



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Propuesta de selección de especies arbóreas para Santiago: integración de criterios de adaptación climática, eficiencia hídrica y compatibilidad urbana

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera

Trabajo de Tesina presentado como parte
de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero Forestal

JORGE ROBERTO SORDO SOLARI

VALDIVIA

2026

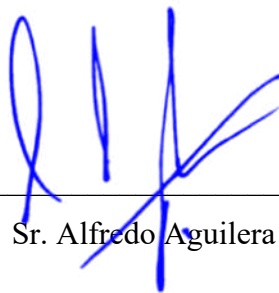
	Índice de Materias	Página
i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	AGRADECIMIENTOS	ii
iii	DEDICATORIA	iii
iv	RESUMEN	iv
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Importancia y justificación del estudio	2
1.3	Marco teórico	2
1.3.1	El arbolado urbano como componente de infraestructura verde	2
1.3.2	Servicios ecosistémicos y des-servicios del arbolado urbano	3
1.3.3	El clima mediterráneo semiárido de Santiago y sus implicancias para el arbolado	5
1.3.4	Adaptaciones fisiológicas de los árboles a condiciones de sequía	5
1.3.5	Selección de especies para arbolado urbano: criterios y metodologías	6
1.3.6	Criterios de selección relevantes para Santiago	6
1.3.7	Rol de las especies nativas	7
1.3.8	Marco institucional y político del arbolado urbano en Chile	7
1.3.9	Políticas regionales: el programa BROSTAR	8
1.4	Objetivos	8
1.4.1	Objetivo general	8
1.4.2	Objetivos específicos	9
2	MÉTODOS	9
2.1	Enfoque y alcance de la investigación	9
2.2	Área de estudio	10
2.2.1	Localización y características generales	10
2.2.2	Justificación de la selección de comunas	11
2.2.3	Condiciones climáticas y edáficas	12
2.3	Fuentes de información y técnicas de recolección de datos	12
2.3.1	Fuentes documentales municipales	12
2.3.2	Bases de datos estadísticas y cartográficas	13
2.3.3	Literatura científica y técnica	13
2.4	Variables de análisis	13
2.5	Procedimiento analítico	15
2.5.1	Análisis documental y caracterización por comuna	15
2.5.2	Análisis de composición de especies	16
2.5.3	Análisis del estado fitosanitario	16
2.5.4	Análisis de conflictos con infraestructura	16
2.5.5	Evaluación de criterios de selección	17
2.5.6	Análisis de tendencias climáticas	17
2.6	Limitaciones del estudio	17
3	RESULTADOS	18
3.1	Caracterización del arbolado urbano por comuna	18

3.1.1	Comuna de Maipú	18
3.1.2	Comuna Santiago Centro	19
3.1.3	Comuna de Las Condes	20
3.2	Análisis de conflictos con infraestructura urbana	21
3.3	Diagnóstico del estado fitosanitario	22
3.3.1	Análisis por comuna	22
3.3.2	Factores estructurales del deterioro	24
3.4	Análisis de tendencias climáticas	24
3.5	Evaluación multicriterio de especies arbóreas	26
3.5.1	Evaluación de especies presentes en las comunas	26
3.5.2	Evaluación de especies nativas propuestas	28
3.5.3	Síntesis de características por especie recomendada	29
3.6	Síntesis de hallazgos por comuna	29
4	DISCUSIÓN	30
4.1	Desigualdad socioeconómica y distribución del arbolado urbano	30
4.2	El desafío hídrico: entre la tendencia climática y la selección de especies	31
4.3	Conflictos con la infraestructura: un problema de planificación	32
4.4	Limitaciones del estudio y sugerencias para futuras investigaciones	33
4.5	Implicancias para la gestión municipal y las políticas públicas	33
4.6	Conclusiones	35
4.6.1	Diagnóstico del arbolado en Maipú, Santiago Centro y Las Condes	36
4.6.2	Evaluación del desempeño de especies según criterio	36
4.6.3	Brechas en la gestión municipal	36
4.6.4	Recomendaciones para la gestión municipal	37
5	REFERENCIAS	38

Calificación del Comité de Titulación

	Nota
Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera	6,5
Informante: Sr. Mario Meneses	6,2
Informante: Sr. Felipe Leiva	6,3

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Alfredo Aguilera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a Javier Vidal, amigo y precursor de esta tesis, quien influyó significativamente en la culminación de una etapa que permanecía inconclusa. Asimismo, expreso mi gratitud a Mario Meneses, por facilitar los caminos que permitieron desarrollar este trabajo, y a Alfredo Aguilera, quien me guió y apoyó en cada etapa del proceso de investigación.

De igual manera, agradezco profundamente a mi hija Paula, por sus consejos sobre cómo abordar el desarrollo de esta tesis y por su constante incentivo. Sin su ayuda y motivación, la realización de este trabajo no habría sido posible.

Finalmente, y de manera muy especial, agradezco a mi señora Carla, quien, como siempre, ha estado presente en cada uno de los desafíos de mi vida y, por supuesto, también en este trabajo, brindándome apoyo y ayuda en todo momento.

DEDICATORIA

A mis padres: Julieta Solari y José Sordo

RESUMEN

El presente estudio abordó la problemática del arbolado urbano en la ciudad de Santiago, caracterizada por la disminución de cobertura vegetal, el aumento del estrés hídrico asociado al clima mediterráneo semiárido y las desigualdades socioeconómicas en la distribución y gestión de las áreas verdes urbanas. La investigación tuvo como objetivo seleccionar y proponer especies arbóreas apropiadas para el arbolado urbano de Santiago mediante la integración de criterios técnicos de adaptación climática, eficiencia hídrica, comportamiento radicular y compatibilidad con la infraestructura urbana. Metodológicamente, se desarrolló una investigación descriptiva-comparativa con enfoque mixto, basada en análisis documental, revisión bibliográfica y evaluación multicriterio de especies arbóreas en las comunas de Maipú, Santiago Centro y Las Condes. Se analizaron variables como composición de especies, estado fitosanitario, conflictos con infraestructura y criterios técnicos de selección. Los resultados evidenciaron una marcada desigualdad en la densidad arbórea y cobertura vegetal entre comunas, observándose mejores condiciones de gestión y mantención en Las Condes respecto de Maipú y Santiago Centro. Asimismo, se identificó una predominancia de especies exóticas con altos requerimientos hídricos y elevada conflictividad radicular. La evaluación multicriterio determinó que las especies nativas del bosque esclerófilo, especialmente *Quillaja saponaria*, *Vachellia caven* y *Maytenus boaria*, presentaron el mejor desempeño en adaptación climática, bajo consumo hídrico y compatibilidad urbana. Se concluyó que la selección técnica de especies constituye una herramienta fundamental para mejorar la sostenibilidad del arbolado urbano y reducir conflictos con infraestructura, recomendándose fortalecer la planificación municipal, promover el uso de especies nativas y desarrollar políticas públicas orientadas a una distribución más equitativa de la infraestructura verde urbana.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La ciudad de Santiago experimenta un proceso de expansión urbana que ha transformado profundamente su paisaje original, reemplazando ecosistemas naturales por superficies selladas e infraestructura gris. Este proceso ha generado una pérdida significativa de cobertura vegetal, con consecuencias directas sobre la calidad de vida de sus habitantes. Según la Corporación Ciudades (2023), la cobertura vegetal urbana en Santiago disminuyó de un 44% en el año 2000 a un 38% en 2025, lo que representa una pérdida del 14% en dos décadas.

El problema adquiere particular relevancia cuando se considera el contexto climático de la ciudad. Santiago posee un clima mediterráneo semiárido, caracterizado por inviernos lluviosos y veranos largos, secos y calurosos. Los registros históricos de la Dirección Meteorológica de Chile (2022) indican que la precipitación media anual ha disminuido a razón de 7 mm por década en los últimos 157 años, tendencia que se ha intensificado en las últimas tres décadas alcanzando una reducción de 70 mm por década. Esta condición de estrés hídrico afecta directamente la supervivencia y el estado del arbolado urbano, especialmente cuando se utilizan especies no adaptadas a estas condiciones.

A esta problemática ambiental se suma una profunda desigualdad territorial. Estudios recientes han documentado un marcado "efecto de lujo" (luxury effect) en la distribución del arbolado urbano de Santiago: las comunas de mayores ingresos concentran una mayor cobertura arbórea y, además, una mayor abundancia y riqueza de especies nativas en comparación con las comunas de menores ingresos. Guevara et al. (2024) encontraron que, aunque la abundancia total de árboles no variaba significativamente entre niveles socioeconómicos, la densidad de especies nativas era marcadamente superior en las áreas de nivel socioeconómico alto (49,3 árboles nativos por hectárea) en comparación con las de nivel bajo (29,4 árboles nativos por hectárea). Esta disparidad implica que los beneficios ecosistémicos del arbolado, como la sombra, la regulación térmica y la mejora de la calidad del aire, no se distribuyen equitativamente entre la población.

1.2 Importancia y justificación del estudio

El arbolado urbano constituye un componente fundamental de la infraestructura verde de las ciudades, proporcionando múltiples servicios ecosistémicos que contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático. Como señalan Otero-Durán y Torres (2024), los sistemas de infraestructura verde configuran un sistema híbrido en el que interactúan elementos naturales y construidos, generando servicios de provisión, regulación y culturales, junto con posibles "des-servicios" asociados a una mala ubicación o a una selección inadecuada de especies. Entre los beneficios más relevantes se encuentran la disminución de la temperatura por efecto de sombra, la mejora de la calidad del aire, la regulación del escurrimiento de aguas lluvia y el aporte al bienestar psicológico de la población.

