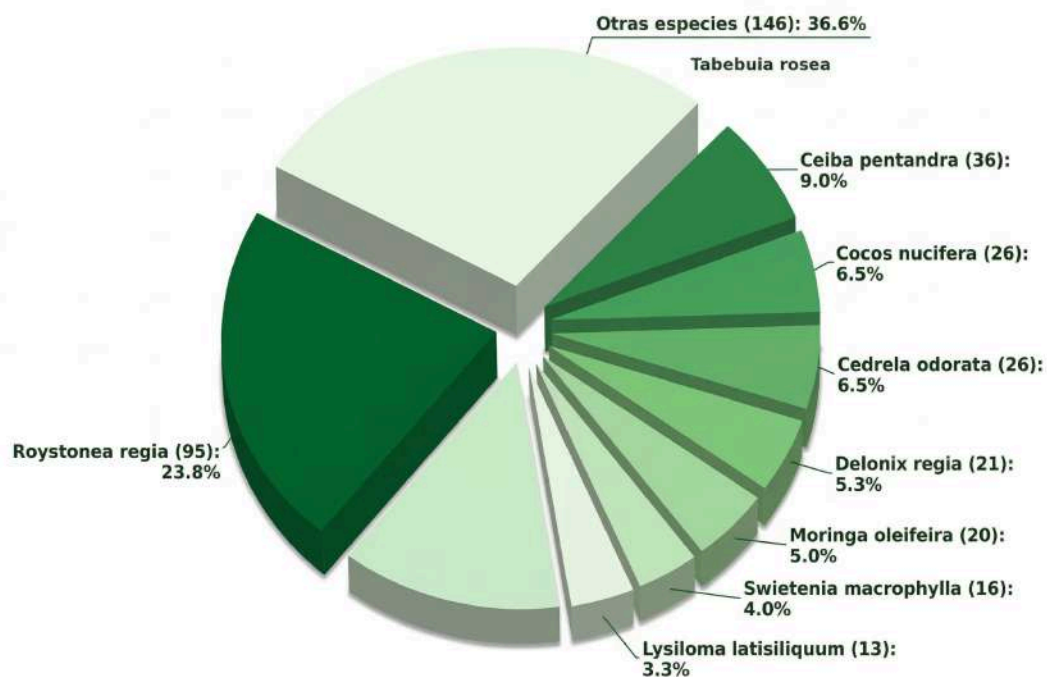
Delimitación del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base el documento NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos



Nota: Se muestra la delimitación del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono: P6_PINS (Polígono 6, Parque Insurgentes) , P6_ÁR (Polígono 6, Parque Áaron Merino) , P6_PCB (Polígono 6, Parque Colonia del Bosque) , P6_PCH (Polígono 6, Parque Chicozapote) , P6_PH2 (Polígono 6, Parque Habitat 2), P6_PCM (Polígono 6, Parque Comunitario) en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia realizada en QGIS , 2026.

Figura 25

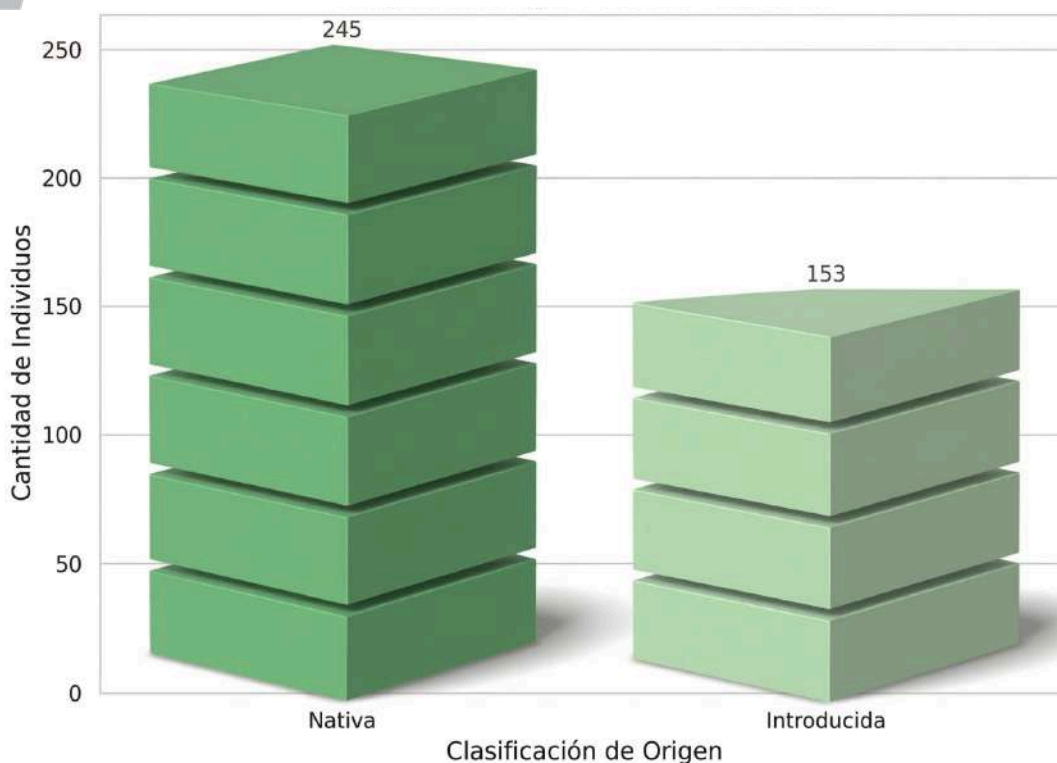
Distribución de Especies (Principales especies) en el Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026

Figura 26

Origen de las especies del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Al categorizar el origen biológico de los 399 individuos con registro de proveniencia, el balance general evidencia una preponderancia de vegetación nativa, que asciende a 245 especímenes (61.6%), frente a las especies introducidas o exóticas, que suman 153 especímenes (38.4%). En el polígono 6 se identifica una presencia predominante de especies nativas de alto valor ecológico y patrimonial, tales como el cedro (*Cedrela odorata*), la caoba (*Swietenia macrophylla*), el tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), el jabín (*Piscidia piscipula*) y la ceiba (*Ceiba pentandra*).

