

Arbolado Urbano como elemento estructurante del paisaje natural urbano

INFORME FINAL

Consultores:

Cynnamon Dobbs Ing. For. Ph.D., Carolina Córdova Ing. Forestal, Magdalena Olave Ing. Agrónoma,
María del Pilar Olave Ing. Forestal, Marcelo D. Miranda Ing. Forestal Ph.D.

Contraparte Técnica:

Jeanne Marie Verdugo O. Ms. Urbanismo con Especialización en Ing. Ambiental U. Chile, Loreto
Crovo R. Arquitecta del Paisaje, Loreto Cea B. Geógrafa, Macarena Ortiz A. Arquitecta

Ministerio de Vivienda y Urbanismo
División Técnica de Estudios y Fomento Habitacional– DITEC

Julio - 2020

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe, contiene los resultados finales del estudio “*Arbolado Urbano como elemento estructurante del paisaje natural urbano*” cuyo objetivo general es establecer y definir aquellas variables del arbolado urbano que den cuenta de su condición ecológica, paisajística, ambiental, cultural, de identidad, patrimonial, económica y social para facilitar la toma de decisiones en las etapas de diagnóstico, diseño, construcción, mantención y monitoreo de proyectos urbanos y habitacionales.

Para esto se presentan definiciones de arbolado urbano y conceptos relacionados considerando un análisis global de ellos. Se identifica, además, cómo el concepto de arbolado urbano se integra en las políticas urbanas nacionales. Esto permite entender al arbolado urbano como elemento primordial dentro del desarrollo futuro de las ciudades.

De acuerdo la revisión realizada, la definición más completa es la propuesta por FAO¹, la cual es usada de forma extensiva en las políticas de arbolado urbano internacionalmente. Esta define al arbolado urbano como redes o sistemas que comprenden todos los bosques, grupos de árboles y árboles individuales ubicados en áreas urbanas y peri-urbanas. Estos incluyen bosques, árboles de calles, árboles en parques, en jardines públicos y privados, como en árboles en sitios eriazos. Se destaca la multifuncionalidad del arbolado urbano, ya que proporciona servicios ecosistémicos relacionados con mejoras ambientales y sociales.

Por otra parte, en los documentos nacionales revisados no se encontró una visión estratégica o política sobre manejo de árboles que dé directrices para una correcta toma de decisiones a nivel gubernamental, tanto en espacios públicos como privados. El arbolado urbano se encuentra carente de una política que reconozca a la vegetación (o la naturaleza en la ciudad) como elemento fundamental de la ciudad sustentable y resiliente, donde se destaque con énfasis tanto su rol facilitador de la mitigación y adaptación al cambio climático, como su rol en el bienestar y salud de las personas.

Fomentar cantidad, calidad y mejor distribución del arbolado en las ciudades colabora en la capacidad de los árboles para proveer servicios ecosistémicos, jugando un rol fundamental para asegurar el éxito del proyecto en el largo plazo. Para esto, en primer lugar, se identifican cuáles son las características de las especies de árboles. Además, se identifican aquellos elementos urbanos que podrían limitar el correcto desarrollo y manejo del árbol, mermando así su potencial para

¹ Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). Guidelines on urban and peri-urban forestry, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

proveer servicios ecosistémicos y cumplir con los efectos establecidos al concebir un proyecto de arborización. Los objetivos de un proyecto que considere arborizaciones pueden ser diversas, tales como ambientales, sociales, económicas, estéticos, entre otros. Por ello, el estudio plantea considerar distintas variables y condicionantes asociadas al manejo de especies arbóreas.

Como complemento a lo anterior, se establecen ocho (8) categorías y treinta y cuatro (34) variables de caracterización de especies arbóreas, que son determinantes en su desarrollo, mantención y provisión de servicios ecosistémicos. Las variables de cada especie permitirán orientar en diagnósticos, catastros y mantención de éstos, mejorando el éxito de las arborizaciones en proyectos urbanos. Las categorías de variables se organizaron como: a) de identificación (taxonómico), b) de procedencia, distribución y estado de conservación, c) morfología de la especie, d) de tolerancia a condiciones climáticas, e) de tolerancia a condiciones edáficas, f) relativas al emplazamiento, g) de carácter ornamental y h) relativas a mantención. Con las variables e indicadores se construyó una herramienta de fácil uso, que incluye todas aquellas consideraciones que se deben tener en cuenta, para entender el árbol en su contexto urbano y emplazamiento geográfico, en cada etapa de desarrollo de un proyecto.

La matriz fue poblada con información de veinte y cinco (25) especies comúnmente utilizadas en las ciudades chilenas, previo acuerdo con la contraparte técnica. Por otro lado, se propuso el diseño de una ficha tipo que resume gráficamente las características de cada especie, permitiendo reconocer las consideraciones y requerimientos de acuerdo a su contexto geográfico.

Estos antecedentes mencionados anteriormente, son un aporte para las distintas etapas de proyectos de arbolado urbano: diagnóstico, diseño, construcción y mantención. Los indicadores propuestos en la herramienta de caracterización de las especies, son lo suficientemente flexibles como para realizar mejoras continuas. Por otra parte, es recomendable una revisión permanente de la matriz, de manera de evaluar la efectividad de su uso a escala local y regional.

Se aplicó una encuesta para la identificación de los factores críticos, que inciden en la gestión y planificación del arbolado urbano, en las etapas de diagnóstico, diseño, construcción y mantención. En esta encuesta participaron informantes calificados (479), que se relacionan con el arbolado urbano y se desempeñan en organismos públicos, (principalmente de las distintas reparticiones en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo), organizaciones privadas y la academia. Dentro de las respuestas analizadas, se destaca que los distintos actores reconocen que la selección de especies, depende del objetivo del proyecto urbano a desarrollar y es realizada en la etapa de diseño. Los antecedentes recabados en el diagnóstico, los objetivos del proyecto y el uso de la herramienta de caracterización de especies arbóreas debiera aportar y nutrir, especialmente la etapa de diseño, pero también en el levantamiento de inventarios de árboles en el diagnóstico, como en los cuidados de éste en las etapas de construcción y de mantención.

El presente estudio propone contenidos básicos para la sensibilización de distintos actores, que participan en el desarrollo de espacios públicos y/o con alguna incidencia en el arbolado urbano. Se

realizaron recomendaciones sobre el nivel de preparación que debieran tener los profesionales, listando los contenidos mínimos, de manera de fortalecer la pertinencia en la toma de decisiones relacionadas al arbolado urbano.

Se propone desarrollar una estrategia de política pública que tiene por finalidad promover el rol del arbolado urbano en las ciudades y explicar el modo de uso de la herramienta de caracterización de especies arbóreas, para aportar en una correcta toma de decisión. **El árbol correcto en el lugar correcto permite mantener y aumentar los beneficios y servicios ecosistémicos que entregan éstos a las personas y ciudades.** Velando así, que los árboles se desarrollen en óptimas condiciones y presenten buen estado de salud a lo largo de su ciclo de vida.

Como recomendación a quienes diseñan o participan en alguna de las etapas de proyectos urbanos, que consideren arborizaciones, deben contar con alguna especialización previa, de manera de comprender aspectos básicos de su fisiología, de su integración en el espacio urbano y su relación con los beneficios que éste entrega a los habitantes de la ciudad.

Para tecnificar la gestión del arbolado en su etapa de construcción y mantención, se recomienda contar con profesionales con experiencia y, en lo posible, alguna certificación de arboricultor para mejorar las acciones durante las etapas previamente mencionadas. Mientras, que para las etapas de diagnóstico y diseño se recomiendan incorporar profesionales que entiendan sobre el funcionamiento de las especies arbóreas y su relación con el entorno urbano.

Finalmente, se recomienda fortalecer el trabajo desarrollado en mesas multisectoriales, tal como la instaurada entre la Corporación Nacional Forestal, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y los Municipios, a fin de avanzar en relevar la importancia del árbol urbano como un elemento fundamental de la infraestructura verde y esencial para el desarrollo sustentable de las ciudades de Chile.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	Introducción	9
2.	Objetivos	12
3.	Metodología	13
3.1.	Definir conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde	13
3.2.	Identificar elementos en el paisaje natural urbano relevante para el manejo del arbolado urbano	13
3.3.	Desarrollar propuesta de herramienta de caracterización de especies arbóreas	13
3.3.1.	Propuesta de categorías y variables de caracterización de especies de árboles urbanos	14
3.3.2.	Propuesta de herramienta de caracterización de especies arbóreas	17
3.3.3.	Elaboración ficha-tipo de especies de árboles	17
3.4.	Propuesta de sensibilización y difusión sobre manejo del arbolado urbano	18
3.4.1.	Identificar aspectos priorizados por informantes calificados involucrados en el proceso de diagnóstico, diseño, construcción y mantenimiento	18
3.4.2.	Propuesta de diagrama de procesos de espacios urbanos arbolados	19
3.4.3.	Propuesta de sensibilización a profesionales MINVU	20
4.	Resultados	20
4.1.	Conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde	20
4.1.1.	Marco conceptual asociado al Árbol Urbano	21
4.1.2.	Integración del concepto de arbolado urbano en documentos nacionales utilizados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo	34
4.2.	Identificación elementos urbanos críticos para el desarrollo del arbolado	37
4.2.1.	Elementos urbanos críticos	38
4.2.2.	Acciones críticas de mantenimiento del arbolado urbano	41
4.3.	Propuesta de caracterización del arbolado urbano	47
4.3.1.	Variables de caracterización de especies del arbolado urbano	47
4.3.2.	Justificación de las variables de caracterización propuestas	49
4.3.2.1.	Categoría de identificación (taxonómico)	55

4.3.2.2.	Categoría de procedencia, distribución y estado de conservación	56
4.3.2.3.	Categoría morfología de la especie	59
4.3.2.4.	Categoría de tolerancia a condiciones climáticas	71
4.3.2.5.	Categoría de tolerancia edáfica	73
4.3.2.6.	Categoría relativa al emplazamiento	76
4.3.2.7.	Categoría de carácter ornamental	78
4.3.2.8.	Categoría relativas al manejo	80
4.3.3.	Propuesta de Diseño Ficha Tipo	81
4.3.4.	Construcción herramienta de caracterización de conjunto de datos	86
4.4.	Propuesta de sensibilización y difusión sobre manejo del arbolado urbano	90
4.4.1.	Análisis de encuesta de acuerdo a instituciones participantes	90
4.4.2.	Análisis de la encuesta según etapas de proyecto	95
4.4.3.	Propuesta de diagrama de flujo en el manejo del árbol urbano	100
4.4.4.	Propuesta preliminar de sensibilización a profesionales MINVU	102
4.4.4.1.	Etapas de diagnóstico	102
4.4.4.2.	Etapas de diseño	103
4.4.4.3.	Etapas de construcción	103
4.4.4.4.	Etapas de mantención y monitoreo	104
4.4.4.5.	Propuesta de contenidos mínimos de sensibilización	105
4.4.5.	Propuesta de difusión y uso de la herramienta de caracterización de arbolado urbano	106
4.4.6.	Breves sugerencias a licitaciones de proyectos de arbolado urbano	108
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	108
6.	ANEXOS	113
7.	Referencias bibliográficas	114

INDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1. EJEMPLOS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ENTREGADOS POR BOSQUES URBANOS, SEGÚN ODS 2003</i>	32
<i>TABLA 2. INCLUSIÓN Y CONSIDERACIÓN DEL CONCEPTO DE ARBOLADO URBANO EN DOCUMENTOS PÚBLICOS</i>	34
<i>TABLA 3. ELEMENTOS URBANOS CRÍTICOS QUE AFECTAN AL ESTABLECIMIENTO Y DESARROLLO DEL ARBOLADO URBANO</i>	39
<i>TABLA 4. ACCIONES CRÍTICAS DE MANTENCIÓN DEL ÁRBOL URBANO</i>	41
<i>TABLA 5. RESUMEN DE CATEGORÍAS Y VARIABLES DE CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS</i>	48
<i>TABLA 6. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS RESPECTO A LA COMPOSICIÓN Y PARTES DEL ÁRBOL</i>	51
<i>TABLA 7. VARIABLES DEL ÁRBOL URBANO Y SU RELACIÓN CON LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS</i>	52
<i>TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIONES ACUMULADAS</i>	72
<i>TABLA 9. INDICADOR DE TOLERANCIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS</i>	74
<i>TABLA 10. VARIABLES, INDICADORES Y RANGOS PROPUESTOS</i>	87
<i>TABLA 11. LISTADO DE ESPECIES DE ÁRBOLES , SEGÚN DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA</i>	91
<i>TABLA 12. NÚMERO DE ENCUESTADOS, SEGÚN ETAPA DE PROYECTOS</i>	96
<i>TABLA 13. COMPONENTES Y PRINCIPALES FACTORES DEL ÁRBOL, SEGÚN ETAPAS DEL PROYECTO URBANO</i>	102

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Introducción	9
2.	Objetivos	12
3.	Metodología	13
3.1.	Definir conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde	13
3.2.	Identificar elementos en el paisaje natural urbano relevante para el manejo del arbolado urbano	13
3.3.	Desarrollar propuesta de herramienta de caracterización de especies arbóreas	13
3.3.1.	Propuesta de categorías y variables de caracterización de especies de árboles urbanos	14
3.3.2.	Propuesta de herramienta de caracterización de especies arbóreas	17
3.3.3.	Elaboración ficha-tipo de especies de árboles	17
3.4.	Propuesta de sensibilización y difusión sobre manejo del arbolado urbano	18
3.4.1.	Identificar aspectos priorizados por informantes calificados involucrados en el proceso de diagnóstico, diseño, construcción y mantención	18
3.4.2.	Propuesta de diagrama de procesos de espacios urbanos arbolados	19
3.4.3.	Propuesta de sensibilización a profesionales MINVU	20
4.	Resultados	20
4.1.	Conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde	20
4.1.1.	Marco conceptual asociado al Árbol Urbano	21
4.1.2.	Integración del concepto de arbolado urbano en documentos nacionales utilizados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo	34
4.2.	Identificación elementos urbanos críticos para el desarrollo del arbolado	37
4.2.1.	Elementos urbanos críticos	38
4.2.2.	Acciones críticas de mantención del arbolado urbano	41
4.3.	Propuesta de caracterización del arbolado urbano	47
4.3.1.	Variables de caracterización de especies del arbolado urbano	47
4.3.2.	Justificación de las variables de caracterización propuestas	49
4.3.2.1.	Categoría de identificación (taxonómico)	55

4.3.2.2.	Categoría de procedencia, distribución y estado de conservación	56
4.3.2.3.	Categoría morfología de la especie	59
4.3.2.4.	Categoría de tolerancia a condiciones climáticas	71
4.3.2.5.	Categoría de tolerancia edáfica	73
4.3.2.6.	Categoría relativa al emplazamiento	76
4.3.2.7.	Categoría de carácter ornamental	78
4.3.2.8.	Categoría relativas al manejo	80
4.3.3.	Propuesta de Diseño Ficha Tipo	81
4.3.4.	Construcción herramienta de caracterización de conjunto de datos	86
4.4.	Propuesta de sensibilización y difusión sobre manejo del arbolado urbano	90
4.4.1.	Análisis de encuesta de acuerdo a instituciones participantes	90
4.4.2.	Análisis de la encuesta según etapas de proyecto	95
4.4.3.	Propuesta de diagrama de flujo en el manejo del árbol urbano	100
4.4.4.	Propuesta preliminar de sensibilización a profesionales MINVU	102
4.4.4.1.	Etapas de diagnóstico	102
4.4.4.2.	Etapas de diseño	103
4.4.4.3.	Etapas de construcción	103
4.4.4.4.	Etapas de mantención y monitoreo	104
4.4.4.5.	Propuesta de contenidos mínimos de sensibilización	105
4.4.5.	Propuesta de difusión y uso de la herramienta de caracterización de arbolado urbano	106
4.4.6.	Breves sugerencias a licitaciones de proyectos de arbolado urbano	108
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	108
6.	ANEXOS	113
7.	Referencias bibliográficas	114

1. INTRODUCCIÓN

La expansión y densificación urbana es un fenómeno que se presenta de manera cada vez más recurrente, en los últimos años, en la mayoría de las ciudades del mundo, incluidas las de Chile. Esto conlleva a la impermeabilización y cambio de uso de suelos, el redireccionamiento de los recursos hídricos y, por lo tanto, pérdida en biodiversidad, generando un aumento de la presión sobre los recursos naturales. Lo anterior, sumado a los efectos del cambio climático, afectan a la salud y bienestar de las personas que habitan las ciudades.

Los árboles urbanos se configuran como elementos prioritarios, que permiten orientar los esfuerzos del desarrollo de planes de adaptación y mitigación al cambio climático, promoviendo ciudades sustentables y más vivibles. Esto, se evidencia por medio de los beneficios ambientales que los árboles urbanos entregan a las personas que habitan en ciudades, por ejemplo, al contribuir con la purificación del aire, regular las temperaturas, reducir los efectos de las inundaciones y proveer un espacio para el esparcimiento de las personas, entre otros efectos positivos.

En este contexto, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) ha comenzado a desarrollar una serie de publicaciones que incluyen manuales, desarrollo normativo y medidas reglamentarias que orientan la incorporación de criterios ambientales, específicamente asociado al árbol urbano, en la planificación, diagnóstico, diseño, construcción, operación y mantención de los espacios públicos en las ciudades, buscando la promoción de un desarrollo urbano sustentable.

Por ejemplo, a fines del año 2010, el MINVU firma convenio con la Corporación Nacional Forestal (CONAF) cuyo foco fue ahondar en conceptos relacionados con la naturalización de las ciudades, los sistemas naturales y el paisajismo en programas urbanos tales como el Programa de Recuperación de Barrios.

El año 2012, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo suscribe junto con los Ministerios de Obras Públicas (MOP), de Energía (MINEM) y de Medio Ambiente (MMA) el Convenio Interministerial de Construcción Sustentable. En el año 2018, se incorporan el Ministerio de Desarrollo Social y el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Este convenio tiene como objetivo general, promover, difundir y fomentar la construcción sustentable en el país.

La Política Nacional de Desarrollo Urbano (2014) estableció los principios orientadores y lineamientos que guían hacia una evolución sustentable de las ciudades y centros poblados,

destacando la consideración de los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación de ciudades en concordancia a su emplazamiento territorial.

Durante el año 2018, el MINVU en conjunto con CONAF trabajaron en un nuevo convenio para la definición de estándares mínimos respecto al establecimiento de los árboles urbanos y el desarrollo de instrumentos que permitan instalar e integrar planes de arborización en los actuales proyectos urbanos y habitacionales. El MINVU se ha comprometido a buscar mejoras en las condiciones de habitabilidad urbana para las personas, con foco en el uso y en la promoción adecuada del manejo de los árboles urbanos.

Siguiendo el contexto anterior, la División Técnica, de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC) propone establecer las bases conceptuales respecto a definiciones sectoriales del árbol urbano, por medio del presente estudio; Cuyo foco es proponer una línea base que permita construir un lenguaje técnico validado para la orientación en el manejo de los árboles urbanos. Esto, con la finalidad de incrementar la calidad y la cobertura arbórea, lo cual tiene un efecto positivo en las condiciones ambientales de las ciudades y en el bienestar de las personas que las habitan.

En el presente informe se analiza y se da cuenta de los aspectos conceptuales para el entendimiento del arbolado como elemento fundamental del sistema de infraestructura verde en la ciudad y relevante en el diseño de espacios públicos. A través de la recopilación de documentos nacionales e internacionales, se recomiendan definiciones para los conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde. Cabe señalar que todas las definiciones, por lo general, destacan la multifuncionalidad del árbol como elemento central para la sustentabilidad de la ciudad.

De la revisión de los documentos nacionales, se generó un cuadro resumen explicativo de cómo se incorpora el arbolado en éstos. Se abordan principalmente aspectos técnicos de la interrelación entre espacio público y arbolado, que tienen que ver con la plantación, establecimiento y algunas recomendaciones para la mantención de especies en la ciudad.

Cabe destacar, que en los documentos de MINVU y de otras instituciones se abordan aspectos técnicos relativos al árbol con distintos enfoques y énfasis. Se propone contar con un documento consolidado que dirija la gestión del arbolado, de manera de poder avanzar en un estándar técnico. Se recalca la falta de documentos estratégicos que reconozcan al árbol (o la infraestructura verde) como un elemento primordial en el desarrollo de las ciudades y que tenga la misma importancia que otros elementos tales como la vialidad, el transporte o las edificaciones. Sin embargo, se valora la incorporación de recomendaciones al capítulo 1, del Programa de Mejoramiento de Viviendas y Barrios (DS 27, 2019).

Posteriormente, se describen los elementos urbanos que interfieren o limitan el desarrollo del arbolado en la ciudad. A través de revisión bibliográfica, se identifican cuáles son los elementos urbanos que afectan en la fisiología o en el desarrollo del árbol, según sus características como especies.

A partir de esto, se identifican y definen las variables descriptivas del árbol que inciden en su buen desarrollo, a través de la diversidad climática y cultural que se presenta a lo largo del país. Estas treinta y cuatro (34) variables descriptivas, permitirán orientar la selección de especies en un proyecto de arbolado urbano. Se organizaron ocho (8) categorías de variables: a) de identificación (taxonómico), b) de procedencia, distribución y estado de conservación, c) morfología de la especie, d) de tolerancia a condiciones climáticas, e) de tolerancia a condiciones edáficas, f) relativas al emplazamiento, g) de carácter ornamental y h) relativas a mantención. Con estas variables y sus indicadores se construyó una herramienta de caracterización, que fue poblada con información de veinte y cinco (25) especies comúnmente utilizadas en las ciudades chilenas, las que fueron propuestas por el MINVU, que incluye todas aquellas consideraciones que se deben tener en cuenta para una correcta selección de especies, de acuerdo a los requerimientos de cada proyecto.

Además, se propuso el diseño de una ficha tipo que resume gráficamente la información de variables e indicadores por especie, analizadas en la matriz.

Una tercera etapa del estudio buscó identificar los factores críticos que inciden en la gestión y planificación del arbolado urbano en las etapas de diagnóstico, diseño, construcción y mantención. Para esto se realizó una encuesta en línea con 32 preguntas; La cual fue respondida por 479 profesionales de distintas instituciones en su mayoría públicas y principalmente provenientes de distintos servicios del MINVU central y regional, organizaciones privadas y la academia.

La mayoría de los encuestados trabajan en la etapa de **diagnóstico y/o diseño**. Ellos destacaron los siguientes hitos críticos en el diseño de proyectos de arbolado urbano: definición del objetivo de los proyectos, diagnóstico (inventario) del material vegetal y la infraestructura aérea.