Sin embargo, la selección de especies arbóreas en Santiago ha respondido históricamente a criterios predominantemente estéticos u ornamentales, con escasa consideración de variables técnicas como el consumo hídrico, el comportamiento del sistema radicular o la resistencia a condiciones de estrés. Correa y de la Barrera (2014) documentaron que, en los parques urbanos del Área Metropolitana de Santiago, las especies exóticas representan el 64% de los individuos, alcanzando un 71% en los parques clasificados como urbanos. Esta dominancia de especies exóticas, muchas de ellas con altos requerimientos hídricos, resulta particularmente problemática en un contexto de creciente escasez de agua.

A nivel de políticas públicas, el Gobierno Regional Metropolitano ha implementado el programa BROTAR, que proyecta la plantación de 500.000 árboles para el año 2029, con énfasis en especies nativas. Esta iniciativa representa una oportunidad sin precedentes para revertir el déficit de arbolado urbano, pero también plantea un desafío significativo: la simple cantidad de árboles plantados no garantiza su supervivencia ni la provisión de servicios ecosistémicos si no existe una planificación técnica adecuada que considere la selección de especies apropiadas para cada contexto de plantación.

1.3 Marco teórico

1.3.1 El arbolado urbano como componente de infraestructura verde

El concepto de arbolado urbano ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, transitando desde una visión meramente ornamental hacia un enfoque sistémico que reconoce su papel

como componente estructural de la infraestructura verde de las ciudades. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2016) define el arbolado urbano en términos amplios, comprendiendo no solo los árboles de calles y parques, sino también los bosques urbanos, jardines públicos y privados, e incluso la vegetación arbórea presente en espacios periurbanos. Esta definición reconoce la continuidad ecológica entre distintos tipos de espacios verdes y su importancia para la provisión de servicios ecosistémicos a escala de paisaje.

Otero-Durán y Torres (2024) sitúan el arbolado urbano dentro del marco más amplio de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), estrategias reconocidas internacionalmente para abordar los desafíos del cambio climático en entornos urbanos. Desde esta perspectiva, el arbolado de calles y espacios públicos no constituye un mero adorno, sino un sistema híbrido en el que elementos naturales e infraestructura construida interactúan para generar beneficios ambientales, sociales y económicos. Sin embargo, estos mismos autores advierten que la provisión de servicios ecosistémicos no está garantizada; por el contrario, una selección inadecuada de especies o una ubicación deficiente puede generar "des-servicios", como daños a infraestructura, alergias o elevados costos de mantención.

1.3.2 Servicios ecosistémicos y des-servicios del arbolado urbano

1.3.2.1 Beneficios ambientales

Los árboles urbanos contribuyen a mitigar el efecto de isla de calor urbano mediante dos mecanismos principales: la provisión de sombra, que reduce la temperatura superficial, y la evapotranspiración, que enfría el aire circundante. Este efecto de enfriamiento no solo mejora el confort térmico de los habitantes, sino que también reduce la demanda energética asociada a sistemas de refrigeración, con las consiguientes reducciones en emisiones de gases de efecto invernadero.

Adicionalmente, el arbolado urbano actúa como filtro de contaminantes atmosféricos, capturando material particulado en la superficie foliar y absorbiendo gases contaminantes como el dióxido de nitrógeno y el ozono troposférico. La capacidad de captura varía significativamente entre especies, dependiendo de características como la densidad foliar, la textura de la superficie de las hojas y la altura del dosel.

En el ámbito hídrico, los árboles urbanos contribuyen a la regulación del escurrimiento superficial. El dosel intercepta una proporción de la precipitación, reduciendo el volumen de agua que alcanza el suelo, mientras que los sistemas radiculares mejoran la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. En ciudades con sistemas de alcantarillado combinado, como Santiago, este servicio resulta particularmente valioso para prevenir inundaciones urbanas.

1.3.2.2 Beneficios sociales y de bienestar

La presencia de arbolado en espacios urbanos tiene efectos documentados sobre la salud física y mental de la población. Estudios en diversas ciudades han demostrado que la exposición a espacios verdes arbolados se asocia con niveles reducidos de estrés, mejora del estado de ánimo y mayor propensión a la actividad física al aire libre.

A nivel de barrio, la presencia de árboles bien mantenidos aumenta el valor de las propiedades y fomenta la cohesión social. En Santiago, las áreas con mayor cobertura arbórea tienden a concentrar mayores inversiones en mantenimiento y cuidado, lo que refuerza un círculo virtuoso que, lamentablemente, no opera con la misma intensidad en todas las comunas.

1.3.2.3 Conflictos y des-servicios

El mismo estudio que documenta los beneficios del arbolado urbano advierte sobre la necesidad de considerar también los potenciales conflictos. Los des-servicios más frecuentes incluyen:

- Daños a infraestructura urbana: Sistemas radiculares superficiales que levantan veredas, soleras y pavimentos, generando riesgos para peatones y costos de reparación.
- Interferencia con redes aéreas y subterráneas: Crecimiento de copas que entra en contacto con cableado eléctrico o telefónico, y raíces que penetran tuberías de agua o alcantarillado.
- Problemas sanitarios: Producción de polen alergénico, caída de frutos o flores que ensucian el espacio público, o ramas quebradizas que representan riesgo de caída.
- Costos de mantención: La necesidad de podas regulares, riego suplementario y control de plagas implica inversiones que no todas las municipalidades pueden afrontar en igual medida.

La gestión de estos des-servicios requiere una planificación cuidadosa que anticipe los conflictos potenciales en lugar de enfrentarlos una vez que ya se han manifestado.

1.3.3 El clima mediterráneo semiárido de Santiago y sus implicancias para el arbolado

1.3.3.1 Caracterización climática y tendencias

El clima de Santiago se clasifica como mediterráneo semiárido (Csa en la clasificación de Köppen), caracterizado por inviernos templados con precipitaciones concentradas entre mayo y agosto, y veranos largos, secos y calurosos. La estación seca se extiende típicamente por 5 a 7 meses, generando un déficit hídrico significativo que condiciona la supervivencia de la vegetación que no cuenta con riego suplementario.

La tendencia observada en las últimas décadas indica un agravamiento de estas condiciones. Según registros de la Dirección Meteorológica de Chile (2022), la precipitación media anual en la estación de Quinta Normal ha disminuido consistentemente, con una aceleración de la tasa de disminución en los últimos 30 años. Esta tendencia se enmarca en la denominada "megasequía" que afecta a Chile central desde 2010, caracterizada por precipitaciones por debajo del promedio histórico y temperaturas en ascenso.

1.3.4 Adaptaciones fisiológicas de los árboles a condiciones de sequía

Las especies arbóreas que habitan en climas mediterráneos semiáridos han desarrollado un conjunto de adaptaciones morfológicas y fisiológicas para tolerar el estrés hídrico. Entre las más relevantes se encuentran:

- Estructuras foliares: Hojas de tamaño reducido, con cutícula gruesa y cerosa que disminuye la pérdida de agua por transpiración. Estomas hundidos o cubiertos de tricomas (pelos) que reducen la tasa de transpiración sin impedir el intercambio gaseoso.
- Sistemas radiculares: Desarrollo de raíces pivotantes profundas que pueden acceder a napas freáticas, o sistemas radiculares extensos que maximizan la captación de agua en un amplio volumen de suelo.
- Mecanismos fisiológicos: Cierre estomático durante las horas de mayor radiación, ajuste osmótico para mantener la turgencia celular, y en especies esclerófilas, hojas coriáceas que mantienen su funcionalidad durante períodos prolongados de sequía.

Estas adaptaciones son especialmente relevantes en el contexto de Santiago, donde el riego suplementario no siempre es posible (especialmente en comunas con menores recursos) y las precipitaciones son cada vez más escasas e impredecibles.

1.3.5 Selección de especies para arbolado urbano: criterios y metodologías

1.3.5.1 El principio "árbol adecuado en el lugar adecuado"

La literatura especializada coincide en que el principal determinante del éxito del arbolado urbano es la adecuación entre la especie seleccionada y las condiciones específicas del sitio de plantación. Este principio, conocido como "right tree in the right place", implica considerar no solo las características de la especie (tamaño adulto, forma de copa, requerimientos hídricos, tipo de raíz), sino también las limitaciones del sitio de plantación (ancho de vereda, presencia de cableado, tipo de suelo, exposición solar).

Otero-Durán y Torres (2024) proponen una metodología multicriterio para la selección de especies que integra variables como la amplitud de copa, la profundidad del sistema radicular, la adaptabilidad a distintas zonas de humedad, y el origen nativo o exótico de la especie. Esta aproximación permite evaluar de manera sistemática las especies candidatas y seleccionar aquellas que maximizan los beneficios mientras minimizan los conflictos.

1.3.6 Criterios de selección relevantes para Santiago

Con base en la literatura revisada y las condiciones particulares de Santiago, los criterios de selección más relevantes incluyen:

1. Consumo hídrico: Especies de bajo requerimiento hídrico que puedan sobrevivir con precipitaciones naturales o riego suplementario mínimo.
2. Compatibilidad radicular: Sistemas radiculares profundos no agresivos que no comprometan veredas, tuberías o cimientos.
3. Resistencia a condiciones urbanas: Tolerancia a suelos compactados, contaminación atmosférica y podas regulares.
4. Seguridad: Ausencia de espinas, ramas frágiles, o frutos tóxicos o de gran tamaño que puedan representar riesgos.