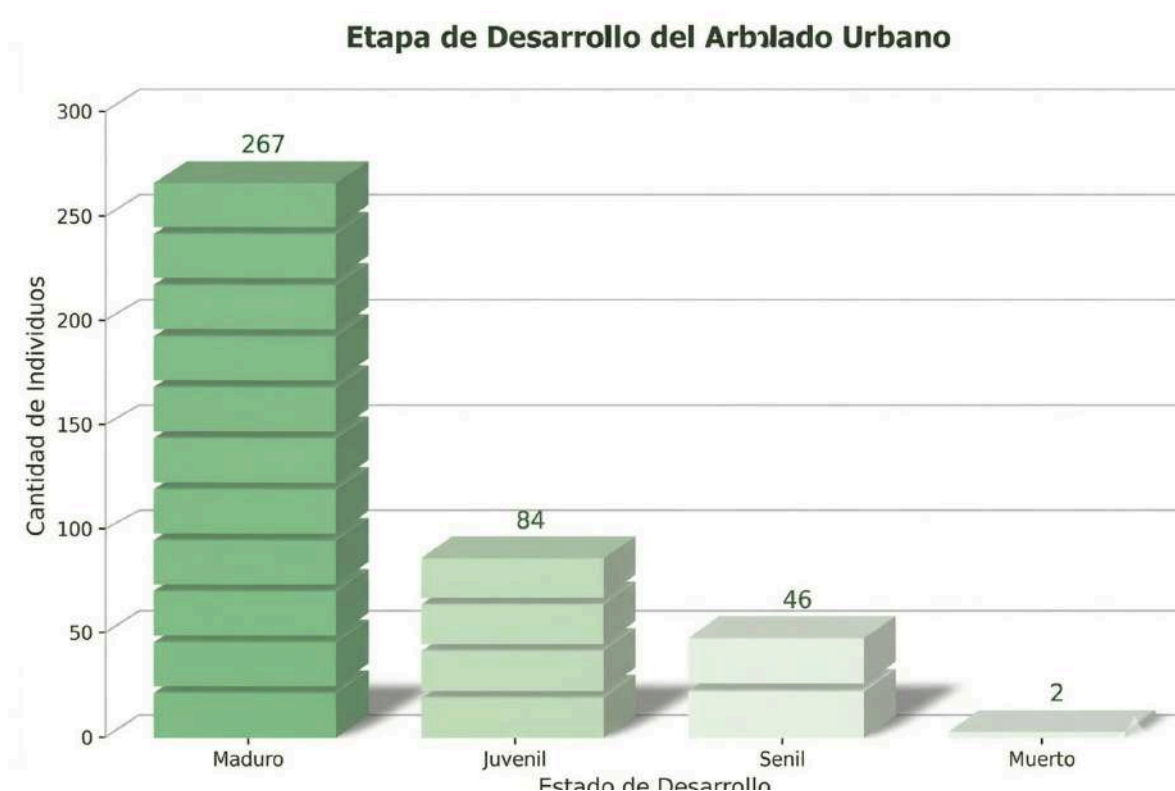
La preservación de estas especies resulta crucial para el diseño urbano de la región, dada su adaptabilidad comprobada a las condiciones climáticas y edafológicas locales. Por otro lado, existe una proporción significativa de vegetación introducida o exótica, destacando el flamboyán (*Delonix regia*), el almendro (*Prunus dulcis*), la moringa (*Moringa oleifera*) y palmas como el cocotero (*Cocos nucifera*) y la palma real (*Roystonea regia*). Si bien estas especies aportan valor estético y sombra, su recurrencia exige un monitoreo constante para mitigar posibles desplazamientos de la



flora local y prever su comportamiento estructural ante fenómenos meteorológicos propios de la península.

Figura 27

Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 6 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El análisis de las dimensiones físicas de los individuos, específicamente del diámetro a la altura del pecho (DAP) y de la altura total, evidencia una consolidación madura del dosel arbóreo. El censo identifica especímenes de dimensiones extraordinarias que actúan como hitos paisajísticos; por ejemplo, individuos de ceiba (*Ceiba pentandra*) en el polígono PCM que alcanzan diámetros superiores a 111 cm y alturas de hasta 15 metros, o especímenes de flamboyán en el polígono PÁR con DAPs excepcionalmente amplios que superan los 500 cm. La mayoría del arbolado se clasifica en la etapa de desarrollo "Maduro", lo que garantiza la actual provisión de sombra y confort térmico en plazas y aceras. Sin embargo, se registra un número



considerable de árboles clasificados como "Seniles" (notablemente en ejemplares de cedro, tzalam y palma real), lo que señala la urgencia de planificar una sucesión vegetal a mediano plazo para evitar la pérdida abrupta de cobertura arbórea y prevenir riesgos derivados de la caída de individuos decrepitos.

El ordenamiento jerárquico del estado de madurez poblacional indica que el dosel del polígono está mayoritariamente consolidado. La evaluación indica que 267 individuos (66,9%) se encuentran en la etapa "Madura", lo que asegura que actualmente se cuenta con una provisión óptima de sombra y de confort térmico peatonal. Se observan 84 especímenes (21,1%) en la etapa "juvenil", que actúan como garantía biológica del relevo generacional de la masa vegetal. Es crítico, sin embargo, el segmento de riesgo: se contabilizaron 46 árboles "Seniles" (11.5%) y 2 individuos "Muertos" (0.5%), cifras que exigen dictámenes inmediatos por parte de protección civil o de la dirección de ecología para evitar que su colapso estructural comprometa la seguridad pública.