En la etapa de **construcción**, el factor crítico mencionado por los encuestados fue la protección de los árboles emplazados en el lugar de la construcción, destacando la falta de indicaciones o conocimiento sobre las precauciones que se deben considerar para cumplir con este objetivo. En la etapa de **mantención**, el factor crítico corresponde a la falta de conocimiento técnico en el manejo del arbolado y la disponibilidad de agua para riego.

Con esta información el equipo consultor presentó una propuesta de contenidos básicos de sensibilización, que tiene por finalidad promover el rol del arbolado urbano en las ciudades, explicar el modo de uso de la herramienta de caracterización de especies, realizando recomendaciones del nivel de preparación que debieran tener los gestores y planificadores del arbolado, para mejorar su toma de decisiones, velando así, por árboles que se desarrollen en óptimas condiciones y presenten buen estado de salud a lo largo de su ciclo de vida.

El informe concluye resumiendo los principales hallazgos y entrega algunas recomendaciones para futuros estudios y acciones que profesionales del MINVU pudiesen realizar para dar continuidad al presente estudio.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es:

Establecer y definir aquellas variables del arbolado urbano que den cuenta de su condición ecológica, paisajística, ambiental, cultural, identitaria, patrimonial, económica y social, para facilitar la toma de decisiones en la selección, diseño, construcción y conservación de proyectos urbanos y habitacionales.

De esta forma, se espera contar con una definición clara respecto de la “unidad árbol urbano”, análisis que sustente el desarrollo del paisaje urbano e infraestructura verde. El cumplimiento de este objetivo se abordará mediante los siguientes objetivos específicos:

- Definir los conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde.
- Identificar qué elementos presentes en el paisaje natural, urbano e infraestructura verde que afectan e inciden en el desarrollo del arbolado urbano, para las distintas zonas bioclimáticas de las ciudades chilenas.
- Desarrollar una matriz de variables para el establecimiento y manejo del arbolado urbano, de acuerdo a la información desarrollada en los puntos anteriores (condiciones climáticas, urbanas, territoriales y culturales).
- Proponer una hoja de ruta para realizar actividades de difusión y capacitación sobre la integración del arbolado urbano en espacios públicos, a profesionales y técnicos en instituciones públicas. Para ello se considerarán los resultados y productos obtenidos del presente estudio y las distintas etapas de desarrollo de un plan de arborización, desde la selección de especies, plantación, ejecución - inspección, mantención, monitoreo y reposición.

3. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta la metodología de trabajo utilizada para cada uno de los objetivos específicos descritos anteriormente.

3.1. Definir conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde

Para la definición de los conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde se realizó una revisión bibliográfica de documentos técnicos, normativas y artículos científicos nacionales e internacionales que hacen referencia a estos conceptos. Se incluyeron, además, conceptos como suelos urbanos, soluciones basadas en naturaleza, servicios ecosistémicos, infraestructura verde, gris y azul.

A partir de la revisión de documentos MINVU y de otras instituciones nacionales, se construyó un cuadro que sintetiza los distintos enfoques y aspectos relevantes de cada documento en relación al arbolado urbano.

Para la definición de conceptos se revisaron documentos estratégicos de la Organización para la Alimentación y la Agricultura, la Comisión Ambiental Europea y el Servicio Forestal de los Estados Unidos, dado que son organizaciones líderes en arbolado urbano a nivel mundial, siendo citadas en una gran variedad de documentos técnicos relativos a este tema.

3.2. Identificar elementos en el paisaje natural urbano relevante para el manejo del arbolado urbano

En base a la revisión bibliográfica de publicaciones científicas, reportes técnicos y herramientas en línea se definieron las variables de sitio o de emplazamiento, que afectan al desarrollo del arbolado urbano. Se incluyeron los elementos del espacio público que condicionan su establecimiento y desarrollo, como estructuras aéreas, a nivel del suelo y subterráneas (Anexo 1). Estos elementos fueron elegidos por su pertinencia, en relación a las diferentes etapas de proyectos de arbolado urbano (diagnóstico, diseño, construcción y mantenimiento), su referencia en la literatura científica y reportes internacionales reconocidos.

3.3. Desarrollar propuesta de herramienta de caracterización de especies arbóreas

A partir de la información recogida en el análisis bibliográfico, se realiza una propuesta de herramienta de especies de árboles.

Este objetivo fue abordado a partir de las siguientes secciones:

- Definir variables de caracterización de especies de árboles urbanos.
- Construir matriz de conjunto de datos.
- Elaborar propuesta de ficha tipo de registro de variables e indicadores, que describen especies de árboles.

3.3.1. Propuesta de categorías y variables de caracterización de especies de árboles urbanos

La forma más apropiada de identificar las características de una especie de árbol, se basa en las condiciones del lugar en que se quiera emplazar, las que están determinadas por los elementos urbanos, como de características geográficas y espaciales. Por esto, se seleccionaron variables que consideran las necesidades de la especie, tales como:

- Factores micro-climáticos que incluyen temperaturas mínimas, precipitaciones acumuladas anual y tolerancia a la sequía.
- Factores del suelo tales como pH, niveles de compactación, drenaje y salinidad
- Limitaciones en el espacio aéreo y bajo el suelo: cableado, presencia de alcantarillado o espacio para el desarrollo de raíces.

Para definir las variables de caracterización de especies de árboles urbanos, se consideraron los aspectos relacionados a su condición propia y su entorno. Se organizaron ocho (8) grupos de variables, entendiendo por éstas a la condición física de una característica de interés: a) de identificación (taxonómico), b) de procedencia, distribución y estado de conservación, c) morfología de la especie, d) de tolerancia a condiciones climáticas, e) de tolerancia a condiciones edáficas, f) relativas al emplazamiento, g) de carácter ornamental y h) relativas a mantención.

Se seleccionaron treinta y cuatro (34) variables organizadas en las categorías mencionadas anteriormente. Para cada una de ellas se presenta una definición, se describe su indicador, se fundamenta su inclusión y se listan las referencias que apoyan su justificación (Anexo 2).

Cabe señalar, que se podrían haber incorporado otras características que pudiesen tener alguna incidencia en la selección de especie, pero no fueron incluidas dada la escasa disponibilidad de información existente.

Los indicadores corresponden a atributos del árbol de fácil medición o evaluación o de identificación; Es la información que permite identificar cada una de las especies en relación a las variables propuestas. Se entiende por indicador un valor numérico o de clase que

describen el estado de un fenómeno o una variable nominal, que son usados como herramientas para resumir información sobre una condición del ecosistema².

Los indicadores se construyen a partir de categorías que caracterizan las especies y permiten identificar la variable que la representa. Éstos pueden ser de tipo cuantitativo (por ejemplo, el valor numérico de la altura) o cualitativo (por ejemplo, una especie que presenta follaje que cambia de color en otoño). Algunos de los indicadores evaluados de manera cuantitativa tienen respuestas de tipo binarias (sí o no), dado que la información no está disponible para la mayoría de especies. Es por esto que, por ejemplo, una variable como tolerancia a suelos compactados tendrá una respuesta de sí o no y no categorías adicionales que no se encontrarán disponibles para la mayoría de las especies de árboles. Similarmente sucede con la presencia de color estacional, la cual también es una variable con un indicador que es dicotómico, pero en este caso no es porque la información no está disponible, sino que se debe a que lo que interesa de esta característica es si presenta o no presenta un interés ornamental en relación al color y su estacionalidad. En el caso de estas variables dicotómicas la alternativa SI será la que representará simbología, no así la categoría NO³ (que no cuenta con simbología y, por ende, no aparecerá en la ficha de diseño propuesta).

La definición de las variables e indicadores propuestos fue justificada a partir de la revisión bibliográfica, la cual es detallada en la descripción, de cada una, de ellas en el Anexo 2.

A continuación, se presenta el listado de bibliografía consultada que permitió elaborar la matriz de información:

- USDA Plant Database, Urban Forest Ecosystem Institute de California⁴
- Inventario Nacional de Especies de Chile, Ministerio del Medio Ambiente⁵

² OECD, 2002. OECD Environmental Indicators: Towards Sustainable Development 2001. OECD Publishing.; Segnestam, L., 2002. Indicators of environment and sustainable development. Theories and Practical Experience. Environmental Economics Series Paper No. 89. The World Bank Environment Department, 66 p.

³ Las variables establecidas como dicotómicas facilitan la búsqueda de información dado que no existe el detalle a nivel nacional o internacional y porque se harían operativamente muy complejas. Por ejemplo, para la tolerancia a la salinidad no existe información específica para una gran cantidad de especies de cuantos miligramos por metro cubico de suelo o aire la planta es capaz de tolerar. Si se requiere tal exactitud sería necesario hacer estudios de fisiología vegetal en distintas ubicaciones para la misma especie y esto repetir para las especies que se considere como relevante.

⁴ <https://plants.sc.egov.usda.gov/java/>

⁵ Especies.mma.gov.cl

- Arbolado Urbano de Adriana Hoffmann⁶
- Flora Silvestre de Chile de Adriana Hoffmann⁷
- Flora de Valor Ornamental de Riedemann y Aldunate⁸
- Tree Species Selection for Green Infrastructure del Reino Unido⁹.
- Cornell's Woody Plant Database¹⁰
- Tree Browser Utah State University¹¹
- Selecting Trees for your Home University of Illinois¹²
- Deodendron de Chanes Rafael¹³
- Hirons y Sjöman¹⁴

Las fuentes antes citadas son confiables y permiten obtener información sobre las variables requeridas para completar la información de cada especie, la cual es validada científicamente tanto para especies, nativas como introducidas o exóticas.

No se incorpora directamente la provisión de servicios ecosistémicos desde el arbolado urbano como variable a considerar, dado que no existen datos cuantificables por especie. Los análisis de servicios ecosistémicos del arbolado urbano han sido dirigidos a entender qué pasa a nivel del grupo de árboles de un espacio verde, comuna o ciudad, no sobre las especies que prestan estos servicios.

El Consultor realizó una propuesta de indicadores de precipitación acumulada y temperaturas mínimas, a partir de la base de datos worldclim¹⁵ (clasificación elaborada en mapa vegetacional de Estados Unidos de Norteamérica (USA)), llamado USDA Plan

⁶ Hoffmann, A. (1998). El Árbol Urbano en Chile. Ediciones Fundación Claudio Gay. Tercera Edición. Santiago, Chile

⁷ Hoffmann, A. (1978). Flora Silvestre de Chile Zona Central. Fundación Claudio Gay, Stgo;

Hoffmann, A. (1980). Flora silvestre de Chile. Ed. Fundación Claudio Gay.;

Hoffmann, A. E. (1982). Flora silvestre de Chile. Vol. 2: Zona austral. Santiago: Ed. Fundación Claudio Gay, 1982; Hoffmann, A. E. (1982). Flora silvestre de Chile: Zona austral. austral, 1982. Ed. Fundación Claudio Gay.

Hoffmann, A. (1997). Flora silvestre de Chile, zona araucana. Editorial Claudio Gay. Santiago, Chile.

⁸ Riedemann, P. y Aldunate, G. (2003). Flora nativa de valor ornamental. Editorial Andrés Bello.

⁹ <http://www.tdag.org.uk/species-selection-for-green-infrastructure.html>

¹⁰ <http://woodyplants.cals.cornell.edu/home>

¹¹ <https://treebrowser.org/>

¹² <https://web.extension.illinois.edu/treeselector/>

¹³ Chanes, R. (1970). Deodendron, árboles y arbustos de jardín en clima templado". 75-93. Ed. Blume. España.

¹⁴ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group.