5. Servicios ecosistémicos: Capacidad de proveer sombra adecuada, capturar contaminantes y albergar fauna nativa.

1.3.7 Rol de las especies nativas

Un hallazgo consistente en la literatura es la importancia de promover el uso de especies nativas en el arbolado urbano. En Santiago, Correa y de la Barrera (2014) identificaron que, aunque las especies exóticas dominan en abundancia (64% del total de individuos en parques urbanos), especies nativas como *Quillaja saponaria* (quillay) y *Vachellia caven* (espino) se encuentran entre las más frecuentes y presentan atributos ecológicos que las hacen especialmente adecuadas para el contexto local.

Las especies nativas presentan ventajas adicionales: están adaptadas a las condiciones climáticas locales, requieren menos riego suplementario una vez establecidas, proporcionan hábitat y alimento para la fauna nativa, y contribuyen a la conservación de la identidad biológica regional.

Sin embargo, Guevara et al. (2024) documentaron que en Santiago las especies nativas son más abundantes en las áreas de mayor nivel socioeconómico, lo que refleja una "desigualdad ecológica" que debe ser abordada mediante políticas públicas que promuevan su uso también en comunas con menos recursos.

1.3.8 Marco institucional y político del arbolado urbano en Chile

1.3.8.1 Responsabilidades municipales

A nivel nacional, los municipios son los responsables directos de la administración, construcción y mantenimiento de las áreas verdes urbanas, incluido el arbolado de calles, plazas y parques públicos. Esta responsabilidad se ejerce en el marco de sus planes reguladores comunales y sus respectivas ordenanzas de aseo y ornato.

Sin embargo, existe una marcada heterogeneidad en la capacidad institucional y financiera de las distintas municipalidades para cumplir con estas responsabilidades. Esta heterogeneidad se traduce directamente en diferencias en la calidad del arbolado: comunas con mayores ingresos pueden mantener inventarios actualizados, implementar programas de riego tecnificado y reemplazar especies

problemáticas, mientras que aquellas con menores recursos dependen de programas puntuales sin continuidad en el tiempo.

1.3.9 Políticas regionales: el programa BROSTAR

El programa BROSTAR del Gobierno Regional Metropolitano representa el esfuerzo más ambicioso hasta la fecha para incrementar la cobertura arbórea de Santiago. Con una meta inicial de 30.000 árboles nativos para 2025 (superada alcanzando 33.000 ejemplares), el programa proyecta llegar a 500.000 árboles plantados para 2029. Este programa se enmarca en una estrategia más amplia de enfrentar la crisis climática y reducir las desigualdades territoriales en acceso a áreas verdes.

No obstante, la efectividad del programa a largo plazo dependerá no solo de la cantidad de árboles plantados, sino de la calidad de la planificación que los sustente. Una plantación masiva sin criterios técnicos adecuados puede generar conflictos futuros y altas tasas de mortalidad, frustrando los objetivos del programa. El presente trabajo busca precisamente contribuir con herramientas que permitan que este tipo de iniciativas se ejecuten con el máximo rigor técnico.

El presente estudio se justifica, por tanto, en la necesidad de proporcionar una herramienta técnica que oriente a las municipalidades en la selección de especies arbóreas, integrando criterios de adaptación climática, eficiencia hídrica y compatibilidad con la infraestructura urbana. Esta orientación resulta especialmente relevante para comunas con recursos limitados, que no cuentan con el mismo nivel de asesoría técnica especializada que aquellas de mayores ingresos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Seleccionar y proponer especies arbóreas apropiadas para el arbolado urbano de la ciudad de Santiago, mediante la integración de criterios técnicos de adaptación al clima mediterráneo semiárido, eficiencia en el uso del agua, comportamiento del sistema radicular y compatibilidad con la infraestructura urbana.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el estado actual del arbolado urbano en tres comunas representativas de la ciudad de Santiago (Maipú, Santiago Centro y Las Condes), considerando variables de composición de especies, estado fitosanitario y conflictos con infraestructura urbana.
2. Evaluar y comparar el desempeño de especies arbóreas nativas y exóticas presentes en las comunas estudiadas, en función de su requerimiento hídrico, agresividad radicular, resistencia a plagas y capacidad de provisión de sombra.
3. Identificar las principales brechas en la gestión municipal del arbolado urbano asociadas a la disponibilidad de recursos y capacidades técnicas.
4. Formular lineamientos técnicos para la selección, establecimiento y manejo de especies arbóreas en espacios urbanos, adaptados a las condiciones climáticas y socioeconómicas de la ciudad de Santiago

2. MÉTODOS

2.1 Enfoque y alcance de la investigación

El estudio correspondió a una investigación de carácter descriptivo - comparativo con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), orientada a generar una propuesta técnica para la selección de especies arbóreas en zonas urbanas de Santiago. El alcance del estudio es propositivo, toda vez que no solo diagnostica la situación actual del arbolado en tres comunas representativas, sino que formuló lineamientos y recomendaciones aplicables por parte de las municipalidades.

El trabajo se estructuró en cuatro fases metodológicas sucesivas:

1. Fase I: Revisión bibliográfica y documental para la construcción del marco teórico y la definición de criterios de selección.
2. Fase II: Diagnóstico del arbolado urbano en tres comunas de Santiago, mediante análisis de fuentes secundarias (catastros, planes municipales, estudios previos).
3. Fase III: Evaluación multicriterio de especies arbóreas, considerando variables de adaptación climática, requerimientos hídricos y compatibilidad urbana.
4. Fase IV: Formulación de lineamientos técnicos para la selección y manejo del arbolado urbano.

2.2 Área de estudio

2.2.1 Localización y características generales

El estudio se desarrolló en la ciudad de Santiago, Región Metropolitana de Chile, específicamente en tres comunas seleccionadas por sus diferencias socioeconómicas y de cobertura arbórea: Maipú, Santiago Centro y Las Condes (cuadro 1). La figura 1 presenta la ubicación relativa de estas comunas dentro del Área Metropolitana de Santiago.



Figura 1: Ubicación de las comunas de Santiago en el área metropolitana.

Cuadro 1. Características generales de las comunas seleccionadas.

Característica	Maipú	Santiago	Las Condes
Superficie (km ²)	138	23	99
Densidad arbórea (árboles/ha)	31	38	120
Cobertura vegetal (%)	9,5	11,4	37,3
Áreas verdes por habitante (m ²)	3,5	n/d	9,7
Nivel socioeconómico predominante	Medio-bajo	Medio	Alto

*Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2024), MINVU-DITEC (2020) y MMA (2016). *

2.2.2 Justificación de la selección de comunas

La selección de estas tres comunas obedeció a un muestreo intencionado o por criterio, fundamentado en los siguientes criterios:

1. Contraste socioeconómico: Las Condes representa comunas de altos ingresos, Maipú de ingresos medios-bajos, y Santiago Centro un caso intermedio con alta densidad de infraestructura consolidada.
2. Disponibilidad de información: Las tres comunas cuentan con catastros o estudios previos que permiten el análisis comparativo.
3. Heterogeneidad en cobertura arbórea: Las diferencias en densidad arbórea (31 a 120 árboles/ha) permiten analizar cómo la gestión municipal influye sobre el estado del arbolado.
4. Representatividad geográfica: Las tres comunas se ubican en distintas zonas del Área Metropolitana (poniente, centro y oriente), abarcando diferentes condiciones de suelo y microclima.

Este tipo de muestreo intencionado ha sido ampliamente utilizado en estudios de arbolado urbano para capturar la variabilidad asociada a gradientes socioeconómicos (Guevara et al 2024; Reyes-Paecke & Figueroa Aldunate 2010).

2.2.3 Condiciones climáticas y edáficas

El clima de Santiago se clasifica como mediterráneo semiárido (Csa), según la clasificación de Köppen, con precipitaciones concentradas en invierno (mayo-agosto) y una estación seca de 5 a 7 meses. Los análisis de tendencias históricas se basaron en registros de la estación meteorológica de Quinta Normal (1866-2022), proporcionados por la Dirección Meteorológica de Chile.

En cuanto a los suelos, la comuna de Las Condes presenta una heterogeneidad edáfica asociada a su condición precordillerana, con sectores de suelo aluvial en la zona baja (Apoquindo-Golf), suelos de textura media en sectores intermedios (Padre Hurtado-Bilbao) y suelos rocosos y delgados en la zona alta (San Carlos de Apoquindo). La comuna de Santiago Centro se caracteriza por suelos urbanos altamente compactados y con baja materia orgánica, mientras que Maipú presenta suelos de origen aluvial con grados variables de compactación asociados a la antigüedad del desarrollo urbano.

2.3 Fuentes de información y técnicas de recolección de datos

El estudio se basó exclusivamente en fuentes secundarias de información, dado su alcance propositivo y la disponibilidad de catastros y estudios previos en las comunas seleccionadas. Las fuentes consultadas se clasificaron en tres categorías:

2.3.1 Fuentes documentales municipales

Se realizó una revisión sistemática de los siguientes documentos para cada comuna:

- Planes reguladores comunales (actualizaciones 2024-2025).
- Ordenanzas municipales sobre áreas verdes y arbolado urbano.
- Planes de arbolado urbano y programas de plantación (incluyendo el programa BROSTAR del GORE).
- Catastros de arbolado urbano cuando estuvieran disponibles (solo en el caso de Las Condes se identificó un inventario georreferenciado).

2.3.2 Bases de datos estadísticas y cartográficas

Se consultaron las siguientes fuentes:

- Instituto Nacional de Estadísticas (INE): Resultados del Censo 2024 para superficie y densidad poblacional por comuna.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU): División Técnica de Estudios y Fomento Habitacional (DITEC), específicamente el documento "Arbolado Urbano como elemento estructurante del paisaje natural urbano" (2020).
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA): Informe del Estado del Medio Ambiente en Chile (2016).
- Dirección Meteorológica de Chile: Registros históricos de precipitación 1866-2022.