La relación estructural entre el arbolado y la configuración física de la ciudad presenta múltiples áreas de conflicto que deben resolverse mediante el diseño urbano. El inventario detalla una alta incidencia de Conflictos Debajo de la Copa (CDC) y de Conflictos en las Raíces (CRA). Especies con sistemas radiculares invasivos o troncos de gran ensanchamiento base, como el flamboyán, diversas variedades de ficus y palmas mal ubicadas, muestran recurrentemente el indicador CDC_PP (Conflicto debajo de la Copa en el Paso Peatonal), Conflicto de Raíces Expuestas en la Superficie (CRA_ES) y Conflictos en las Raíces por Banquetas o Pavimentos rotos (CRA_BP) denotando levantamiento y fractura de pavimentos y banquetas y Conflictos con Laterales de la Copa (CLC) por los servicios eléctricos, asociados al cableado de baja tensión y alumbrado público, prevalentes en árboles de copas anchas no gestionadas, como el maculí (*Tabebuia rosea*) y la lluvia de oro (*Cassia fistula*). Estas interferencias subrayan que la arborización urbana no puede concebirse como un elemento aislado, sino que requiere especificaciones volumétricas de plantación alineadas con la sección vial y con la ubicación de la infraestructura subterránea y aérea.



Figura 28

Conflictos del P5_ PVS (Polígono 5, Parque Sacxan entre Vallehermoso y C.Sergio Butrón)

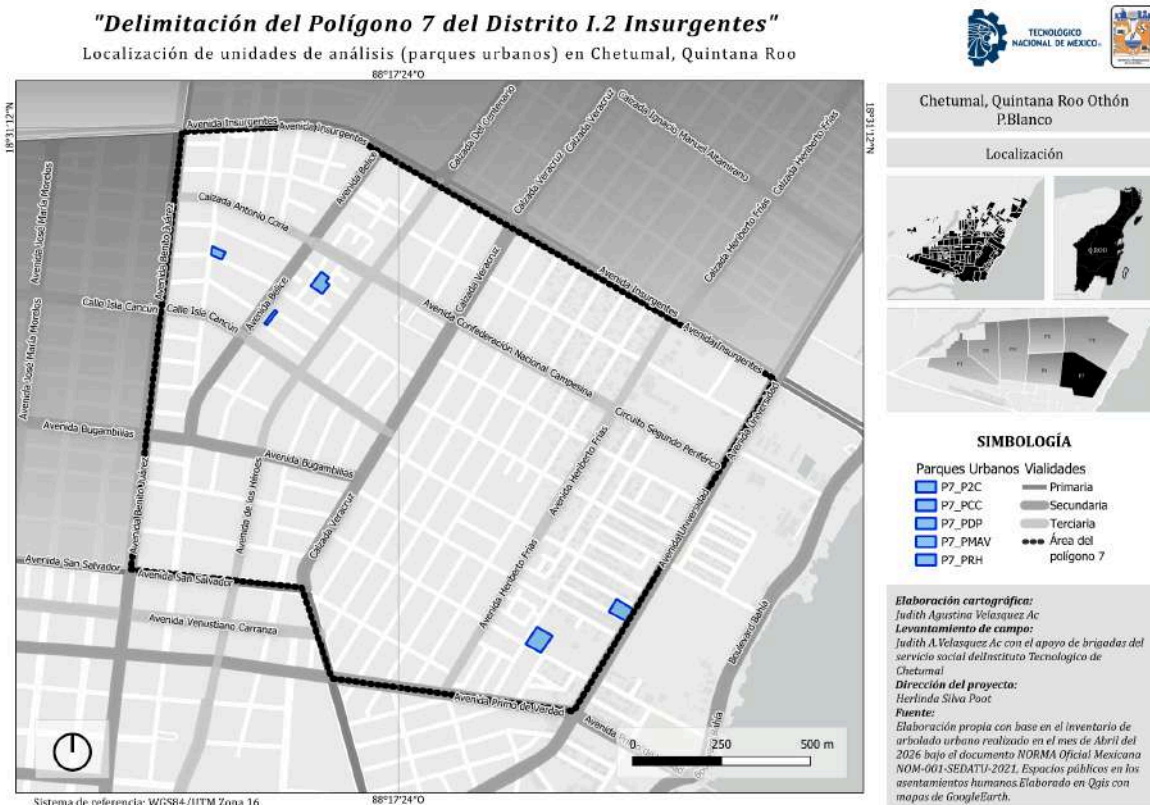


Nota: Se muestra un ejemplo del registro fotográfico hecho en collage de los conflictos en P5_ PVS en Chetumal, Quintana Roo. Elaboración propia con fotos tomadas en campo, 2026.

4.2.6. Polígono 7

Figura 29

Delimitación del Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono y su categoría base el documento NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos

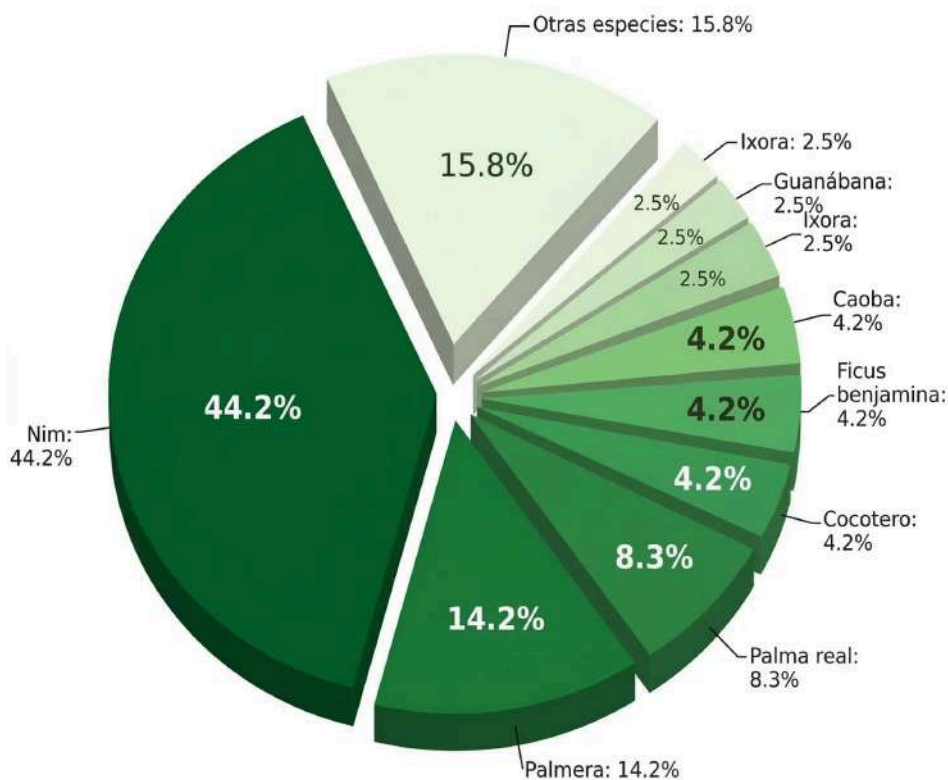


Nota: Se muestra la delimitación del Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes con los parques del respectivo polígono: P7_PCC (Polígono 7, Parque Corozal entre C. Juan José Siordia) ,P7_PRH (Polígono 7, Parque Rtno. Heroes) , P7_P2C (Polígono 7, Parque 2 Circuito) ,P7_PMAV (Polígono 7, Parque María Antonieta Viuda de Villanueva) y P7_PDP (Polígono 7, Parque de Patinaje). en Chetumal, Quintana Roo.

Elaboración propia realizada en QGIS , 2026.

Figura 30

Distribución de Especies (Principales especies) en el Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

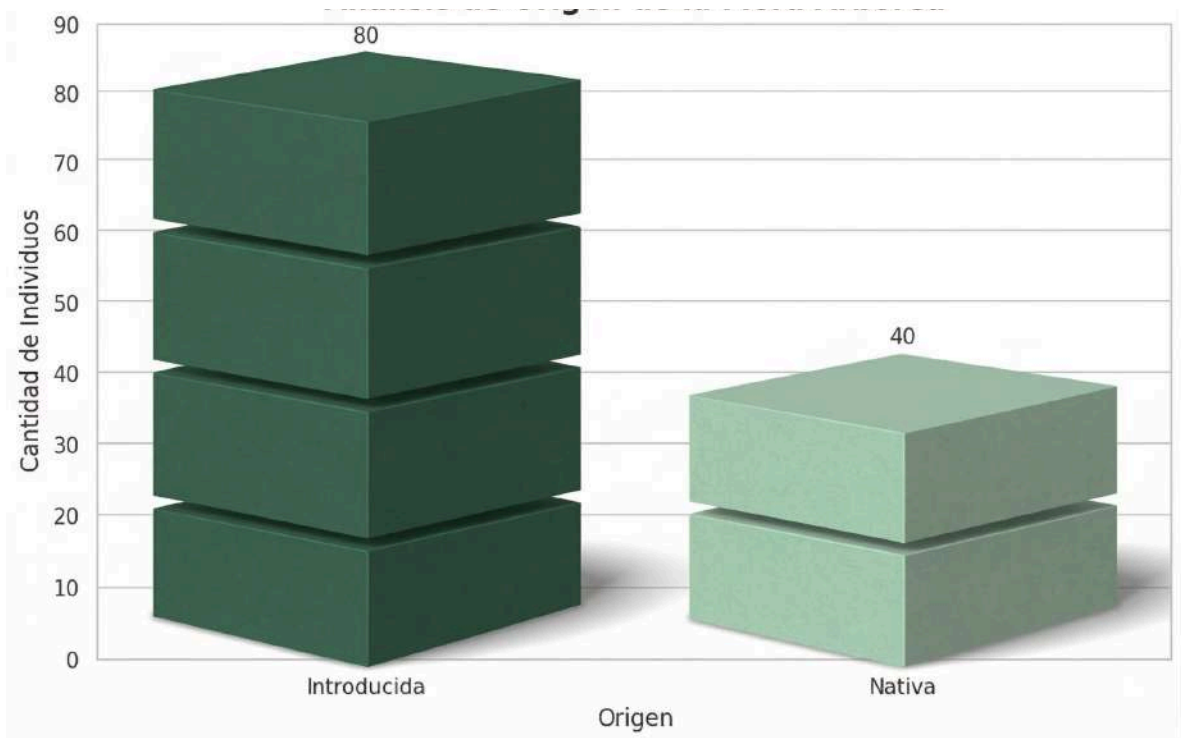
La composición taxonómica del polígono revela una distribución de especies que define el paisaje y la funcionalidad del ecosistema, integrado por un total de 23 especies. Al observar la distribución de especies del polígono, se identifica que el nim (*Azadirachta indica*) es la especie con mayor presencia numérica, representando una fracción significativa del total de individuos (53 árboles), equivalente al 44,2% de la población total. Esta dominancia se debe a su alta capacidad de adaptación y a su rápido crecimiento en entornos urbanos. No obstante, la diversidad se complementa con la presencia de palma *real*, caoba, *Ficus benjamina* y moringa, entre otras. Esta heterogeneidad, aunque marcada por la prevalencia del *Nim*, es vital para la estabilidad biológica, pues la diversidad de especies reduce la vulnerabilidad frente a eventos fitosanitarios masivos. Esta distribución sugiere que casi la mitad del



inventario depende de una sola especie, lo que podría comprometer la resiliencia frente a plagas específicas.