¹⁵ <http://www.worldclim.org/>

Hardiness Zone Map¹⁶, del cual se infirió que el comportamiento es similar al de Chile; Esta propuesta se encuentra en revisión por parte de la Contraparte Técnica, razón por la cual no se ha incorporado en este informe.

3.3.2. Propuesta de herramienta de caracterización de especies arbóreas

Para la elaboración de la herramienta se consideraron todas las variables propuestas en la sección anterior, junto a sus respectivos valores o indicadores.

La contraparte técnica propuso especies a poblar con información, las cuales se definieron a partir de consulta realizada por la contraparte técnica a profesionales a cargo del Convenio MINVU-CONAF (en el mes de octubre 2019), de las Secretarías Ministeriales sectoriales (SEREMI), de los Servicios de Vivienda y Urbanización (SERVIU) y de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Se acordó no repetir las especies, que la contraparte técnica, se encontraba desarrollando en contenidos (Anexo 5).

La herramienta se construye a partir de tabla (Excel), con columnas y filas en una plantilla. En las columnas se especifican los criterios de identificación del árbol, ocho categorías de caracterización con sus respectivas variables (34). En las filas se incorporaron veinte y cinco (25) especies arbóreas propuestas (tabla 11), cuya información fue recogida en bibliografía.

3.3.3. Elaboración ficha-tipo de especies de árboles

En base a la definición de categorías, variables y sus indicadores de especies de arbolado urbano, se desarrolló una propuesta simbología que da como resultado una propuesta de ficha tipo (Anexo 4). Esta ficha tipo fue completada con información de bibliografía para la especie chilena, *Araucaria angustifolia*.

La información de diagramación, enviada por el mandante se utilizó de base para la construcción de la ficha-tipo propuesta por el Consultor. Se incluyeron todas las variables definidas en esta consultoría, además de espacio para fotografías de la especie como de árbol completo, hoja, fruto y/o flor.

Se utilizó un programa de libre acceso llamado adobe XD (Versión: 23.1.32.2), de manera de entregar un formato que permita la construcción de la ficha-tipo; Software que puede

¹⁶ <https://planthardiness.ars.usda.gov/PHZMWeb/>

descargarse desde la página web de este software¹⁷: Este software permitió realizar las propuestas de diseño de todos los íconos propuestos y diagramación; Esta propuesta podrá ser editada y modificada por el mandante.

3.4. Propuesta de sensibilización y difusión sobre manejo del arbolado urbano

El objetivo fue proponer una hoja de ruta para realizar actividades de difusión y capacitación sobre la integración del arbolado urbano en espacios públicos, a profesionales y técnicos en instituciones públicas. Para ello se consideraron los resultados y productos obtenidos del presente estudio y las distintas etapas de desarrollo de un plan de arborización, desde el diagnóstico, selección, plantación, inspección, mantenimiento, monitoreo y reposición.

Este objetivo fue abordado a partir de las siguientes actividades:

- Identificación de variables reconocidas como críticas para los informantes calificados involucrados en el proceso de diagnóstico, diseño, construcción y mantenimiento.
- Construcción de diagrama de flujo de procesos de los proyectos de espacios públicos (plazas, parques como otros espacios verdes).
- Propuesta de contenidos mínimos de sensibilización a profesionales MINVU.

3.4.1. Identificar aspectos priorizados por informantes calificados involucrados en el proceso de diagnóstico, diseño, construcción y mantenimiento

Para identificar las principales variables que afectan el desarrollo del arbolado urbano, se diseñó una encuesta de selección múltiple a través de la herramienta survey monkey. Ésta es un software en línea que permite generar encuestas con respuestas de alternativas o abiertas. La encuesta fue propuesta por el consultor y revisada por la contraparte técnica para acordar el contenido final de ella.

En este proceso se definieron variables o aspectos prioritarios asociados a cada etapa involucrada en el arbolado urbano, por ejemplo: diagnóstico, diseño, construcción y mantenimiento. Se trabajó con la contraparte técnica el lenguaje utilizado en las preguntas de manera de ser transversal a todos los posibles encuestados de distintos servicios públicos y ámbito privado.

¹⁷ <https://creativecloud.adobe.com/apps/download/xd?promoid=BRLW38VW&mv=other>

La encuesta incluyó once (11) preguntas, las que se relacionaban con la definición de aspectos prioritarios para abordar correctamente un proyecto de arbolado urbano en sus diferentes etapas (Anexo 6).

Para la difusión y aplicación de la encuesta, se utilizó una base de datos entregada por el (MINVU) en cual se incluyó a personas de distintas instituciones públicas tanto nivel nacional y regional relacionadas con el arbolado urbano. El consultor proveyó una lista de académicos, profesionales públicos y del área privada que permitieran complementar la lista de encuestados entregada por la contraparte técnica. La encuesta fue respondida por profesionales de las siguientes instituciones:

- Minvu nivel central
- Secretarías Ministeriales de Vivienda y Urbanismo (SEREMI),
- Servicios Regionales de Vivienda y Urbanismo (SERVIU),
- Municipalidades,
- Corporación Nacional Forestal (Conaf),
- Universidades y organismos privados, como no gubernamentales

Para el análisis de datos se utilizó el programa computacional de planillas (excel). Con éste se realizaron gráficos y tablas que permitieron presentar los resultados de la encuesta. Para el análisis de las etapas referidas al manejo del árbol (diagnóstico, diseño, construcción, mantención y seguimiento) se presentan gráficos con sus respectivos porcentajes, con el objeto de reconocer las prioridades en las respuestas. El análisis se realizó de forma separada para cada una de las etapas descritas.

Los resultados obtenidos de la encuesta permitieron construir diagrama de flujo de procesos, ocupando el programa computacional bizagi presentado en la sección siguiente.

3.4.2. Propuesta de diagrama de procesos de espacios urbanos arbolados

Los resultados de la encuesta descrita permitieron realizar una propuesta de integración del manejo del árbol en los procedimientos de proyectos urbanos. Para lo cual se elaboró un diagrama de flujo; A partir de esta propuesta, se identificaron aquellas acciones e instancias que tienen directa relación con el manejo del arbolado urbano. Para el diagrama de flujo se ocupó la herramienta computacional bizagi modeler, la cual permitió establecer etapas identificadas en proyectos de arbolado urbano, cruzándolas con los hitos críticos identificados por los informantes que respondieron la encuesta.

El diagrama de flujo se complementa identificando los actores principales, de cada una de las etapas, donde se complementa información bibliográfica con el reconocimiento del ámbito de trabajo de los informantes calificados.

3.4.3. Propuesta de sensibilización a profesionales MINVU

En consideración a las cuatro etapas de un proyecto urbano, se realizaron recomendaciones en cuanto a los requisitos que deben cumplir los profesionales y técnicos, que participan en intervenciones asociadas a árbol urbano; Además, se propuso aquellas acciones que se deben realizar para cada etapa.

Finalmente, se propusieron medidas y contenidos de los resultados de este estudio, para profesionales con conocimiento de árboles, como para profesionales que no cuenten con conocimientos específicos de manejo de árboles, así como aquellos contenidos para público general.

4. RESULTADOS

En el presente capítulo, se incluyen todos los resultados obtenidos en la presente consultoría, los cuales son presentados de acuerdo a los objetivos establecidos.

4.1. Conceptos de arbolado urbano, paisaje urbano e infraestructura verde

El interés de incluir la Naturaleza como un componente principal en la planificación y desarrollo de ciudades sostenibles responde a las necesidades de las áreas urbanas de ser ambientes capaces de proveer calidad de vida a sus habitantes. Ante esto, a lo largo de los años han aparecido una serie de enfoques y disciplinas que han adoptado determinados conceptos que incluyen la estratificación de la vegetación (entre los cuales están los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo), dentro del ecosistema urbano (ciudades).

Los documentos relacionados con políticas en áreas urbanas comenzaron a utilizar el concepto de ‘bosques urbanos’ para referirse a los árboles presentes en las ciudades. Desde los años noventa, el concepto de arbolado se relacionó al concepto de ‘servicio ecosistémico’ que permeó en la planificación y la política urbana. Puesto que, a nivel global, se comenzó a reconocer el uso de un término antropocéntrico para fomentar la Naturaleza y la conservación ecológica, enfocados en la provisión de beneficios hacia las personas, que podían ser cuantificados económicamente.

Posterior al año 2000, se comenzó a utilizar el concepto de ‘infraestructura verde’ que dio relevancia a otros tipos de especies vegetales, distintas a los árboles, tales como arbustos y

herbáceas que se encuentran en las ciudades. En los últimos cinco años, el concepto de ‘soluciones basadas en la Naturaleza’ ha tomado preponderancia, incorporado en iniciativas de subvención, planificación y políticas urbanas, a través de un vínculo directo con la adaptación al cambio climático¹⁸. Algunos conceptos, anteriormente descritos, se presentan a continuación.

4.1.1. Marco conceptual asociado al Árbol Urbano

A continuación, se detallan algunos conceptos relacionados al arbolado y su integración en la ciudad, identificados de la revisión de antecedentes bibliográficos.

a) Arbolado urbano

Los árboles urbanos se encuentran en una gran variedad de entornos, desde áreas naturales, áreas de humedales y ríos, hasta áreas en ciudades tales como parques, calles, jardines, sitios eriazos y plazas. El lugar en que se desarrolla un árbol está compuesto por: árboles, arbustos, herbáceas, flores, así como suelo y agua que les permite nutrirse y sostenerse.

El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) identifica al arbolado urbano como grupos de árboles de parques urbanos, árboles en calles, paseo peatonal, parques, jardines, paseos fluviales y costeros, vías verdes, corredores fluviales, humedales, cinturones verdes y árboles en antiguos sitios industriales. Incluye toda la vegetación en y alrededor de las ciudades, desde pequeñas comunidades en entornos rurales hasta otras comunidades en áreas metropolitanas¹⁹.

La perspectiva europea entiende el bosque urbano, como el bosque en y alrededor de los centros urbanos, derivado de la tradición forestal de la ciudad. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación²⁰ define **“los bosques urbanos como redes o sistemas que comprenden todos los bosques, grupos de árboles y árboles individuales ubicados en áreas urbanas y peri-urbanas. Estos incluyen bosques, árboles de calles, árboles en parques, en jardines y árboles en sitios eriazos”** (FAO, 2016).

¹⁸ Escobedo F.J., Giannico V., Jim C.Y., Sanesi G. y Laforteza R. (2019). Urban forests, ecosystem services, Green infrastructure and nature-based solutions: nexus or evolving metaphors. *Urban Forestry & Urban Greening*. 37:3-12

¹⁹ Konijnendijk, C.C., Ricard, R.R., Kenney, A. y Randrup, T.B. (2006). Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4: 93-103

²⁰ FAO. (2016). Guidelines on urban and peri-urban forestry, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Se destaca la multifuncionalidad de los bosques urbanos, proporcionando servicios ecosistémicos relacionados con mejoras ambientales y sociales. El rol del arbolado urbano es el de proveer servicios ecosistémicos, beneficios de bienestar y salud a las personas, hábitat para fauna, además de una oportunidad para que las personas se conecten con la Naturaleza dentro de la misma ciudad.

Todas las definiciones resaltan la perspectiva multidisciplinaria de la silvicultura urbana, los arboricultores han sido los más destacados en los Estados Unidos por promover la disciplina, mientras que los profesionales forestales lo han realizado en Europa. Se destaca en ellas también la multifuncionalidad de los bosques urbanos, en relación a los diferentes ámbitos de servicios ecosistémicos que ellos prestan.