2.3.3 Literatura científica y técnica

Se revisaron artículos científicos indexados sobre arbolado urbano en Santiago, destacando:

- Hernández (2008) sobre la situación del arbolado urbano en Santiago.
- Martínez Rojas (2005) sobre evaluación del arbolado urbano y estado fitosanitario.
- Reyes-Paecke & Figueroa Aldunate (2010) sobre distribución de áreas verdes en Santiago.
- Guevara et al. (2024) sobre disparidades socioeconómicas en diversidad del bosque urbano.

Adicionalmente, se consultaron manuales técnicos de la CONAF sobre manejo de arbolado urbano y el Manual de Arbolado Urbano del programa BROSTAR (GORE 2024).

2.4 Variables de análisis

Para el diagnóstico del arbolado urbano y la posterior evaluación de especies, se definieron las variables que se indican en las cuadro 2 y 3:

Cuadro 2. Variables de diagnóstico del arbolado existente

Variable	Descripción	Fuente de datos
Composición de especies	Identificación de especies presentes y clasificación en nativas/exóticas	Catastros municipales, Hernández (2008)
Estado fitosanitario	Condición sanitaria (bueno, regular, malo) y presencia de plagas/enfermedades	Martínez Rojas (2005), catastros
Conflictos con infraestructura	Levantamiento de veredas, interferencia con cableado aéreo y redes subterráneas, tamaño de alcorques	Planes reguladores, observaciones documentadas
Gestión municipal	Existencia de inventarios, planes de poda, programas de plantación y reemplazo de especies	Documentos municipales

Cuadro 3. Variables para evaluación de especies

Variable	Definición operativa	Categorías
Consumo hídrico	Requerimiento de agua para supervivencia en condiciones de clima mediterráneo semiárido	Bajo (1), Medio (2), Alto (3)
Agresividad radicular	Potencial del sistema radicular de dañar infraestructura urbana (veredas, tuberías)	Baja (1), Media (2), Alta (3) [inversa: menor puntaje es mejor]
Resistencia a plagas	Tolerancia a plagas y enfermedades comunes en el arbolado urbano de Santiago	Baja (1), Media (2), Alta (3)
Capacidad de sombra	Potencial de la copa para proveer sombra y regulación térmica	Baja (1), Media (2), Alta (3)
Requerimiento de mantención	Necesidad de podas, riego suplementario y otras intervenciones	Alto (1), Medio (2), Bajo (3) [inversa: menor puntaje es mejor]

La escala de valoración (1 a 3) fue definida con base en la literatura especializada sobre características de especies arbóreas para climas mediterráneos y semiáridos (Azcárate et al 2019; Otero-Durán & Torres 2024), complementada con observaciones documentadas para Santiago.

Para la construcción de la Cuadro de especies recomendadas (cuadro 11), los puntajes asignados a cada variable fueron determinados mediante una combinación de:

- a) Revisión bibliográfica de las tolerancias ecológicas de cada especie (CONAF 2014; FAO 2016).
- b) Análisis de registros de comportamiento en el arbolado urbano de Santiago documentados en estudios previos (Hernández 2008; Martínez Rojas 2005).
- c) Criterio experto del investigador, basado en su formación en ingeniería forestal, para la integración de la información disponible.

2.5 Procedimiento analítico

El procesamiento y análisis de la información recopilada se organizó por comuna, siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación.

2.5.1 Análisis documental y caracterización por comuna

Para cada una de las tres comunas seleccionadas, se extrajo y sistematizó la siguiente información a partir de las fuentes documentales:

- Planes comunales existentes (actuales y proyectados).
- Programas de plantación (alianzas CONAF, participación en BROSTAR).
- Instrumentos de gestión (ordenanzas, catastros).

Esta información se organizó en fichas resumen por comuna, identificando las principales fortalezas y debilidades en la gestión del arbolado.

2.5.2 Análisis de composición de especies

A partir de los catastros y estudios disponibles para cada comuna, se elaboraron listados de especies arbóreas presentes, clasificándolas en nativas y exóticas. Dado que no todas las comunas contaban con catastros completos actualizados (solo Las Condes disponía de un inventario georreferenciado), se complementó la información con el estudio de Hernández (2008) para establecer proporciones aproximadas por comuna.

Para el caso de la comuna de Santiago, se utilizó la información de Martínez Rojas (2005) complementada con datos del MINVU-DITEC (2020). Para Maipú, se recurrió al mismo estudio de Martínez Rojas (2005), que incluyó un censo de miles de árboles. Para Las Condes, se utilizaron los catastros municipales declarados en su plan regulador (2024).

2.5.3 Análisis del estado fitosanitario

El estado fitosanitario fue analizado a partir de la información disponible en Martínez Rojas (2005) para las comunas de Santiago y Maipú. Este estudio clasificó el estado sanitario de los árboles censados en tres categorías: bueno, regular y malo. Para la comuna de Las Condes, se recurrió a la información declarada en su plan regulador y a observaciones documentadas sobre la existencia de programas de manejo fitosanitario.

Adicionalmente, se consideraron los factores de estrés documentados en la literatura para el arbolado de Santiago, como la compactación de suelos, el estrés hídrico estival y la contaminación atmosférica (Hernández 2008; Correa & de la Barrera 2014).

2.5.4 Análisis de conflictos con infraestructura

Para la identificación y categorización de conflictos entre el arbolado y la infraestructura urbana (veredas, cableado aéreo, redes subterráneas), se utilizó la información contenida en los planes reguladores comunales y en estudios de caso documentados en la literatura. Los conflictos fueron clasificados por tipo (radicular, aéreo, subterráneo) y su frecuencia fue calificada como "alta", "media" o "baja" según lo reportado para cada comuna.

Este tipo de análisis de conflictividad es estándar en diagnósticos de arbolado urbano, como se documenta en estudios realizados en otras ciudades latinoamericanas (Delgado et al 2021).

2.5.5 Evaluación de criterios de selección

Para la evaluación de especies candidatas (tanto las presentes en las comunas como otras especies nativas propuestas), se construyó una matriz multicriterio que integró las cinco variables ya definidas. La selección de especies a evaluar consideró:

1. Las especies más recurrentes en el arbolado de las tres comunas estudiadas (cuadro 10).
2. Especies nativas del bosque esclerófilo que presentan adaptaciones al clima mediterráneo (*Quillaja saponaria*, *Vachellia caven*, *Peumus boldus*, *Maytenus boaria*, *Prosopis chilensis*).
3. Especies exóticas ornamentalmente valoradas, pero con potenciales conflictos.

La asignación de puntajes (1=desfavorable a 3=favorable) se realizó mediante la metodología descrita en Azcárate et al. (2019) para la selección de especies de arbolado en función de su desempeño ambiental y compatibilidad urbana, adaptada a las condiciones de Santiago.

2.5.6 Análisis de tendencias climáticas

Para contextualizar las condiciones de estrés hídrico que afectan el arbolado urbano, se analizaron los registros históricos de precipitación de la estación meteorológica de Quinta Normal (1866-2022). Los datos fueron procesados para calcular:

- Promedios por periodos climatológicos estándar (1961-1990, 1981-2010, 1991-2020).
- Tendencia lineal de precipitación por década.
- Déficit respecto a promedios históricos.

Este análisis se realizó siguiendo la metodología empleada por la Dirección Meteorológica de Chile (2022) y ha sido incluido para fundamentar la necesidad de priorizar especies de bajo consumo hídrico.

2.6 Limitaciones del estudio

Se reconocieron las siguientes limitaciones metodológicas:

1. Dependencia de fuentes secundarias: El diagnóstico se basó en catastros y estudios existentes, cuya calidad, actualización y nivel de detalle varían entre comunas. La comuna de Las Condes cuenta con información más detallada que Maipú y Santiago, lo que podría introducir un sesgo en el análisis comparativo.
2. Ausencia de trabajo de campo: No se realizaron mediciones directas ni censos primarios, por tratarse de un estudio de alcance propositivo con recursos limitados. Futuras investigaciones podrían complementar este diagnóstico con levantamientos en terreno.
3. Heterogeneidad en fuentes de información: Los estudios de Martínez Rojas (2005) y Hernández (2008) tienen más de una década de antigüedad, lo que puede no reflejar cambios recientes en la gestión del arbolado, especialmente en comunas que han implementado programas de renovación.
4. Subjetividad en asignación de puntajes: Si bien la matriz multicriterio se construyó con base en literatura especializada y criterio técnico, la asignación de valores (1,2,3) conlleva un grado de subjetividad inherente a este tipo de metodologías. Se recomienda que en aplicaciones específicas estos puntajes sean validados o ajustados por equipos profesionales especializados.

3. RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los hallazgos derivados del análisis documental y la evaluación multicriterio realizada sobre el arbolado urbano de las comunas de Maipú, Santiago Centro y Las Condes. Los resultados se organizan en cinco secciones: (i) caracterización del arbolado por comuna, (ii) análisis de conflictos con infraestructura urbana, (iii) diagnóstico del estado fitosanitario, (iv) análisis de tendencias climáticas como factor condicionante, y (v) evaluación multicriterio de especies arbóreas.

3.1 Caracterización del arbolado urbano por comuna

3.1.1 Comuna de Maipú

La comuna de Maipú con una superficie de 138 km² y una densidad arbórea de 31 árboles por hectárea, lo que representa una cobertura vegetal del 9,5% (Instituto Nacional de Estadísticas 2024; Ministerio de Vivienda y Urbanismo, División Técnica de Estudios y Fomento Habitacional 2020). Esta cifra se encuentra significativamente por debajo del promedio de la ciudad y muy lejos de los 10 m² de área verde por habitante recomendados por el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano (2017).