Figura 31

Origen de las especies del Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

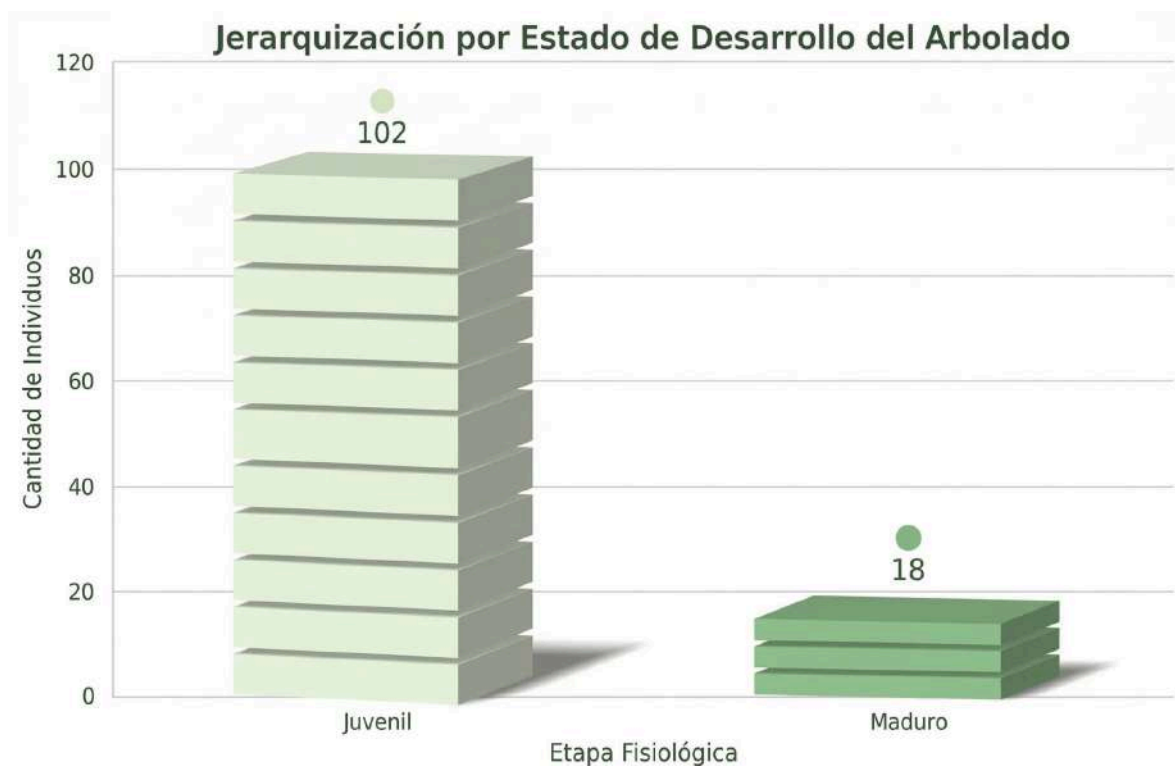
Un componente crítico para la sostenibilidad ecológica es la procedencia biogeográfica de la vegetación. El análisis del origen de las especies muestra una disparidad notable: el 66,7% de la población (80 individuos) corresponde a especies introducidas, mientras que el 33,3% restante (40 individuos) corresponde a especies nativas. En un contexto de arquitectura del paisaje y de urbanismo ambiental, esta cifra es alarmante, pues las especies nativas presentan una mejor integración con la fauna local y menores requerimientos hídricos. La alta proporción de flora exótica, liderada por el nim, sugiere que las intervenciones previas priorizaron la cobertura inmediata por encima de la integridad ecológica regional. La siguiente gráfica de



barras detalla esta relación y evidencia la necesidad de implementar programas de reforestación que equilibren la balanza a favor de las especies autóctonas.

Figura 32

Estado de Desarrollo del Arbolado del Polígono 7 del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Respecto a la dinámica poblacional, el estado de desarrollo del arbolado proporciona información sobre la longevidad y el futuro del bosque urbano. Al organizar el desarrollo de mayor a menor cantidad, se observa una estructura predominantemente juvenil, con 102 (85%) individuos en esta etapa frente a solo 18 árboles maduros (15%). Desde una perspectiva de planeación, esta "juventud forestal" indica que el polígono se encuentra en una fase de crecimiento vigoroso. Los árboles juveniles, aunque actualmente poseen una menor capacidad de captura por individuo que los maduros, representan el capital ambiental futuro. Esta jerarquización sugiere que, con un mantenimiento adecuado y podas de formación correctas, el polígono incrementará exponencialmente sus servicios ecosistémicos en la próxima década.



4.3 Resultados Generales

El inventario de árboles en los espacios públicos del Distrito I.2 Insurgentes, en Chetumal, sirvió para establecer una base de datos sobre la cantidad y calidad del patrimonio vegetal local. Se censaron 48 parques en seis de los siete polígonos, con un total de 1,784 ejemplares, principalmente árboles y palmas. El Polígono 4 no se incluyó porque no tiene parques en su territorio.

El análisis taxonómico revela que hay una mezcla de especies nativas e introducidas. En todo el distrito, la palma real (*Roystonea regia*) es la especie más común y está presente en la mayoría de los polígonos. También se encuentran especies nativas como la ceiba (*Ceiba pentandra*), el cedro (*Cedrela odorata*) y la caoba (*Swietenia macrophylla*), junto con especies introducidas como el nim (*Azadirachta indica*), el flamboyán (*Delonix regia*) y el laurel benjamín (*Ficus benjamina*).