Se recomienda incorporar el uso de la definición propuesta por la FAO. Esta definición es la más adecuada de incluir en documentos de política, dado que destaca la multifuncionalidad, la diversidad, y lo reconoce como un sistema promoviendo las conexiones entre espacios y su distribución equitativa en la ciudad.

b) Paisaje Urbano

El paisaje urbano corresponde a un mosaico²¹ diverso de parches y de diferentes coberturas de suelo, distinguibles por su composición heterogénea. Este concepto incluye tanto espacios construidos como espacios verdes, los cuales tienen funciones y patrones de manejo diversos, por ejemplo parques naturales recreativos, cerros islas, condominios habitacionales y estacionamientos²².

Pauleit et al. (2017) definen paisaje urbano como una variedad de espacios verdes que pueden ser encontrados dentro del área urbana, abarcando desde vegetación en edificios, tales como balcones, techos y muros verdes, pasando por arbolado y otros tipos de vegetación cerca de edificaciones; Tales como: calles, líneas de tren, jardines residenciales, plazas de juego, distintos tipos de parques, espacios públicos institucionales, cementerios, infraestructura deportiva, jardines comunitarios; Incorporando también otros espacios abiertos verdes, como: cultivos agrícolas y frutales, bosques y matorrales, terrenos baldíos y dunas. Además, se consideran diferentes tipos de espacios azules tales como: lagos,

²¹ Sistema de elementos conectados

²² Forman, R.T.T. y Godron, M. (1986). Landscape ecology. John Wiley, New York

lagunas, ríos, canales, y el área costera, siempre y cuando se encuentren dentro del límite administrativo del área urbana²³.

De acuerdo a lo revisado se sugiere como definición adecuada la que deriva de la disciplina de la ecología del paisaje (Pauleit et al.), **es decir el paisaje urbano es un área formada por sub-áreas de distintas coberturas de suelo que incluye tanto elementos antrópicos como naturales**²⁴.

c) Infraestructura verde

Benedict y McMahon²⁵ definieron la **infraestructura verde como la red interconectada de espacios verdes que conserva valores y funciones naturales del ecosistema, además de proporcionar beneficios a las personas**. La Unión Europea lo define como una red estratégica de áreas naturales y semi-naturales con otras características ambientales, diseñadas y logradas para brindar una amplia gama de servicios ecosistémicos²⁶. Los componentes de la infraestructura verde se detallan en la Figura 1.

²³ Pauleit, S. & Zölch, T. & Hansen, R. & Randrup, T. & Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. 10.1007/978-3-319-56091-5_3.

²⁴ Pauleit, S. & Zölch, T. & Hansen, R. & Randrup, T. & Konijnendijk van den Bosch, C. (2017).

²⁵ Benedict, Mark & McMahon, Edward & Fund, The & Bergen, Lydia. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press. 22.

²⁶ EEA, European Environment Agency. (2019). Visitado en <https://www.eea.europa.eu/>



Figura 1. Componentes de la infraestructura verde y su relación con el arbolado urbano²⁷

La infraestructura verde utiliza vegetación, suelos y otros elementos para restaurar procesos naturales necesarios para gestionar el agua y crear entornos urbanos más saludables. Puede ser un mosaico de áreas naturales que proporcionan hábitat a otras especies, protección contra inundaciones, proveen aire y agua más limpios, o pueden ser sistemas de gestión de aguas pluviales que imitan la naturaleza, la percolación del agua en el suelo y el almacenamiento de agua.

La infraestructura verde posee diversas funciones, tales como entregar hábitat para fauna, mitigación al cambio climático y entregar belleza escénica entre otros, lo que se traduce en múltiples beneficios a las personas asociados a los servicios ecosistémicos que ésta genera. De igual forma, la infraestructura verde favorece un uso sostenible y eficiente de los recursos, tanto económicos, como naturales (agua y suelo). Su funcionalidad opera en múltiples escalas, desde pequeñas características lineales hasta ecosistemas funcionales complejos, y puede contribuir a diferentes contextos sociales, siendo aplicable en áreas

²⁷ www.charteredforesters.org

urbanas, peri-urbanas y rurales. El objetivo final del uso de infraestructura verde es brindar múltiples servicios ecosistémicos y mejorar la calidad de vida de las personas ²⁸.

En los Estados Unidos, este término se define como un enfoque rentable y resistente para enfrentar los impactos del clima húmedo evitando inundaciones proporcionando múltiples beneficios para la comunidad²⁹.

Cuando se enfoca la infraestructura verde en el manejo de cuerpos de agua, se denomina infraestructura azul. Esta persigue recrear el ciclo del agua y contribuir a la amenidad de la ciudad al conectar el manejo del agua con la infraestructura verde dentro de la misma ciudad. Esto se produce cuando se combinan y protegen los valores ecológicos e hidrológicos del paisaje urbano, adoptando medidas adaptativas y de resiliencia para enfrentar eventos como inundaciones.

La construcción de infraestructura azul, busca satisfacer la demanda del drenaje urbano y la planificación a través de estrategias coherentes e integradas, incluyendo:

- i) Sistemas de Drenaje Sustentables (término usado en UK),
- ii) Diseño Sensible al Agua (término usado en Australia³⁰)
- iii) Desarrollo de Bajo Impacto (término usado en Estados Unidos³¹).

Complementario a los dos términos mencionados anteriormente, se describe la infraestructura gris. Este término se refiere a la infraestructura desarrollada por ingeniería para el manejo de los recursos de agua que suplen las necesidades de las personas, tales como el drenaje del agua proveniente del uso doméstico (lavaplatos, baños), plantas de tratamiento de aguas servidas, sistemas de drenaje y reservorios de agua potable en las ciudades. La infraestructura gris es la manera tradicional para abordar el manejo del agua en la ciudad³².

²⁸ European Commission. (2012). The multifunctionality of green infrastructure. *Science for Environment Policy. In depth reports. Brussels*. 1-36.

²⁹ EPA, Environmental Protection Agency. (2018). Visitado en <https://www.epa.gov/>

³⁰ <http://www.bluegreencities.ac.uk/about/blue-greencitiesdefinition.aspx>

³¹ <https://www.pca.state.mn.us/water/stormwater-management-low-impact-development-and-green-infrastructure>

³² <http://www.albertwater.com>

De acuerdo a lo revisado en este estudio se sugiere ocupar la definición por Benedict y McMahon, ya que destaca el carácter multifuncional, conectado y que propende a la equidad en su distribución.

d) Soluciones basadas en la Naturaleza

La **Comisión Europea** ³³ define este concepto como **la resolución de problemas y necesidades de las personas, imitando las respuestas que entrega la naturaleza ante problemas similares.** Estas soluciones son diseñadas para abordar desafíos sociales de manera eficiente y adaptable a los recursos, además de proporcionar simultáneamente beneficios económicos, sociales y ambientales.

La International Union for Conservation of Nature (IUCN) lo define como **acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales y los modificados, abordando desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, y proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad**³⁴. Además, aborda las temáticas sobre seguridad alimentaria, cambio climático, seguridad del agua, salud humana, riesgo de desastres, desarrollo social y económico. Se complementa con soluciones tecnológicas o de ingeniería y está determinada por contextos naturales y culturales específicos de cada sitio. Este organismo promueve desde inicios de los años 2000, el desarrollo de soluciones basadas en la Naturaleza, siendo un referente en esta línea de trabajo: *“El concepto de las Soluciones basadas en la Naturaleza, contempla acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, son costo-efectivas para enfrentar el cambio climático, el riesgo de desastres, la seguridad hídrica y alimentaria, salud humana y desarrollo socio-económico. Estas aportan simultáneamente al bienestar humano y generan beneficios para la biodiversidad (Cohen-Shacham, et. al, 2016). Este enfoque, permite el diseño sostenible de los sistemas urbanos en América Latina y el Caribe, y responde a los diversos desafíos de la región que continuará creciendo en las próximas cuatro décadas. Actualmente, existen varias iniciativas que impulsan Soluciones basadas en la Naturaleza para zonas urbanas en Europa, que son una base de conocimiento para ser adaptadas y aplicadas en Latinoamérica y el Caribe, considerando las diferencias culturales y ecosistémicas. Parte de ellas son el Urban Nature Alliance, que permite estandarizar cómo las ciudades miden su capital natural y crear conciencia sobre los beneficios de preservar los*

³³ Bauduceau, N., Berry, P., Cecchi, C., Elmqvist, T., Fernandez, M., Hartig, T., Mayerhofer, E., Naumann, S., Noring, L., Raskin, K., Rooze, E., Sutherland, W., y Tack, J. (2015). Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-based Solutions & Re-naturing Cities: Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-based Solutions and Re-naturing Cities'.

³⁴ IUCN, International Union for Conservation of Nature. Visitado en <https://www.iucn.org/>

ecosistemas urbanos. También están las iniciativas Oppla, repositorio de la Unión Europea de las SbN y la OpenNESS, que traduce los conceptos de servicios ecosistémicos y capital natural en marcos operativos, entre otros”³⁵.

En los Estados Unidos, es más común el uso del concepto de **“Capital natural” para denominar el stock o disponibilidad de recursos renovables y no renovables que se combinan para producir un flujo de beneficios para las personas**³⁶. Es una acción desde la cual fluyen servicios o beneficios del ecosistema que pueden proporcionar resultados económicos, sociales, ambientales y culturales. Es un marco que proporciona ayuda a los tomadores de decisiones para comprender la forma compleja en que la naturaleza, la sociedad y los impactos económicos dependen unos de otros e interactúan entre sí³⁷.

e) Suelos urbanos

Bajo el contexto de análisis del presente estudio, se entrega una propuesta de definición del término suelo urbano, entendiendo que éste es un componente relevante para el desarrollo y manejo del árbol urbano. Por tanto, se entiende este término cuando corresponde a aquella capa superficial de suelos intervenidos por la acción antrópica, ampliamente influenciados por actividades humanas emplazadas en las ciudades. Se refiere a suelos compuestos por mezclas de diversos tipos de suelos intervenidos, que difieren de aquellos naturales emplazados en áreas adyacentes naturales y que están presentes en una capa, mayor a 50 cms. de profundidad; En general, su composición y estructura se encuentra mezclados con residuos de materiales de construcción. Se caracterizan por estar conformados mediante importación y exportación de suelos de diversos lugares, pudiendo estar contaminados por metales pesados, presentar alta salinidad o PH extremos que pueden llegar a ser tóxicos.

Morel et al. (2005) definen los suelos urbanos, como los suelos en parques y jardines que están más cerca de los suelos agrícolas, pero que tienen una composición, uso y manejo diferentes en comparación con los suelos en áreas naturales o agrícolas. Los suelos que resultan de diferentes actividades de construcción y que a menudo están sellados bajo una superficie impermeable, también se consideran suelos urbanos. **Los suelos urbanos influyen en la salud humana, la vegetación que crece sobre ellos, los organismos del suelo**

³⁵ https://www.capitalbiodiversidad.cl/wp-content/uploads/2020/01/PolicybriefsCompilado_10-01-20-1.pdf

³⁶ Natural Capital Coalition. (2019). Visitado en <https://naturalcapitalcoalition.org/>

³⁷ Natural Capital Coalition. (2019). Visitado en <https://naturalcapitalcoalition.org/>

(microfauna como lombrices e insectos edáficos) y en la infiltración de agua (usualmente presentan altos grados de compactación)³⁸.

f) Procesos y funciones ecológicas

Son aquellas capacidades de los procesos y de los componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen directa o indirectamente las necesidades humanas³⁹.