En cuanto a la composición, las especies exóticas predominan ampliamente sobre las nativas; aproximadamente el 80% corresponde a especies exóticas (Criollo et al 2016). Las especies más frecuentes, según catastros disponibles, se presentan en la cuadro 4.

Cuadro 4. Especies arbóreas presentes en la comuna de Maipú.

Categoría	Especie	Nombre común
Exóticas	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Acacia blanca / Falsa acacia
Exóticas	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar
Exóticas	<i>Platanus orientalis</i>	Plátano de sombra
Exóticas	<i>Acer negundo</i>	Acer común
Exóticas	<i>Prunus cerasifera</i>	Ciruelo de flor
Nativas	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay
Nativas	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén

Fuente: Elaboración propia a partir de catastros municipales y Martínez Rojas (2005).

La comuna de Maipú mantiene una alianza con la Corporación Nacional Forestal y participa activamente en el programa BROTAR del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (Corporación Nacional Forestal & Ilustre Municipalidad de Maipú 2025; Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2024).

3.1.2 Comuna de Santiago Centro

La comuna de Santiago Centro, con una superficie de 23 km², presenta una densidad arbórea de 38 árboles por hectárea y una cobertura vegetal del 11,4% (Instituto Nacional de Estadísticas 2024; Ministerio de Vivienda y Urbanismo, División Técnica de Estudios y Fomento Habitacional 2020). Es la comuna con mayor superficie sellada y menor proporción de espacios permeables de las tres analizadas, lo que genera condiciones adversas para el desarrollo del arbolado.

Como se muestra en la cuadro 5, el arbolado urbano de Santiago Centro presenta un predominio de especies exóticas, cercano al 80% del total arbóreo (Criollo et al 2016).

Cuadro 5. Especies arbóreas presentes en la comuna de Santiago Centro.

Categoría	Especie	Nombre común
Exóticas	<i>Prunus cerasifera</i>	Ciruelo de flor
Exóticas	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Falsa acacia
Exóticas	<i>Acer negundo</i>	Acer común
Exóticas	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar
Exóticas	<i>Platanus orientalis</i>	Plátano de sombra
Nativas	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay
Nativas	<i>Vachellia caven</i>	Espino
Nativas	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén
Nativas	<i>Cryptocarya alba</i>	Peumo

Fuente: Elaboración propia a partir de catastros municipales y Hernández (2008).

La comuna participa en el programa BROTAR desde su inicio y, desde 2012, cuenta con un plan de manejo que contempla el catastro del arbolado existente, el reemplazo de ejemplares en riesgo y podas preventivas (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2024; Ilustre Municipalidad de Santiago 2025).

3.1.3 Comuna de Las Condes

La comuna de Las Condes con una superficie de 99 km² y destaca por su alta densidad arbórea de 120 árboles por hectárea, equivalente a una cobertura vegetal del 37,3% (Instituto Nacional de Estadísticas 2024; Ministerio de Vivienda y Urbanismo, División Técnica de Estudios y Fomento Habitacional 2020). Esta cifra es aproximadamente cuatro veces superior a la de Maipú y más del triple que la de Santiago Centro, lo que refleja una marcada desigualdad en la distribución del arbolado urbano.

El cuadro 6 presenta las especies identificadas en la comuna. Aunque las especies exóticas también predominan en términos absolutos, se observa una mayor presencia y diversidad de especies nativas en comparación con las otras dos comunas.

Cuadro 6. Especies arbóreas presentes en la comuna de Las Condes.

Categoría	Especie	Nombre común
Exóticas	<i>Acer negundo</i>	Arce negundo
Exóticas	<i>Platanus orientalis</i>	Plátano oriental
Exóticas	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar
Exóticas	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Acacia blanca
Exóticas	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacarandá
Nativas	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay
Nativas	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén
Nativas	<i>Vachellia caven</i>	Espino
Nativas	<i>Peumus boldus</i>	Boldo
Nativas	<i>Schinus molle</i>	Pimiento

*Fuente: Elaboración propia a partir del Plan Regulador Comunal de Las Condes (2024) *.

Las Condes es la única de las tres comunas que cuenta con un inventario georreferenciado del arbolado, una ordenanza municipal específica que regula su manejo, y un plan anual de plantación, podas técnicas y extracción de ejemplares problemáticos (Ilustre Municipalidad de Las Condes 2024).

3.2 Análisis de conflictos con infraestructura urbana

Los conflictos entre el arbolado y la infraestructura urbana constituyen uno de los principales problemas en la gestión del arbolado urbano en Santiago. El cuadro 7 presenta un resumen comparativo de los principales tipos de conflictos identificados en las tres comunas.

Cuadro 7. Conflictos con infraestructura urbana por comuna.

Tipo de conflicto	Maipú	Santiago Centro	Las Condes
Levantamiento de veredas	Alto	Alto	Medio
Interferencia con cableado aéreo	Alto	Medio-alto	Bajo
Interferencia con redes subterráneas	Medio	Alto	Bajo
Alcorques subdimensionados	Alto	Alto	Medio
Daños a señalética	Bajo	Medio	Bajo

**Fuente: Elaboración propia a partir de planes reguladores comunales (2024-2025). **

Las especies más frecuentemente asociadas a conflictos radiculares son *Platanus orientalis* (Plátano oriental), *Acer negundo* (Acer) y *Robinia pseudoacacia* (Acacia). Estas especies desarrollan raíces superficiales y vigorosas que, al ser plantadas en alcorques reducidos o sin barreras anti-raíz, levantan veredas y soleras, generando desniveles peligrosos para los peatones.

En el caso de la comuna de Santiago Centro, los conflictos se ven agravados por la alta densidad de infraestructura subterránea (redes de agua potable, alcantarillado, gas, electricidad) y la estrechez de las veredas, características del centro histórico y sus alrededores.

Por el contrario, la comuna de Las Condes presenta menores niveles de conflicto, lo que se atribuye a tres factores principales: (i) uso predominante de especies con raíces profundas y no agresivas, (ii) veredas de mayor ancho que permiten alcorques dimensionados adecuadamente, y (iii) soterramiento de cableado eléctrico en sectores residenciales de altos ingresos.

3.3 Diagnóstico del estado fitosanitario

3.3.1 Análisis por comuna

El estado fitosanitario del arbolado presenta marcadas diferencias entre las comunas. El cuadro 8 sintetiza los principales hallazgos.

Cuadro 8. Estado fitosanitario del arbolado por comuna.

Indicador	Maipú	Santiago Centro	Las Condes
Condición general	Medio-bajo	Medio-crítico	Medio-alto
Árboles en estado regular	45,6%	No disponible	No disponible
Árboles en mal estado	31,8%	No disponible	No disponible
Principal factor de estrés	Hídrico (estival)	Compactación de suelos + contaminación	No aplica (controlado)
Existencia de programa fitosanitario	No	Limitado	Sí

**Fuente: Elaboración propia a partir de Martínez Rojas (2005) y catastros municipales*.*

En el cuadro 8 no se reportan porcentajes específicos de árboles en estado regular y malo para las comunas de Santiago Centro y Las Condes. Sin embargo, la literatura permite inferir comparativamente que Santiago Centro presentaría una condición fitosanitaria intermedia, mientras que Las Condes evidenciaría mejores condiciones de manejo y estado sanitario del arbolado urbano.

Comuna de Maipú: El estudio de Martínez Rojas (2005) sobre miles de árboles censados por la Universidad de Chile arrojó que un 45,6% se encontraba en condición sanitaria regular y un 31,8% en mal estado. Si bien estos datos tienen más de 20 años de antigüedad, no hay evidencia de mejoras sustanciales posteriores. El estrés hídrico durante la época estival constituye el principal problema, exacerbado por la falta de riego tecnificado.

Comuna de Santiago Centro: No se dispone de porcentajes actualizados de condición fitosanitaria. Sin embargo, estudios vecinales y observaciones documentadas indican que especies como *Acer negundo* y *Robinia pseudoacacia* muestran alta vulnerabilidad a plagas y enfermedades. La compactación severa de suelos, el estrés térmico por efecto de isla de calor y la contaminación atmosférica generan condiciones particularmente adversas.

Comuna de Las Condes: Es la única comuna que cuenta con un registro georreferenciado que permite el seguimiento individualizado de cada ejemplar. Dispone de un programa de tratamiento fitosanitario, podas técnicas programadas y reemplazo sistemático de especies en mal estado o que generan conflictos.

3.3.2 Factores estructurales del deterioro

A partir del análisis documental, se identificaron tres factores estructurales que explican el deterioro del arbolado urbano en las comunas con menor capacidad de gestión:

1. Plantaciones realizadas sin criterio técnico: Selección de especies basada exclusivamente en atributos estéticos, sin considerar el espacio disponible para el desarrollo radicular y aéreo.
2. Falta de planificación integrada: Ausencia de coordinación entre las unidades de áreas verdes, vialidad y servicios subterráneos (agua, electricidad, gas).
3. Presupuesto insuficiente para mantención: En las comunas de menores ingresos, los recursos destinados a podas, riego y control fitosanitario son inadecuados para mantener el arbolado en buenas condiciones.

3.4 Análisis de tendencias climáticas

La caracterización de las tendencias climáticas resulta fundamental para comprender el contexto de estrés hídrico que afecta al arbolado urbano. A partir de los registros de la estación meteorológica de Quinta Normal (1866-2022), proporcionados por la Dirección Meteorológica de Chile (2022), se elaboró la cuadro 9 y las figuras 2 y 3.