En general, hay un poco más de especies nativas que introducidas en el distrito.

La mayoría de los árboles están en etapas juveniles o maduras. Hay menos árboles seniles en comparación con el resto. En algunos polígonos, como el 5 y el 6, se observan más árboles en etapas avanzadas de desarrollo.

La evaluación fitosanitaria con el método VTA indica que más del 70% de los árboles están en condiciones “Buenas” o “Excelentes”. Los casos de deterioro grave o muerte son raros y se presentan en ejemplares aislados.

En relación con la infraestructura urbana, los principales conflictos se deben a las raíces de los árboles y su cercanía a elementos como banquetas y redes eléctricas.

Por último, la estimación de biomasa y captura de carbono varía según la especie. Aunque la palma real es la más numerosa, especies como *Ceiba pentandra*, *Delonix regia* y *Cedrela odorata* tienen mayores valores de biomasa y almacenan más carbono.

Tabla 7

Síntesis del estado forestal, composición taxonómica y servicios ecosistémicos por polígono en el Distrito I.2 Insurgentes.



Polígono	Espacios Públicos Evaluados	Individuos Censados	Especies Dominantes (Mayor frecuencia)	Condición de Desarrollo Predominante
Polígono 1	5 parques	214	Roystonea regia, Ficus benjamina, Delonix regia	Juvenil / Maduro
Polígono 2	12 parques	410	Roystonea regia, Cocos nucifera, Ficus benjamina	Juvenil (76%)
Polígono 3	16 parques	571	Roystonea regia, Cedrela odorata, Azadirachta indica	Juvenil (76%)
Polígono 4	0 (Sin parques)	0	N/A	N/A
Polígono 5	4 parques	67	Ceiba pentandra, Ficus benjamina	Maduro (88%)
Polígono 6	6 parques	401	Roystonea regia, Ceiba pentandra, Cocos nucifera	Maduro (66.9%)
Polígono 7	5 parques	121	Azadirachta indica, Roystonea regia, Swietenia macrophylla	Juvenil (85%)

Nota: Se observa la síntesis del estado del inventario del arbolado urbano, composición taxonómica y servicios ecosistémicos por polígono en el Distrito I.2 Insurgentes. Elaboración propia con los atributos de los inventarios, 2026.

5. Discusión

En primer lugar, existe una evidente desigualdad en la distribución de las áreas verdes. El caso más crítico es el Polígono 4, que carece totalmente de parques, dejando a sus habitantes sin los beneficios ambientales básicos. Por otro lado, en los espacios



que sí cuentan con vegetación, se observa un patrón repetido: hay una abundancia excesiva de palmas y una ausencia casi total de arbustos. Esta falta de plantas pequeñas y medianas empobrece el ecosistema del parque, ya que reduce la humedad del suelo y elimina los refugios naturales para las aves y los insectos locales. Otra diferencia muy marcada se encuentra en el origen de los árboles. Mientras algunos parques actúan como refugios naturales al conservar una buena cantidad de flora nativa (como el parque PA_PFA), otros sectores están dominados casi por completo por especies introducidas o exóticas (como el parque P2_PM, con un 97.5% de flora extranjera). Esta mezcla desordenada demuestra que, en el pasado, se plantaron árboles con el único fin de adornar o dar sombra rápida, sin pensar en el clima. Esto representa un riesgo, ya que los árboles exóticos consumen más agua, rompen más banquetas y resisten menos los fuertes vientos o huracanes típicos de la región.

Al comparar las edades de los árboles, surge una situación de cuidado. Resulta muy positivo que la gran mayoría de los árboles jóvenes sean de especies nativas, lo cual garantiza que, en el futuro, los parques serán más resistentes y adaptables al clima. Sin embargo, en la actualidad, la mayor parte de la sombra y la frescura de los parques depende de los árboles maduros, y muchos de estos son de especies exóticas problemáticas. Esto significa que la ciudad depende temporalmente de árboles que pronto podrían enfermar o ser cortados por causar daños, dejando los parques sin sombra suficiente mientras los árboles jóvenes terminan de crecer.

El inventario muestra que los árboles urbanos en el Distrito I.2 Insurgentes son clave para la infraestructura verde local, pero también hay desigualdades en cómo se distribuyen, su composición y su relación con el entorno construido. Al registrar 1,784 árboles en 48 parques, se identificaron patrones que no se ven al analizar el arbolado de manera general. Analizar por parques y polígonos permitió reconocer diferencias internas importantes dentro del distrito.

Un hallazgo importante es que el Polígono 4 no tiene parques, lo que muestra una distribución desigual del espacio público con árboles. Los parques no solo son lugares de recreación, también ofrecen servicios ecosistémicos urbanos como regular



la temperatura, permitir la infiltración de agua de lluvia y mejorar el bienestar social (FAO, 2020; ONU-Hábitat, 2022). Por eso, la falta de estos espacios limita el acceso igualitario de la población a estos beneficios.

La composición de las plantas varía mucho entre parques. Aunque en todo el distrito hay muchas especies nativas, en algunos lugares predominan las especies introducidas. Esto sugiere que las decisiones de plantación no siempre han seguido los mismos criterios. Para la gestión del arbolado urbano, esto es importante porque la diversidad y el origen de las especies influyen en su adaptación al clima local, el mantenimiento necesario y la continuidad de los servicios ecosistémicos.

La gran cantidad de palmas, especialmente *Roystonea regia*, debe analizarse con cuidado. Aunque estas palmas dan identidad al paisaje, su estructura limita la capacidad de ofrecer servicios ecosistémicos en comparación con especies de copa más grande. Estudios sobre el arbolado urbano muestran que la captura de carbono, la reducción de la temperatura y la mejora de la calidad del aire dependen no solo del número de árboles, sino también de su tamaño, biomasa y cobertura (Nowak et al., 2018; IPCC, 2022).