Implica el análisis de escalas múltiples e incluye interacciones entre elementos espaciales, es decir, flujos de energía, material y especies⁴⁰. A partir de estos procesos y funciones del árbol urbano se detonan los servicios ecosistémicos que proveen beneficios para la salud humana.

g) Servicios ecosistémicos

El arbolado urbano es un componente natural presente en las ciudades, que brinda una variedad de beneficios a las personas, beneficios que son llamados servicios ecosistémicos⁴¹. Estos servicios ecosistémicos deben ser incorporados en la planificación y desarrollo urbano⁴². Los árboles y la vegetación presentes en áreas urbanas se configuran como los principales contribuyentes en la **regulación del clima** (a partir de su transformación), la recreación y la purificación del aire⁴³. Varios estudios han abordado las

³⁸ Morel J.L., Schwartz C., Florentin L. y de Kimpe C. (2005). Urban Soils. Encyclopedia of Soils in the Environment. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 202-208

³⁹ De Groot, R.S., Wilson, M.A. y Boumans R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*. 41:393–408.

⁴⁰ Forman, R.T.T. y Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley, New York

⁴¹ Dobbs, C., Escobedo, F.J. y Zipperer, W.C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*. 99:196–206; Escobedo, F.J., Kroeger, T. y Wagner, J.E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*. 159:2078-2087; Pataki, D. E., M. M. Carreiro, J. Cherrier, N. E. Grulke, V. Jennings, S. Pincetl, R. V. Pouyat, T. H. Whitlow, y Zipperer, W. C. (2011). 'Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions' *Frontiers in Ecology and the Environment*. 9:27-36.

⁴² Niemelä, J., Saarela, S., Söderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pelkonen, V., Väre, S. and J. Kotze. (2010). Using the ecosystem service approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation*. 19:3225-3243.; Cilliers, S., Cilliers, J., Lubbe, R. y Siebert, S. (2012). Ecosystem services of urban green spaces in African countries—perspectives and challenges. *Urban Ecosystems*. 16:681–702.

⁴³ Cilliers, S., Cilliers, J., Lubbe, R. y Siebert, S. (2012). Ecosystem services of urban green spaces in African countries—perspectives and challenges. *Urban Ecosystems*. 16:681–702.; Dobbs, C., Escobedo, F.J. y Zipperer,

contribuciones positivas (servicios) y negativas (dis-servicios) de los bosques y árboles urbanos, que pueden afectar el bienestar humano a diferentes escalas⁴⁴.

Los beneficios proporcionados por el bosque urbano hacen una contribución importante a la capacidad de recuperación del sistema socio-ecológico urbano, amortiguando el efecto de perturbaciones externas, mitigando y adaptándose a dichas presiones, un ejemplo de ello es la variación de las temperaturas extremas derivadas del fenómeno del cambio climático. La **provisión de enfriamiento del aire**, por parte del bosque urbano puede reducir las temperaturas máximas hasta en 2,1°C⁴⁵; Ayudando a mitigar los efectos a largo plazo del cambio climático a través del sombreado, lo que puede reducir las temperaturas locales, los efectos de las islas de calor urbanas y mejorando la calidad de vida de las personas⁴⁶.

Otros beneficios contemplan mejorar el bienestar de las personas reduciendo los impactos negativos del ambiente urbano sobre la salud de las personas, algunos de ellos, la **promoción del confort térmico**⁴⁷ y emergencias por enfermedades cardiovasculares,

W.C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*. 99:196–206.; De Groot, R.S., R. Alkemade, L. Braat, L. Hein, y Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*.7:260-272.

⁴⁴ Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., David, J., Crane, E. and J.C. Stevens. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States' *Urban Forestry and Urban Greening* vol. 4, pp. 115–123.; Lyytimäki, J., Petersen, L.K., Normander, B. y Bezák, P. (2008). Nature as a nuisance? Ecosystem services and disservices to urban lifestyle. *Environmental Science*. 5:161–172.; Dobbs, C., Escobedo, F.J. y Zipperer, W.C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*. 99:196–206.; Escobedo, F.J., Kroeger, T. y Wagner, J.E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution* 159: 2078-2087; Cilliers, S., Cilliers, J., Lubbe, R. y Siebert, S. (2012). Ecosystem services of urban green spaces in African countries—perspectives and challenges. *Urban Ecosystems*. 16:681–702.

⁴⁵ Livesley, S. J., McPherson, E. G., y Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of environmental quality*, 45(1), 119-124.

⁴⁶ Dobbs, C., Martinez-Harms M. y Kendal, D. (2018). Ecosystem services. In Ferrini, Konijnendijk van den Bosch C., Fini (Eds.) *Routledge Handbook of Urban Forestry*. Earthscan from Routledge, London and New York.

⁴⁷ Konarska, J., Lindberg, F., Larsson, A., Thorsson, S., y Holmer, B. (2014). Transmissivity of solar radiation through single urban trees—application for outdoor thermal comfort modelling. *Theoretical and applied climatology*, 117(3-4), 363-376.

cuando se mantienen las altas temperaturas en la noche⁴⁸, la disminución en la incidencia de enfermedades respiratorias⁴⁹.

Las primeras definiciones de servicios ecosistémicos se refieren a las condiciones y procesos, a través de los cuales los ecosistemas naturales, como las especies que los componen, sostienen y satisfacen la vida humana⁵⁰. Más tarde, Costanza et al. (1997)⁵¹ los definió como aquellos beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente, desde las funciones del ecosistema.

El concepto fue más ampliamente utilizado, cuando se definió en el Informe de Evaluación de Ecosistemas del Milenio en 2003 (Millennium Ecosystem Assessment, MEA), entendido como los **beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas**⁵². Luego, en 2010, The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2011) lo definió como **las contribuciones directas e indirectas desde los ecosistemas al bienestar humano**⁵³.

La Unión Europea⁵⁴ y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)⁵⁵ utilizan definiciones similares. El gobierno de China⁵⁶ los define como las condiciones y las funciones ambientales naturales formadas y sostenidas por los ecosistemas forestales y sus procesos ecológicos, de los que dependen los seres humanos, incluida la **conservación del agua y el suelo**, la concentración de dióxido de carbono y la producción de oxígeno, la **acumulación**

⁴⁸ (<https://cnnespanol.cnn.com/2019/09/09/olas-de-calor-en-francia-estan-relacionadas-con-1-500-muertes/>)

⁴⁹ Chakre, O. J. (2006). Choice of eco-friendly trees in urban environment to mitigate airborne particulate pollution. *Journal of human ecology*, 20(2), 135-138.

⁵⁰ Daily, G.C. (1997). Introduction: what are ecosystem services. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. 1(1).

⁵¹ Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. y van den Belt, M., (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387:253–260

⁵² MEA. (2003). 'Ecosystems and human well-being' In *Ecosystems and Human Well-being: a Framework for Assessment*. Island Press, Washington, D.C.

⁵³ TEEB. (2011). TEEB manual for cities: Ecosystem services in urban management, *The Economics of ecosystems and biodiversity (TEEB)* www.teebweb.org.

⁵⁴ https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Ecosystems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_EN.pdf

⁵⁵ www.epa.gov

⁵⁶ Liu J., Li S., Ouyang Z., Tam C., Chen X. 2008. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *PNAS* 105, 9477-9482

de nutrientes, la limpieza de los ambientes atmosféricos, efectos de blindaje, conservación de la biodiversidad y recreación forestal.

De acuerdo con **Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2003 u Objetivos de Desarrollo del Milenio, ODS 2003)**, los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro categorías: **provisión, regulación, soporte y culturales**; sus definiciones son:

- **Provisión:** producción de bienes y productos generados por los ecosistemas, tales como fruto, hongos, agua, aire limpio y sombra.
- **Regulación:** procesos ecosistémicos que afectan al clima, desastres naturales como inundaciones y la calidad del agua.
- **Culturales:** beneficios no materiales provenientes de los ecosistemas, tales como el desarrollo cognitivo, la recreación y las experiencias estéticas.
- **Soporte o apoyo:** asociados a procesos ecológicos en pos de la provisión y la producción de los demás servicios ecosistémicos como la formación del suelo y el ciclo de nutrientes.

Los servicios ecosistémicos más comúnmente evaluados son los de regulación, como la eliminación de la contaminación del aire y el almacenamiento y secuestro de carbono.

Menos estudios se han centrado en servicios culturales, a menudo limitados a recreativos y estéticos⁵⁷.

En la Tabla 1 se detallan los tipos de servicios ecosistémicos, que el árbol entrega a las personas y ciudades.

⁵⁷ Haase, D., Larondelle, E., Andersson, M., Artmann, S., Borgström, J., Breuste, E., Gomez-Baggethun, Å., Gren, Z., Hamstead, R., Hansen, N., Kabisch, P., Kremer, J., Langemeyer, E. L., Rall, T., Mc Phearson, S., Pauleit, S., Qureshi, N., Schwarz, A., Voigt, D., Wurster, y Elmqvist, T. (2014). A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *Ambio*. 43:413-433

Tabla 1. Ejemplos de servicios ecosistémicos entregados por bosques urbanos, según ODS 2003

Categoría	Servicio ecosistémico	Función ecosistémica	Beneficios para el bienestar humano
Regulación	Regulación del clima global	Secuestro de carbono	Cambio climático global
Regulación	Regulación de microclima	Mejora de temperaturas bajo sombra	Comodidad térmica
Regulación	Regulación de la calidad de aire mediante filtración de material particulado y CO2	Remoción de contaminación y captación de material particulado.	Aire limpio, disminución de enfermedades respiratorias.
Regulación	Regulación de inundaciones	Intercepción de lluvia	Reducción de áreas inundadas
Regulación	Mantención de la calidad del suelo	Ciclo de nutrientes del suelo y fertilidad	Reducción en uso de fertilizantes
Regulación	Polinización y dispersión de semillas	Movimiento de polen	Biodiversidad, producción de miel
Regulación	Reducción de ruido	Amortiguación del ruido del tráfico	Contaminación acústica
Soporte	Mantención de la genética y diversidad biológica	Sustentabilidad de procesos ecológicos	Resiliencia y sustentabilidad de los bosques urbanos en las ciudades
Soporte	Aprovisionamiento de hábitat	Refugio para vida silvestre y hábitat humano	Conexión con la naturaleza
Provisión	Seguridad alimentaria	Producción de fruta	Agricultura urbana
Cultural	Recreación	Espacio para recreación	Salud física y psicológica
Cultural	Estética	Belleza escénica	Incremento del plusvalía de propiedades aledañas

Cultural	Herencia natural y educación	Conservación de especies nativas	Conexión con la Naturaleza Conexión espiritual Protección del patrimonio natural
Cultural	Sentido de pertenencia	Conservación de espacios verdes y naturaleza urbana	Orgullo de pertenecer al vecindario
Cultural	Salud física y psicológica	Efecto sanador a través de la conexión con los sentidos, belleza escénica.	Disminución de estrés, ansiedad y depresión, ambiente más verdes incentivan a realizar ejercicio.
Cultural	Ecoturismo	Conservación de la naturaleza en áreas urbanas	Turismo y disfrute físico y psicológico

Fuente: Adaptado de Dobbs et al., 2018.

h) Biodiversidad

La importancia de la biodiversidad en la ciudad se enmarca en los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU⁵⁸ (ODS-ONU, 2019) específicamente en la meta N°15 sobre “Vida en ecosistemas terrestres”. **El rol del árbol en la biodiversidad, como en la ciudad, es entregar alimentos y hábitat para promover la vida de distintas especies dentro de ésta;** Por ejemplo, aves e insectos son polinizadores que permiten la propagación de semillas y de especies. Por lo anterior, es importante promover una alta diversidad de especies de árboles en las ciudades para proveer soporte, hábitat y alimento para el desarrollo de una mayor cantidad de especies de vida silvestre, como animales, aves e insectos.