Cuadro 9. Promedios de precipitación anual por periodo climatológico.

Periodo	Precipitación promedio (mm)	Déficit 2022 (mm)	Déficit 2022 (%)
1961-1990	314,9	153,9	48,9
1981-2010	341,8	180,8	52,9
1991-2020	286,2	125,2	43,8
1866-2022 (histórico)	329,8	168,8	51,2

**Fuente: Dirección Meteorológica de Chile (2022) *.*

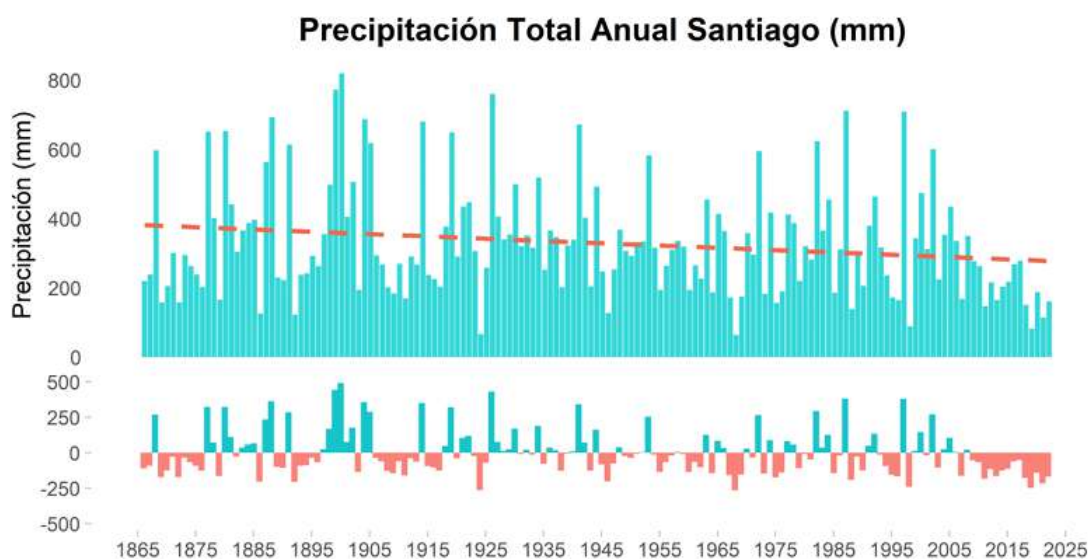


Figura 2. Tendencia de la precipitación anual en Santiago (1866-2022).

**Fuente: Dirección Meteorológica de Chile (2022) *.*

La línea de tendencia lineal muestra una disminución consistente de la precipitación a lo largo del periodo. El análisis por décadas indica que la precipitación ha disminuido a razón de 7 mm por década en el total de 157 años. Sin embargo, esta tendencia se ha intensificado en los últimos 62 años (16 mm por década) y se ha acelerado aún más en los últimos 30 años (70 mm por década).

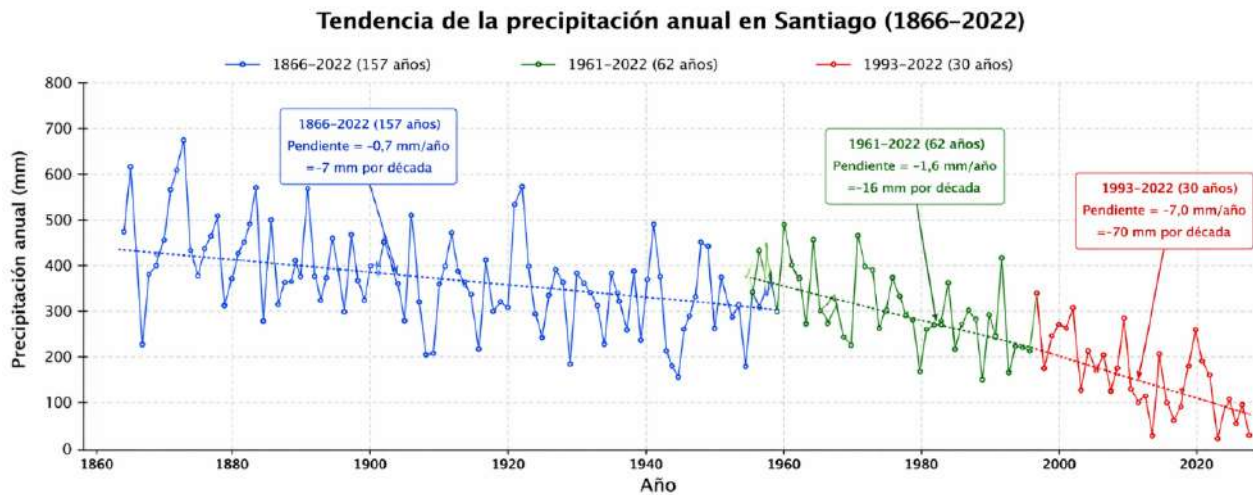


Figura 3. Tendencia de la precipitación anual en Santiago (1866-2022).

**Fuente: Dirección Meteorológica de Chile (2022) *.*

Estos resultados confirman que Santiago está experimentando un proceso de aridización progresiva, lo que hace imperativo seleccionar especies arbóreas con bajo consumo hídrico y alta tolerancia a la sequía.

3.5 Evaluación multicriterio de especies arbóreas

3.5.1 Evaluación de especies presentes en las comunas

El cuadro 10 presenta la evaluación de las especies más recurrentes en el arbolado de las tres comunas, de acuerdo con los criterios definidos en la metodología. Los puntajes se asignaron en una escala de 1 (desfavorable) a 3 (favorable) para cada variable.

Cuadro 10. Evaluación multicriterio de especies presentes en las comunas estudiadas.

Especie	Bajo consumo hídrico	Baja agresividad radicular	Resistencia a plagas	Capacidad de sombra	Baja mantención	Puntaje total
<i>Robinia pseudoacacia</i>	2	1	2	3	2	10
<i>Acer negundo</i>	1	1	1	2	1	6
<i>Liquidambar styraciflua</i>	1	2	2	3	1	9
<i>Platanus orientalis</i>	2	1	2	3	1	9
<i>Quillaja saponaria</i>	3	3	3	2	3	14
<i>Vachellia caven</i>	3	2	3	1	3	12
<i>Maytenus boaria</i>	2	3	2	2	2	11

*Nota: 1 = bajo / desfavorable, 2 = medio, 3 = alto / favorable. *

La especie con la mayor puntuación es *Quillaja saponaria* (quillay) con 14 puntos, seguida por *Vachellia caven* (espino) con 12 puntos y *Maytenus boaria* (maitén) con 11 puntos. Estas tres especies nativas superan en puntaje a todas las especies exóticas evaluadas.

Entre las exóticas, *Robinia pseudoacacia* obtuvo el mejor puntaje (10), principalmente por su buena capacidad de sombra y resistencia a la sequía, aunque su sistema radicular agresivo (puntaje 1 en agresividad) genera conflictos severos con veredas y tuberías. Las especies peor evaluadas fueron *Acer negundo* (6 puntos) y las dos especies evaluadas con 9 puntos (*Liquidambar styraciflua* y *Platanus orientalis*).

3.5.2 Evaluación de especies nativas propuestas

Con base en los criterios definidos y considerando el contexto de aridización de Santiago, se evalúan adicionalmente seis especies nativas del bosque esclerófilo que no están ampliamente representadas en el arbolado actual. El cuadro 11 presenta los resultados.

Cuadro 11. Evaluación multicriterio de especies nativas propuestas.

Especie	Bajo consumo hídrico	Baja agresividad radicular	Resistencia a plagas	Capacidad de sombra	Baja mantención	Puntaje total
<i>Quillaja saponaria</i> (Quillay)	3	3	3	2	3	14
<i>Prosopis chilensis</i> (Algarrobo chileno)	3	2	2	2	2	11
<i>Schinus molle</i> (Pimiento)	3	1	2	2	2	10
<i>Peumus boldus</i> (Boldo)	3	2	2	2	2	11
<i>Vachellia caven</i> (Espino)	3	2	3	1	3	12
<i>Maytenus boaria</i> (Maitén)	2	3	2	2	2	11

*Nota: 1 = bajo / desfavorable, 2 = medio, 3 = alto / favorable. *

Los resultados confirman que *Quillaja saponaria* es la especie mejor adaptada para el arbolado urbano de Santiago según los criterios considerados, destacando especialmente en bajo consumo hídrico (3), baja agresividad radicular (3) y baja mantención (3). *Vachellia caven* (espino) también obtiene una alta puntuación (12), aunque su limitada capacidad de sombra (1) y la presencia de espinas restringen su uso en ciertos contextos urbanos.

Schinus molle, (pimiento) a pesar de su alta tolerancia a la sequía y rápido crecimiento, obtiene un puntaje menor (10) debido a la alta agresividad de su sistema radicular (1), que puede levantar pavimentos y dañar tuberías.

3.5.3 Síntesis de características por especie recomendada

La siguiente tabla indica una síntesis de las características de las especies recomendadas según su uso potencial.

Cuadro 12. Síntesis de características de las especies mejor evaluadas.

Especie	Altura (m)	Copa (m diámetro)	Follaje	Raíz	Uso recomendado
<i>Quillaja saponaria</i>	15-20	5-8	Perennifolio	Profunda	Plazas, calles anchas, parques
<i>Vachellia caven</i>	3-8	4-7	Caducifolio	Profunda	Espacios abiertos (con precaución por espinas)
<i>Maytenus boaria</i>	10-20	8-10	Perennifolio	Profunda	Plazas, parques
<i>Prosopis chilensis</i>	8-12	8-12	Caducifolio	Profunda	Plazas, parques (evitar veredas estrechas)
<i>Peumus boldus</i>	10-20	4-6	Perennifolio	Profunda	Parques (no recomendado para calles)

3.6 Síntesis de hallazgos por comuna

El cuadro 13 presenta un resumen integrado de los principales hallazgos para cada una de las tres comunas estudiadas.