La mayoría de los árboles son juveniles o maduros, lo que indica que el arbolado del distrito está creciendo activamente. Esto es una oportunidad para guiar su manejo desde etapas tempranas, con podas de formación, seguimiento de su salud y una buena selección de especies. Sin embargo, esto también muestra que no se deben hacer plantaciones como acciones aisladas. Para que los árboles cumplan su función ambiental a mediano y largo plazo, es necesario mantener y reponer ejemplares de forma continua.

La evaluación de la salud de los árboles muestra un panorama bastante positivo, ya que más del 70% está en buenas o excelentes condiciones. Esto significa que una parte importante del arbolado puede seguir ofreciendo servicios ambientales. Sin embargo, los casos de riesgo y deterioro no deben ignorarse, especialmente cuando están en espacios públicos. En los parques urbanos, un árbol en mal estado no



solo es un problema ambiental, sino que también puede afectar a los usuarios, las banquetas, el mobiliario y la infraestructura.

Los conflictos entre los árboles y la infraestructura urbana evidencian una falta de integración entre el diseño urbano y la planificación del arbolado. Este tipo de situación se ha documentado en numerosos estudios sobre infraestructura verde, en los que se señala que elegir mal las especies y no dejar suficiente espacio para su crecimiento afectan tanto al entorno construido como a los propios árboles (FAO, 2020). Los conflictos radiculares y las interferencias con las copas muestran que algunos árboles fueron plantados en espacios reducidos o sin considerar su desarrollo futuro. Esto confirma la necesidad de planificar la arborización urbana con criterios técnicos, considerando no solo la especie, sino también el tamaño adulto, el tipo de raíz, la amplitud de copa y la infraestructura cercana. De lo contrario, las intervenciones terminan siendo correctivas y costosas, en lugar de preventivas.

En resumen, los resultados muestran que el Distrito I.2 Insurgentes tiene un arbolado urbano valioso, pero su gestión es desigual. Hay parques con muchas especies nativas, árboles en buen estado y gran potencial ambiental, pero también hay espacios con muchas especies introducidas, problemas con la infraestructura y poca variedad vegetal. La estructura simple observada, con pocos arbustos y un solo tipo de vegetación dominante, difiere de los modelos de infraestructura verde que promueven la diversidad vertical para mejorar la biodiversidad urbana y la resiliencia ecológica (ONU-Hábitat, 2022).

Por lo tanto, el principal aporte del estudio no es solo contar árboles, sino crear una base técnica para guiar el manejo del arbolado urbano. La información obtenida puede ayudar a tomar decisiones sobre mantenimiento, reemplazo progresivo de especies, selección de árboles adecuados para nuevos espacios y priorización de parques con más conflictos o menos vegetación. En la planificación urbana, el inventario es una herramienta útil para integrar el arbolado en la infraestructura verde de Chetumal de forma más ordenada, funcional y sostenible.



6. CONCLUSIONES

Este estudio realizó un diagnóstico técnico y espacial del arbolado urbano en los parques del Distrito I.2 Insurgentes de Chetumal, Quintana Roo, usando trabajo de campo y herramientas de análisis geoespacial. Se logró caracterizar el estado del arbolado en aspectos taxonómicos, dasométricos y fitosanitarios, además de su relación con la infraestructura urbana. Esto ofrece una base técnica para su gestión.

La composición del arbolado mostró una distribución desigual entre los parques, y en varios de ellos predominan especies exóticas. Esto indica que antes no se aplicaron criterios técnicos uniformes para elegir las especies, lo que puede afectar la estabilidad ecológica y la adaptación al entorno local.

El análisis dasométrico y fitosanitario mostró que, aunque hay árboles en buen estado, también se encontraron ejemplares con daños estructurales o sanitarios. Esto puede representar riesgos para los usuarios y la infraestructura urbana, por lo que es necesario establecer mecanismos de monitoreo y mantenimiento regulares.

Uno de los principales hallazgos fue la existencia de conflictos entre el arbolado urbano y la infraestructura física, especialmente en banquetas, redes eléctricas y áreas con poco espacio para crecer. Estos problemas no se deben a los árboles, sino a una planificación urbana limitada que no consideró las características de crecimiento de las especies ni las restricciones del entorno.

El análisis espacial mostró que la distribución del arbolado es desigual entre los parques, lo que provoca diferencias en los servicios ecosistémicos que reciben las distintas zonas del distrito. Por eso, es importante incluir criterios de equidad ambiental en la planificación de los espacios públicos, sobre todo en ciudades como Chetumal, donde la vegetación ayuda a regular la temperatura.

Los resultados muestran que el arbolado urbano es una parte clave de la infraestructura verde y que su gestión efectiva requiere conocimientos técnicos sobre sus características, estado y distribución. El inventario elaborado es una herramienta esencial para tomar decisiones y pasar de acciones reactivas a estrategias de gestión basadas en evidencia.



Este estudio ofrece una base técnica para el Distrito I.2 Insurgentes, que las autoridades municipales pueden usar para planificar el mantenimiento, la reforestación y el diseño de espacios públicos sostenibles. Al integrar la información en una base de datos georreferenciada, se facilita su actualización y uso en la gestión urbana.

Sin embargo, la investigación tiene limitaciones metodológicas. Como se usó un muestreo intencional y no probabilístico para elegir los parques, los resultados no se pueden generalizar a todos los espacios públicos del distrito. Aun así, el censo total en cada parque seleccionado proporcionó información detallada y confiable sobre el arbolado en esos lugares.