Se entiende como **biodiversidad a la variedad de todos los seres vivos**, incluidas plantas, animales, hongos, microorganismos y que conforman una amplia variedad de ecosistemas sobre los que viven. Estos organismos vivos que conforma la biodiversidad, se estructuran a diferentes niveles: relativo a aspectos genético, en relación a las especies y sus caracteres funcionales, respecto a los ecosistemas y los paisajes. Al resaltar la biodiversidad, se busca reconocer el valor de la variedad de seres vivos, **para el funcionamiento y resiliencia del**

⁵⁸ ONU, 2019. Metas de Desarrollo Sostenible. Recuperado en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

arbolado urbano, por tanto, el manejo y planificación de éste incide en la biodiversidad (flora y avifauna) urbana.

4.1.2. Integración del concepto de arbolado urbano en documentos nacionales utilizados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo

El uso del concepto de arbolado urbano fue revisado y analizados en documentos nacionales del mandante. Los resultados de esta revisión se describen en la Tabla (2) siguiente:

Tabla 2. Inclusión y consideración del concepto de arbolado urbano en documentos públicos

Documentos técnicos	Arbolado Urbano
Manual Técnico de Construcción y requisitos mínimos para parques, plazas áreas verdes y deportivas - MINVU	Hace referencia a especificaciones técnicas sobre la selección, trasplante, extracción, plantación y mantención de árboles en áreas verdes y deportivas. No es un documento que establezca una política, ni utiliza el árbol como un elemento estructurante dentro de las áreas urbanas.
Manual de Elementos Urbanos Sustentables - MINVU	Hace recomendaciones para un desarrollo sustentable de las áreas públicas. Si bien el árbol no es elemento principal, si cumple un rol como elemento urbano y se recomienda una selección acorde a las condiciones climáticas de su establecimiento, al uso del riego para ellos, de manera eficiente y con elementos que ayuden a la captación de aguas lluvias, entre otras. Además, hace hincapié en considerar componentes del árbol que puedan dañar los pavimentos o mobiliarios considerándolo como interacciones negativas y situaciones benéficas como proporción de sombra se define como interacciones positivas.
Manual de diseño: La Dimensión Humana en el Espacio Público - MINVU	El árbol es considerado como un elemento propio de áreas verdes, pero no especifica, ni incluye su valor determinante en la influencia un espacio público para que se desarrolle a escala humana. Genera recomendaciones de cómo diseñar, pero no incluye al árbol como parte elemental del diseño para cumplir el objetivo.
Árboles Urbanos de Chile – CONAF	Este documento técnico reconoce al árbol como elemento estructurante del paisaje en las ciudades y nace como estrategia para difundir el conocimiento de los árboles que habitualmente encontramos en la ciudad, donde se encuentran las características morfológicas y para la identificación de las especies.

Manual de Plantaciones en Áreas Urbanas - CONAF	Documento que trata y ejemplifica los factores y recomendaciones para el éxito en el establecimiento del arbolado urbano. Documento técnico que, si bien no tiene un fin de política pública, si puede ser utilizado como instrumento para el establecimiento de arbolado urbano. Además, se encuentra un análisis y resumen de las políticas que afectan al arbolado.
Manual de Protocolos de Especies Utilizadas por el Programa de Arborización- CONAF	Manual para la producción de plantas que se encuentran en el programa de arborización. Documento técnico que contiene información de especies vegetales, sus requerimientos y características morfológicas y ecológicas.
Manual de áreas verdes para proyectos concesionados del Ministerio de Obras Públicas - MOP	Documento con recomendaciones y especificaciones para el manejo de la concesión de áreas verdes públicas. Describe el fin de los proyectos de paisajismo solo centrado en lo estético.
Guía de Arborización Urbana de la Región Metropolitana – ACHIPPA (Asociación Chilena de Profesionales del Paisaje)	Documento con recomendaciones de selección de especies para la Región Metropolitana y con especificaciones técnicas para el establecimiento del arbolado urbano. Cuenta con descripción de variables específicas para un set de especies nativas y exóticas que se pueden utilizar en la Región Metropolitana.
Herramienta de Evaluación de Sustentabilidad en los Espacios Públicos - MIMVU-CORFO_ Universidad del Bío Bío	Descripción de herramienta HESEP para la evaluación de sustentabilidad de áreas públicas donde se definen criterios e indicadores algunos obligatorios y otros voluntarios. De la variable confort se considera el criterio ambiental donde se busca la reducción de contaminantes atmosféricos. Para ello, la vegetación cumple un rol determinante en la absorción de CO ₂ , en la retención de material particulado y mejora significativamente las condiciones del hábitat urbano. Se entregan valores de captación por especies tCO ₂ /ha/año. Además, se incluyen variables de Biodiversidad y la altura del árbol.
Nº Resolución 2166. Itemizado técnico de obras para proyectos asociados al capítulo 1, D.S. Nº 27 (V.y U.) de 2016.	Este documento hace referencia al arbolado urbano de manera técnica como debe ser abordado el establecimiento en consideración con la infraestructura presente. Además de las características de las especies que se deben conocer para la selección en un proyecto.
Programa de plantación de CONAF	CONAF tienen distintos programas de plantación en áreas urbanas, estos incluyen un programa de arborización que fomentan la plantación tanto de nativas y exóticas y promueven la sostenibilidad de la plantación. Trabajan con organizaciones, las cuales pueden ser sociales.
Plan Nacional de Adaptación al cambio climático	No aparece mención al arbolado urbano.

Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025	Sólo se hace mención, referido a plantaciones peri-urbanas para restauración después de incendios o el manejo forestal para prevención de incendios.
Política Nacional de Desarrollo Urbano (2014)	Aparece dentro del objetivo 3.1 sobre los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de las intervenciones en el territorio, especificando se debe valorar la silvicultura urbana y la masa vegetal, el aporte de los árboles en la conformación del espacio público y en las condiciones ambientales del ecosistema urbano. En un segundo punto se menciona que se debe integrar la silvicultura urbana en la planificación. No hay ninguna especificación de cómo se incorpora, ni que se deriva de la incorporación del arbolado en la política de desarrollo.
Estrategia Nacional de Construcción Sustentable	Sólo se hace mención, como línea de acción al incremento de áreas verdes, pero no al arbolado en sí o detalles más allá de cómo serán estas áreas verdes que se promueven.
Convenio Minvu-CONAF	Se incentiva y facilita el trabajo conjunto entre ambas instituciones, promoviendo transferencia de conocimiento, asesorías y desarrollo de proyectos en conjunto relativo al fomento técnico del arbolado urbano y la naturalización de las ciudades.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa alta presencia de información referente al establecimiento de las especies vegetales y de la forma de plantación, con diferencias en el uso de conceptos técnicos (lenguaje) que varían según la institución que elabora el documento. Los documentos formulados por CONAF incluyen un lenguaje botánico, como en el caso del Manual de Plantaciones en Áreas Urbanas.

La información en un lenguaje arquitectónico es entregada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) en el Manual de Áreas Verdes para proyectos concesionados o por el MINVU en el Manual Técnico de Construcción y requisitos mínimos para parques, plazas, áreas verdes y áreas deportivas.

Con la aprobación del “Itemizado técnico de obras para proyectos asociados al capítulo primero: Proyecto para el equipamiento comunitario, del programa de mejoramiento de viviendas y barrios regulado por el D.S. Nº 27 (V. y U.) de 2019” se hace un primer acercamiento al reconocimiento del árbol como un elemento importante dentro de las consideraciones de este documento.

Establecer un lenguaje, conceptos y definiciones en común permitirá unificar esfuerzos en la difusión de información relativa al manejo de los árboles urbanos, para todos los profesionales que tengan injerencia en este proceso. De los documentos revisados, el que utiliza un lenguaje común e incorpora conceptos arquitectónicos y botánicos es de Asociación Chilena de Profesionales del Paisaje (ACHIPPA) en la Guía de Arborización Urbana de la Región Metropolitana.

Se desprende de la revisión de estos documentos, que el arbolado urbano cuenta con una legislación débil, no centralizada, que permite distintas interpretaciones desde el código civil a las ordenanzas municipales o Ministerio de Agricultura. La pregunta sobre qué o quién rige a nuestros árboles, no queda respondida, pues atañe a varios actores sociales.

No se encuentra una visión estratégica o política sobre el manejo en espacios públicos y privados de nuestros árboles, en cuanto a directrices sólidas para la toma de decisiones. El tema del arbolado en las ciudades se encuentra carente de una política integral, que reconozca a la vegetación (o la naturaleza en la ciudad) como elemento fundamental de la ciudad sustentable y resiliente, donde su rol en la mitigación y adaptación al cambio climático o su rol de mejorar la salud de las personas no queda expuesto con claridad.

De este análisis, se destaca la **necesidad de contar con un documento de carácter estratégico, que defina los lineamientos en cuanto a la importancia y participación de los árboles en las ciudades para guiar la gestión y manejo del arbolado urbano en el futuro.** Así, se lograría una coherencia transversal de los documentos técnicos existentes que abordan esta temática y que han sido desarrollados a distintos niveles (nacional, regional y local).

4.2. Identificación elementos urbanos críticos para el desarrollo del arbolado

Se entiende por elementos urbanos a aquellos objetos del espacio público, que cumplen una función determinada y se encuentran asociados a mobiliario urbano, infraestructura y servicios básicos.

Ciertos elementos urbanos afectan al desarrollo del árbol urbano, cuando impide o limita el establecimiento o crecimiento, tanto de raíces como de la estructura aérea (copa, ramas y hojas), afectando no sólo a las estructuras físicas del árbol, sino que también a sus procesos internos metabólicos (producción de hormonas, procesos fotosintéticos, respiración, etc.), lo que se traducen en árboles debilitados, enfermos, dañados, de mala calidad y estresados. Estos elementos afectan todas las etapas del ciclo de vida del árbol, por lo general mermando su crecimiento y su capacidad para proveer servicios

ecosistémicos. Uno de los conflictos más recurrentes es en relación a la altura del cableado eléctrico o la profundidad de los ductos de servicios de agua, desagües, y telecomunicaciones, altura y emplazamiento del mobiliario como señalética, paraderos, entre otros⁵⁹.

4.2.1. Elementos urbanos críticos

El criterio ocupado en este estudio para identificar aquellos elementos urbanos críticos para el establecimiento y el desarrollo del árbol urbano se define por medio de la pérdida o la disminución de los beneficios, que éstos entregan a las personas, es decir sus servicios ecosistémicos. Los elementos urbanos críticos condicionan la salud de los árboles, restringiendo su funcionamiento, vitalidad y desarrollo natural; En algunos casos se puede dar que se adelante la senescencia y la muerte del árbol. Si estos elementos no son identificados y manejados, en lo posible en una etapa temprana en los proyectos (durante el diagnóstico y diseño) se gatilla estrés en los árboles (árboles en malas condiciones), generando un crecimiento deficiente y mayor susceptibilidad a daños (como, por ejemplo, de plagas y enfermedades o debilitando el árbol ante inclemencias climáticas).

Un claro ejemplo de ello, se produce para árboles que están limitados en su crecimiento en altura por la presencia del cableado eléctrico. Las ramas de la copa no logran un crecimiento ni desarrollo adecuados, por tanto, el beneficio de entrega de sombra se ve disminuido. Así mismo, es posible encontrar daños en la red radicular de árboles debido a redes o sistemas subterráneos como de alcantarillado y/o de telecomunicaciones, a modo de ejemplo.