Cuadro 13. Síntesis comparativa de hallazgos por comuna.

Aspecto	Maipú	Santiago Centro	Las Condes
Densidad arbórea (árboles/ha)	31	38	120
Cobertura vegetal (%)	9,5	11,4	37,3
Dominancia de especies exóticas	Muy alta (~80%)	Muy alta (~80%)	Alta (pero mayor diversidad nativa)
Estado fitosanitario	Regular a malo (77,4% no bueno)	Medio-crítico	Bueno a regular
Conflictos con infraestructura	Altos	Altos (agravados por densidad)	Medios a bajos
Gestión municipal	Limitada / parcial	Intermedia	Avanzada (inventario georreferenciado)
Participación en BROTAR	Sí (10.000 árboles con CONAF)	Sí	Sí
Necesidad de recambio de especies	Alta	Alta	Media

4. DISCUSIÓN

4.1 Desigualdad socioeconómica y distribución del arbolado urbano

Los resultados obtenidos evidencian una marcada desigualdad en la distribución del arbolado urbano entre las tres comunas analizadas. La comuna de Las Condes presenta una densidad arbórea (120 árboles/ha) que es 3,9 veces superior a la de Maipú (31 árboles/ha) y 3,2 veces superior a la de Santiago Centro (38 árboles/ha). Esta diferencia se alinea con lo documentado por Reyes-Paecke y Figueroa Aldunate (2010), quienes encontraron que el 32% de la superficie total de áreas verdes de Santiago se

concentra en solo cuatro comunas de altos ingresos (Vitacura, Las Condes, Lo Barnechea y Providencia), mientras que las comunas de menores ingresos concentran apenas el 4,1% (La Pintana, Lo Espejo, El Bosque y Cerro Navia).

Este fenómeno, conocido en la literatura como "efecto de lujo" (luxury effect), ha sido ampliamente documentado en ciudades de América Latina y otras regiones del mundo. Guevara et al. (2024) demostraron recientemente que, en Santiago, si bien la abundancia total de árboles no variaba significativamente entre niveles socioeconómicos, la densidad de especies nativas es significativamente mayor en áreas de nivel socioeconómico alto (49,3 individuos nativos/ha) en comparación con áreas de nivel bajo (29,4 individuos nativos/ha). Esto sugiere que la desigualdad no es solo cuantitativa (más árboles), sino también cualitativa (mejor composición de especies).

La implicancia de este hallazgo es relevante para las políticas públicas: el programa BROSTAR, si bien representa un avance significativo, debe prestar especial atención a las comunas con menores recursos, no solo en términos de cantidad de árboles plantados, sino también en el acompañamiento técnico para su mantenimiento posterior a la plantación. Como señalan Otero-Durán y Torres (2024), los beneficios del arbolado urbano no están garantizados por la sola presencia de árboles; se requiere una gestión continua que asegure su supervivencia y funcionalidad.

4.2 El desafío hídrico: entre la tendencia climática y la selección de especies

El análisis de tendencias climáticas realizado confirma que Santiago experimenta un proceso de aridización progresiva. La aceleración de la disminución de precipitaciones —de 7 mm por década en el periodo 1866-2022 a 70 mm por década en los últimos 30 años— es consistente con los registros de la "megasequía" que afecta a Chile central desde 2010 (Dirección Meteorológica de Chile 2022). Este contexto hace particularmente relevante la priorización de especies con bajo consumo hídrico.

En este sentido, los resultados de la evaluación multicriterio son contundentes: las especies nativas del bosque esclerófilo (*Quillaja saponaria*, *Vachellia caven*, *Maytenus boaria*, *Prosopis chilensis*, *Peumus boldus*) obtuvieron puntajes sistemáticamente superiores a las especies exóticas comúnmente utilizadas en el arbolado de Santiago, principalmente por su adaptación al estrés hídrico y sus menores requerimientos de mantención.

Sin embargo, cabe preguntarse por qué, a pesar de estas ventajas, las especies nativas representan solo alrededor del 20% del arbolado en las comunas analizadas (Hernández 2008). Una posible explicación es la preferencia histórica por especies exóticas ornamentales, impulsada por viveros y paisajistas, que ha privilegiado atributos estéticos sobre criterios de sostenibilidad hídrica. Otra explicación, señalada por Correa y de la Barrera (2014), es que muchas especies nativas requieren condiciones edáficas específicas y no se adaptan bien a suelos urbanos altamente compactados, característicos de comunas como Santiago Centro.

Esta última observación es importante: la simple recomendación de usar especies nativas no es suficiente si no se acompañan de mejoras en la condición del suelo y en las prácticas de plantación. Como se discute más adelante (sección 4.6.4), la descompactación de suelos y el uso de alcorques de tamaño adecuado son condiciones necesarias para el éxito de cualquier especie, nativa o exótica.

4.3 Conflictos con infraestructura: un problema de planificación

Los resultados muestran que los conflictos entre árboles e infraestructura urbana (levantamiento de veredas, interferencia con cableado, daños a tuberías) son altos en Maipú y Santiago Centro, y solo medios o bajos en Las Condes. Este patrón sugiere que los conflictos no son inevitables, sino que pueden ser prevenidos mediante una adecuada planificación.

Otero-Durán y Torres (2024), en un estudio específicamente orientado a la relación entre árboles y veredas, proponen un enfoque de "protección de infraestructura" que anticipa los conflictos potenciales en lugar de enfrentarlos una vez que ya se han manifestado. Este enfoque incluye: (i) selección de especies con sistemas radiculares profundos y no agresivos, (ii) dimensionamiento adecuado de alcorques según el tamaño adulto esperado, (iii) uso de barreras anti-raíz en contextos de alta conflictividad, y (iv) coordinación intersectorial entre las unidades de áreas verdes, vialidad y servicios subterráneos.

La experiencia de Las Condes demuestra que estos principios pueden implementarse cuando existe voluntad política y recursos técnicos. La comuna cuenta con una ordenanza municipal que regula el arbolado, un plan de podas técnicas y un programa de reemplazo de especies problemáticas. Sin embargo, la replicabilidad de este modelo en comunas como Maipú o Santiago Centro enfrenta dos barreras principales: (i) el alto costo de reemplazar árboles establecidos, y (ii) la limitación de espacio en veredas estrechas y densamente ocupadas por infraestructura subterránea.

Una solución gradual, propuesta en el manual BROTAR (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2024), es priorizar el reemplazo de especies problemáticas en las intervenciones de renovación urbana (cambio de veredas, reposición de redes), de modo que los costos de extracción y nueva plantación se compartan entre diferentes unidades municipales.

4.4 Limitaciones del estudio y sugerencias para futuras investigaciones

Es necesario reconocer las limitaciones del presente estudio. La principal es la dependencia de fuentes secundarias con distintos grados de actualización y detalle. Mientras que Las Condes cuenta con un inventario georreferenciado actualizado, la información para Maipú y Santiago Centro se basa en estudios que tienen más de una década de antigüedad (Martínez Rojas 2005; Hernández 2008). Futuras investigaciones deberían complementar este diagnóstico con levantamientos en terreno que permitan actualizar el estado de estas comunas.

En segundo lugar, la asignación de puntajes en la matriz multicriterio, aunque basada en literatura y criterio técnico, conlleva un grado de subjetividad inherente a este tipo de metodologías. Sería valioso que estudios futuros validaran estos puntajes mediante consulta a expertos locales (método Delphi) o mediante el monitoreo del desempeño real de especies en condiciones controladas. Asimismo, falta una validación en terreno de la matriz de puntaje.

En tercer lugar, el estudio se centra exclusivamente en criterios de adaptación, requerimientos hídricos y compatibilidad urbana, sin considerar otros criterios relevantes como la capacidad de captura de contaminantes atmosféricos, la producción de compuestos orgánicos volátiles o el potencial alergénico. Investigaciones futuras podrían integrar estas variables para una evaluación más completa.

Finalmente, el estudio no aborda el análisis de costo-beneficio del reemplazo gradual de especies problemáticas versus el mantenimiento de las existentes. Este tipo de análisis económico sería de gran utilidad para la toma de decisiones municipales, especialmente en comunas con recursos limitados.

4.5 Implicancias para la gestión municipal y las políticas públicas

Los hallazgos de este estudio tienen implicancias directas para la gestión del arbolado urbano en Santiago:

1. Priorización de especies nativas de bajo consumo hídrico: Los resultados de la evaluación multicriterio respaldan la orientación del programa BROTAR hacia el uso de especies nativas. Se recomienda que *Quillaja saponaria* sea considerada como especie prioritaria para nuevas plantaciones en calles anchas, plazas y parques.
2. Enfoque diferencial por comuna: Una política uniforme para toda la ciudad sería inadecuada. Mientras que en Las Condes el desafío principal es la mantención de un arbolado ya denso y diverso, en Maipú y Santiago Centro la prioridad debe ser aumentar la cobertura arbórea con especies apropiadas y mejorar las condiciones del suelo.
3. Fortalecimiento de capacidades municipales: La desigualdad en la gestión del arbolado se relaciona directamente con las capacidades técnicas y financieras de cada municipalidad. Se sugiere que programas como BROTAR incluyan, además de la entrega de árboles, asistencia técnica continua y financiamiento para la mantención durante al menos los primeros tres años posteriores a la plantación.
4. Incorporación de criterios de selección en ordenanzas: Se recomienda que las ordenanzas municipales de aseo y ornato incluyan listados de especies recomendadas y no recomendadas, basados en criterios técnicos como los desarrollados en este estudio.