Se reconoce la necesidad de realizar estudios que amplíen el análisis del arbolado urbano a otras zonas de la ciudad e incluyan variables sociales, la percepción ciudadana y la valoración económica de los servicios ecosistémicos. Esto ayudará a entender mejor el papel del arbolado urbano en la planificación y su aporte a la sostenibilidad urbana.

Referencias

Acuña-Simbaqueva, L., Rojas-Robles, R., & Romero, M. (2021). Mitigación de emisiones de carbono a través del arbolado urbano. *Ambiente & Sociedad*, 24, e0191. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200191vu2021L3AO>

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Island Press.



- Camacho Sandoval, Tonantzin, Magaña Rueda, Víctor Orlando, Ramos de Robles, Silvia Lizette, & Gran Castro, Juan Alberto. (2024). La vegetación como reguladora del clima urbano: el caso del Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Investigaciones geográficas*, (114), e60849. Epub 10 de diciembre de 2024. <https://doi.org/10.14350/rig.60849>
- Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI). (2005). *Guía para el diseño de áreas verdes en desarrollos habitacionales*. <https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2025/08/CONAFOVI.pdf>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). *Manual de campo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS)*. Gobierno de México. <https://snmf.cnf.gob.mx/documentos-metodologicos/>
- Congreso del Estado de Quintana Roo. (2022). *Ley de conservación, mantenimiento, protección y desarrollo del arbolado urbano del estado de Quintana Roo*. <https://documentos.congresoqroo.gob.mx/leyes/L186-XV-20171227-146.pdf>
- European Commission. (2013). *Building a green infrastructure for Europe*. https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana* (Estudio FAO: Montes No. 178). FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/56a86ed2-f6ab-4ee2-867e-04adee619d40/content>
- Fedenatur. (2014). *Infraestructuras verdes urbanas y periurbanas*. Federación EUROPARC. https://redeuroparc.org/system/files/shared/infraestructuras_verdes.pdf



- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016).
Guidelines on urban and peri-urban forestry (FAO Forestry Paper No. 178).
<https://www.fao.org/3/i6210e/i6210e.pdf>
- H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco. (2005). *Reglamento de parques, fuentes, jardines y áreas verdes del municipio de Othón P. Blanco*.
<https://www.opb.gob.mx/portal/gaceta-municipal/administracion/pages/ordenamientos/>
- H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco. (2020). *Reglamento de desarrollo urbano y construcción del municipio de Othón P. Blanco*.
<https://www.opb.gob.mx/portal/gaceta-municipal/administracion/pages/ordenamientos/>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Leal Elizondo, Carlos Eduardo, Leal Elizondo, Nelly, Alanís Rodríguez, Eduardo, Pequeño Ledezma, Miguel Ángel, Mora-Olivo, Arturo, & Buendía Rodríguez, Enrique. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(48), 252-270.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Matheny, N. P., & Clark, J. R. (1994). *A photographic guide to the evaluation of hazard trees in urban areas*. International Society of Arboriculture.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. Washington D.C.



<https://www.wri.org/research/millennium-ecosystem-assessment-ecosystems-and-human-well-being>

Morales Manilla, L.M., Hernández Magaña, A. I., Arizaga Pérez, S., Coba Pérez, P. C., García Martínez, C. B., Vargas Ramírez, N., Ramírez de Arellano, F. *Inventario del Arbolado Público Urbano de la Zona Metropolitana de Guadalajara*, Morelia, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México, 2018, 189 pp.

Nowak, D.J., Dwyer, J.F. (2000). Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. In: Kuser, J.E. (eds) *Handbook of Urban and Community Forestry in the Northeast*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4191-2_2

Nowak, D. J., et al. (2014). Tree and forest effects on air quality. *Environmental Pollution*, 193, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>

Nowak, D. J., et al. (2018). *i-Tree Eco User's Manual*. USDA Forest Service. https://www.itreetools.org/documents/240/Eco_Manual_v5.pdf

ONU-Hábitat. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the future of cities*. <https://unhabitat.org/wcr/>

Organización Meteorológica Mundial. (2023). *Estado del clima en América Latina y el Caribe en 2022*. [1322 State of the Climate in LAC 2022 es 0.pdf](#)

Organización Mundial de la Salud. (2016). *Urban green spaces and health*. A review of evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341>

Reyes Chan, L. E., Silva Poot, H. del S., & Vega Azamar, R. E. (2024). Diversidad y captura de CO₂ del arbolado del Parque Ecológico Zazil, Chetumal, Quintana Roo. *Decumanus. Revista Interdisciplinaria sobre Estudios Urbanos*, 13(13). <https://doi.org/10.20983/decumanus.2024.2.3>



- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (2019). *Manual de calles: Diseño vial para ciudades mexicanas*. Gobierno de México.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/405663/manual_de_calles_2019.pdf
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (2021). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, espacios públicos en los asentamientos humanos*. Diario Oficial de la Federación.
<https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5643417>
- Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo (SEMA). (2022). *Programa estatal de inventario y mapeo del arbolado urbano*. Gobierno del Estado de Quintana Roo.
https://peim-arbolado.semaqroo.gob.mx/2022/02/08/peim_arbolado_urbano/
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Programa Especial de Cambio Climático 2020–2024*. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/programa-especial-de-cambio-climatico-2020-2024>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemelä, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- World Health Organization: WHO. (2025, 22 agosto). La OMS y la OMM publican un nuevo informe y orientaciones para proteger a los trabajadores de la creciente sobrecarga calórica. *Organización Mundial de la Salud*.
<https://www.who.int/es/news/item/22-08-2025-who-wmo-issue-new-report-and-guidance-to-protect-workers-from-increasing-heat-stress>
- Fernández, M. P., & Vargas, A. (2011). La ciudad y los árboles: Conflicto entre arbolado e infraestructura. *Agronomía y forestal*, (43), 32-36.
https://www.academia.edu/attachments/59836725/download_file