Diversos manuales de arborización urbana indican que especies arbóreas de gran porte y raíces agresivas pueden provocar levantamiento de pavimentos y daños en infraestructura urbana, por lo que su uso se restringe en veredas angostas, privilegiándose especies de menor tamaño y menor agresividad radicular.

En el cuadro 14, se presentan las especies no recomendadas.

Cuadro 14. Especies no recomendadas

Especie	Nombre común	Tipo de raíz
<i>Platanus orientalis</i>	Plátano oriental	Superficial y expansiva
<i>Acer negundo</i>	Arce negundo	Superficial y agresiva
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Falsa acacia	Pivotante con raíces laterales invasivas
<i>Populus alba</i>	Álamo blanco	Muy superficial y extendida
<i>Salix babylonica</i>	Sauce llorón	Superficial, invasiva y asociada al agua
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Pivotante profunda con laterales extensas

* Fuente elaboración propia a partir de Corporación Nacional Forestal (2014) y Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Corporación Nacional Forestal (2020)

4.6 Conclusiones

Se concluye que la selección de especies arbóreas para el arbolado urbano de Santiago puede y debe realizarse sobre la base de criterios técnicos objetivos: adaptación al clima mediterráneo semiárido, bajo consumo hídrico, comportamiento radicular compatible con la infraestructura urbana y resistencia a plagas. La matriz multicriterio desarrollada en esta investigación constituye una herramienta válida para orientar dicha selección.

Las especies mejor evaluadas para las condiciones de Santiago son *Quillaja saponaria* (quillay), *Vachellia caven* (espino), *Maytenus boaria* (maitén), *Prosopis chilensis* (algarrobo chileno) y *Peumus boldus* (boldo). Todas ellas son nativas del bosque esclerófilo y combinan bajo consumo hídrico, sistemas radiculares no agresivos (con excepción del pimientó) y baja necesidad de mantención.

Sin embargo, ninguna especie es adecuada para todos los contextos urbanos. La propuesta debe entenderse como una caja de herramientas que permite seleccionar la especie más apropiada según el ancho de vereda, la presencia de infraestructura subterránea y aérea, y los recursos disponibles para mantención.

4.6.1 Diagnóstico del arbolado en Maipú, Santiago Centro y Las Condes

Existe una marcada desigualdad en la distribución del arbolado urbano. Las Condes presenta 120 árboles por hectárea (37,3% de cobertura), mientras que Maipú alcanza solo 31 árboles/ha (9,5%) y Santiago Centro 38 árboles/ha (11,4%). Esta diferencia confirma el "efecto de lujo" documentado en la literatura.

En las tres comunas predominan especies exóticas ornamentales (aproximadamente el 80% del total), en desmedro de las especies nativas mejor adaptadas al clima local. Las especies *Platanus orientalis* y *Robinia pseudoacacia* son las principales causantes de conflictos con infraestructura por la agresividad de sus raíces.

El estado fitosanitario del arbolado es deficiente en Maipú (77,4% en condición regular a mala) y crítico en sectores de Santiago Centro por compactación de suelos y contaminación. Las Condes, en cambio, mantiene un estado bueno a regular gracias a su inventario georreferenciado y programas de manejo.

4.6.2 Evaluación del desempeño de especies según criterios técnicos

Quillaja saponaria obtuvo el puntaje más alto (14/15), destacando en bajo consumo hídrico, baja agresividad radicular y baja mantención. *Vachellia caven* (12 puntos) y *Maytenus boaria* (11 puntos) también presentan buen desempeño.

Acer negundo obtuvo el puntaje más bajo (6/15), seguido de *Liquidambar styraciflua* y *Platanus orientalis* (9 puntos cada una). El promedio de las especies nativas evaluadas (11,8 puntos) supera ampliamente al de las exóticas (8,5 puntos), validando la recomendación de priorizar nativas.

4.6.3 Brechas en la gestión municipal

Se identificaron tres brechas principales. Primera, brecha de información: Las Condes cuenta con inventario georreferenciado; Maipú y Santiago Centro no. Segunda, brecha de recursos: aunque el porcentaje de presupuesto destinado a áreas verdes es similar (4-5%), según Hernández (2008) los montos absolutos son muy desiguales. Tercera, brecha de planificación: Las Condes tiene ordenanza y planes anuales; las otras dos comunas operan de manera reactiva.

4.6.4 Recomendaciones para la gestión municipal

Sobre selección de especies:

- a. Priorizar el uso de especies nativas de bajo consumo hídrico (*Quillaja saponaria*, *Maytenus boaria*, *Prosopis chilensis*) en nuevas plantaciones y programas de recambio.
- b. Excluir de nuevas plantaciones las especies con alto consumo hídrico o raíces agresivas: *Platanus orientalis*, *Acer negundo*, *Salix babylonica*, *Populus alba* y *Eucalyptus globulus*.
- c. Adecuar la especie al espacio disponible: en veredas angostas, usar árboles de porte pequeño a mediano con raíces profundas; en espacios amplios, priorizar copas de gran diámetro para maximizar sombra.

Sobre condiciones técnicas de plantación:

- d. Realizar hoyos de plantación de 60 a 100 cm de profundidad y 2 a 3 veces el ancho del cepellón, para descompactar el suelo y favorecer el desarrollo radicular.
- e. Instalar tutores en árboles jóvenes para evitar daños mecánicos, y programar riego durante los primeros tres años posteriores a la plantación.
- f. Realizar plantaciones preferentemente en otoño e invierno, cuando las condiciones hídricas favorecen el establecimiento.

Sobre planificación y gestión:

- g. Contar con un inventario actualizado y georreferenciado del arbolado comunal que permita el seguimiento de cada ejemplar.
- h. Desarrollar un plan de manejo que incluya identificación temprana de plagas, podas técnicas programadas y reemplazo gradual de especies problemáticas.
- i. Integrar la planificación del arbolado con las unidades de vialidad y servicios subterráneos, para anticipar conflictos en lugar de enfrentarlos una vez manifestados.

Sobre participación ciudadana:

- j. Involucrar a la comunidad en las plantaciones, especialmente a establecimientos educacionales, para generar identificación y corresponsabilidad en el cuidado del arbolado.

5. REFERENCIAS

- Azcárate, M, Acero, J. & Arrizabalaga, J. (2019). Metodología de selección de especies de arbolado para el sombreado urbano en la parte oriental de la cornisa Cantábrica. *Informes de la Construcción*, 71(556), e322. <https://doi.org/10.3989/ic.65135>.
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano. (2017). *Sistema de indicadores y estándares de desarrollo urbano (SIEDU)*.
- Corporación Ciudades. (2023). *Barrios por el clima*.
- Corporación Nacional Forestal. (2014). *Manual de plantación de árboles en áreas urbanas*.
- Corporación Nacional Forestal & Ilustre Municipalidad de Maipú. (2025, 1 de julio). *CONAF y Municipalidad de Maipú trabajan juntos destacando el rol del arbolado urbano*.
- Correa, P & de la Barrera, F. (2014). Análisis de la estructura y de la composición del arbolado en parques del área metropolitana de Santiago. *Chloris Chilensis*, 17.
- Criollo, C, Assar, C, Cáceres, L, & Préndez, B. (2016). Arbolado urbano, calidad del aire y afecciones respiratorias en seis comunas de la provincia de Santiago, Chile. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 32(2), 77–86.
- Delgado, L, Rabassa, A, Trocones, A, & Orrantía, I. (2021). Diagnóstico del arbolado urbano en una sección de la ciudad de Sancti Spíritus. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(2), 285–301.
- Dirección Meteorológica de Chile. (s.f.). *Precipitación histórica de la estación Quinta Normal, Santiago*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry* (FAO Forestry Paper No. 178). FAO.
- Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. (2024). *Programa de arbolado urbano BROTAR: Manual de arbolado urbano*.

- Guevara, B, Uribe, S, de la Maza, C, & Villaseñor, N. (2024). Socioeconomic disparities in urban forest diversity and structure in green areas of Santiago de Chile. *Plants*, 13(13), 1841.
- Hernández, J. (2008). Vegetación urbana en Santiago de Chile. *Revista Urbanismo*, 33–49.
- Ilustre Municipalidad de Las Condes. (2024). *Plan regulador comunal de Las Condes*.
- Ilustre Municipalidad de Maipú. (2024). *Plan regulador comunal de Maipú*.
- Ilustre Municipalidad de Santiago. (2025). *Plan regulador comunal de Santiago*.
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2024). *Síntesis de resultados: Censo 2024*.
- Martínez Rojas, M. A. (2005). *Evaluación del arbolado urbano y su estado fitosanitario en la comuna de Santiago* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Corporación Nacional Forestal. (2020). *Áreas verdes inteligentes*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2023). *Manual de orientaciones de diseño urbano para el espacio público*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, División Técnica de Estudios y Fomento Habitacional. (2020). *Arbolado urbano como elemento estructurante del paisaje natural urbano*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Informe del estado del medio ambiente en Chile*.
- Otero-Durán, L., & Torres, A. (2024). Trees and sidewalks: Toward an infrastructure protection approach. *Frontiers in Sustainable Cities*, 6, 1336472.
- Reyes-Paecke, S., & Figueroa Aldunate, I. M. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. En A. Orellana, C. Link, & J. Noyola (Eds.), *Santiago metropolitano: Transformaciones, tendencias y desafíos* (pp. 89–110). Pontificia Universidad Católica de Chile.