Estudiar y, especialmente entender el entorno, como la geografía y el ambiente, donde el árbol crecerá, permite definir de manera adecuada la especie que sea más correcta para crecer en dichas circunstancias, lo que asegura el éxito en su establecimiento y desarrollo, minimizando sus mantenciones en el largo plazo y reduciendo los costos asociados a dichas mantenciones⁶⁰. Esto tiene relación con el sitio, donde se establecen los individuos y sus futuras interacciones con las personas y su entorno, además de los manejos posteriores que se realizarán luego de su plantación.

Como elementos críticos ligados al sitio de emplazamiento del árbol se reconocen aquellos que interactúan con:

⁵⁹ MINVU. 2017. Manual de elementos urbanos sustentables. Tomo I: Sustentabilidad en el espacio público y recomendaciones para Chile.

⁶⁰ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group.

- La disponibilidad de sustrato, libre de obstáculos, para el desarrollo de raíces,
- La provisión de espacio aéreo para el crecimiento de sus ramas y copa,
- La exposición del árbol a contaminantes, entre otros.

En cuanto a los elementos críticos ligados a las personas se debe considerar el tipo y frecuencia de interacción, por ejemplo, si un paso peatonal está bloqueado por la copa del árbol esto puede ocasionar una “poda espontánea”. Es por esto que la accesibilidad y el conflicto con la movilidad de las personas serán determinantes para el desarrollo exitoso de éste.

En la investigación realizada por Hirons y Sjöman⁵⁴ se presentan 12 conflictos de elementos urbanos, que interfieren en el desarrollo del arbolado. Se incluyen fenómenos producidos por la interacción entre el elemento urbano con temperaturas (islas de calor) y con el viento (corrientes de aire). La justificación de estos elementos, su relación con alguna característica del árbol y la definición del elemento se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 3. Elementos urbanos críticos que afectan al establecimiento y desarrollo del arbolado urbano

N°	Elemento Urbano	Conflicto	Relación con Variable del Árbol
1	Alcorque o emplazamiento	Condiciona el óptimo desarrollo de los árboles al limitar la exploración radicular	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura ● Tasa de crecimiento Forma de la Raíz ● Tolerancia a suelos saturados ● Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
2	Cañerías subterráneas, alcantarillado, cimientos de edificios	Limita profundidad y volumen de suelo disponible, para crecimiento de raíces. Raíces podrían dañar cañerías y levantar cimientos	<ul style="list-style-type: none"> ● Tasa de crecimiento ● Forma de la raíz ● Adaptabilidad al suelo ● Ubicación recomendada ● Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
3	Sustrato	Uso de sustratos y suelos de relleno, sin nutrientes, contaminados, con alta presencia de rocas, basura o escombros, compactados, con baja proporción de materia orgánica, impermeables	<ul style="list-style-type: none"> ● Tasa de crecimiento ● Forma de la Raíz ● Adaptabilidad al suelo ● Tolerancia a la salinidad ● Tolerancia a suelos compactados

4	Cableado eléctrico	Superposición de follaje con cableado eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Altura • Ancho de la copa • Longevidad • Forma de la copa • Ubicación recomendada • Requerimiento de poda • Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
5	Cercanía a edificaciones	Superposición de la copa con construcciones	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho de la copa • Forma de la raíz • Forma de la copa • Ubicación recomendada • Requerimiento de poda • Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
6	Calles encajonadas	Intercepción de radiación solar por parte de edificaciones de gran altura, limita horas de luz y la radiación. La falta de circulación del aire provoca la concentración de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de crecimiento • Condición de luz • Tolerancia a contaminación del aire • Requerimiento de poda • Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
7	Formación de corrientes de aire (vientos)	Exposición directa a vientos fuertes formados en calles encajonadas o carreteras automovilísticas	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho de la copa • Tasa de crecimiento • Forma de la copa
8	Cercanía a vías automovilísticas	Compactación del suelo, concentración de contaminantes en follaje y suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de crecimiento • Forma de la raíz • Tolerancia a suelos saturadas • Tolerancia a suelos compactados
9	Cercanía a zonas industriales	Depósito de partículas de material particulado sobre hojas, fenómeno de lluvia ácida	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de crecimiento • Tolerancia a la contaminación del aire • Ubicación recomendada
10	Islas de calor	Altas temperaturas irradiadas por concentración de construcciones	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de crecimiento • Tolerancia a la sequía
11	Señalética	Instalación de árboles en lugares que impiden ver señalizaciones viales o semáforos, o en esquinas de calles	<ul style="list-style-type: none"> • Altura • Ancho de copa • Forma de la copa

		impidiendo visibilidad al tránsito vehicular	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de poda • Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
12	Conflictos en calzada con peatones y ciclistas	<p>Daño intencional o accidental de árboles producto de la interacción con peatones y ciclistas; Por ejemplo, roces y/o daño del fuste o tronco</p> <p>Áreas destinadas al emplazamiento de árboles son utilizadas para otros fines, o bien el emplazamiento de los árboles es muy cercano al lugar de uso por vehículos (estacionamientos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de crecimiento • Forma de la copa • Forma de la raíz • Requerimiento de poda • Vulnerabilidad a pestes y enfermedades

Fuente: Adaptado de Jim (2017), Hirons y Sjöman (2019)

En las Figuras 2a, 2b, 2c y 2d se ilustran algunos de los conflictos mencionados en las Tablas 3 y 4. La numeración, de éstos, hace referencia a los números asignados, para cada elemento urbano en el (Anexo 1).

4.2.2. Acciones críticas de mantención del arbolado urbano

Las acciones críticas que afectan al arbolado urbano tienen relación directa con los procedimientos de mantención del árbol en espacios verdes. Corresponden a aquellas prácticas de cuidado o de gestión técnica mal ejecutada, que impactan en el desarrollo natural o sobrevivencia del árbol (tabla 4). Las ejecuciones de estas acciones de mantención del árbol están, directamente, relacionadas al nivel de conocimiento del personal técnico; Estas acciones son críticas para tener un arbolado en buenas condiciones, vital y que cumpla con los servicios ecosistémicos planteados en el diseño de un proyecto de espacio público.

Tabla 4. Acciones críticas de mantención del árbol urbano

N°	Acciones	Conflicto	Relación con Variable del Árbol
a	Riego	Exceso o falta de agua, riego con chorro de alta presión elimina primeras capas de suelo	<ul style="list-style-type: none"> ● Tasa de crecimiento ● Forma de la raíz ● Densidad de follaje ● Tolerancia de la sequía ● Tolerancia a suelos saturados ● Ubicación recomendada
b	Podas mal ejecutadas	Extracción de altos porcentajes de copa viva, corta de ramas de diámetro superior, época de poda inadecuada, uso de herramientas sin desinfectar	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura ● Ancho de la copa ● Longevidad ● Tasa de crecimiento ● Forma de la copa ● Requerimiento de poda ● Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
c	Mantención de césped	Uso de orilladoras para cortar césped provoca daños en corteza de tronco o fuste	<ul style="list-style-type: none"> ● Tasa de crecimiento ● Requerimiento de poda ● Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
d	Remoción de primera capa de suelo	Mantención del suelo despejado y limpio de hojas caídas	<ul style="list-style-type: none"> ● Tasa de crecimiento ● Forma de la raíz
e	Falta de seguimiento o monitoreo de estado fitosanitario	Falta de registro del estado de los árboles gatilla acciones inoportunas e inadecuadas, o bien la falta de éstas	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura ● Ancho de la copa ● Longevidad ● Tasa de crecimiento ● Forma de la copa ● Potencial riego para la salud humana ● Requerimiento de poda ● Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
f	Protección para troncos y tutores	El no retiro de protecciones contra impactos y elementos guías para troncos de los árboles recién plantados, como tutores, rejas, entre otros	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura ● Tasa de crecimiento ● Forma de la copa

g	Falta de personal con competencia técnica	Malas prácticas de manejo en arbolado	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de poda • Vulnerabilidad a pestes y enfermedades
h	Uso de pinturas o cal para sellar podas	El uso de herramientas no desinfectadas para podar posibilita el contagio de hongos entre individuos y el uso de pinturas encierra el hongo dentro del árbol generando pudriciones y enfermedades	<ul style="list-style-type: none"> • Vulnerabilidad a pestes y enfermedades

Figura 2.a) Conflictos y/o acciones de manejo del arbolado urbano en el espacio público

Nomenclatura:

Acciones asociadas al manejo

- (a) riego
- (b) poda mal ejecutada
- (c) mantenimiento de césped
- (d) remoción de primera capa de suelo
- (f) protección troncos y tutores
- (h) uso de pintura o cal para sellar podas

Asociada a conflictos con elementos urbanos

- (1) alcorque o emplazamiento
- (2) cañerías subterráneas
- (3) sustrato
- (4) cableado eléctrico
- (5) cercanía a edificaciones
- (6) calles encajonadas
- (7) corrientes de aire
- (8) cercanía a vías automovilísticas
- (9) cercanía a zonas industriales
- (10) islas de calor
- (11) señalética
- (12) conflictos en calzada con peatones y ciclistas



Fuente: copyright Nicolás Bañados, Beatmap, actualizado por contraparte técnica

Figura 2.b) Conflictos y/o acciones de manejo del arbolado urbano en el espacio público



Fuente: copyright Nicolás Bañados, Beatmap, actualizado por contraparte técnica

(1) alcorque

(5) cercanía a edificaciones

(c) mantención de césped

(d) remoción de primera capa de suelo o mulch

Figura 2.d) Conflictos y/o acciones de manejo del arbolado urbano en el espacio público



Fuente: copyright Nicolás Bañados, Beatmap, actualizado por contraparte técnica

(4) cableado eléctrico,
(8) cercanía a vías automovilísticas
(11) señalética.

4.3. Propuesta de caracterización del arbolado urbano

4.3.1. Variables de caracterización de especies del arbolado urbano

Los criterios propuestos de caracterización de especies de árboles están relacionadas a la habilidad, de éstos, para sobrevivir en el sitio que se ha escogido. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los beneficios derivados de los árboles para el bienestar humano, dependen de la capacidad del árbol para desarrollarse óptimamente en el paisaje urbano. Los árboles en malas condiciones o en modo de sobrevivencia (árboles débiles) requieren de mayor cantidad, frecuencia e intensidad de mantención; Son más susceptibles a pestes y enfermedades, además, proveen menos servicios ecosistémicos y más dis-servicios (efectos negativos sobre el ambiente y las personas), pudiendo convertirse en un riesgo por la caída de ramas o el volteo del árbol completo.

En los procesos de selección de especies de árboles debieran primar los aspectos técnicos y requerimientos de las especies, por sobre los valores estéticos, ya que son los primeros los que aseguran la sobrevivencia y mantención de los árboles, en buenas condiciones, en el largo plazo⁶¹.

Las categorías (8) y variables (34) caracterizan a cada especie de árbol, según sus propios atributos, los cuales se relacionan con los elementos urbanos presentes, como su mantención posterior. Es importante destacar que se incluyó un gran número de variables, de manera de conocer cada especie en su etapa de establecimiento, desarrollo y mantención. En el Anexo 2 se detallan, cada una, de las treinta y cuatro (34) variables de caracterización de las especies de árboles, indicando definición, indicador, categoría del indicador y referencia o cita.

⁶¹ Sjöman, H., Hirons, A., y Sjöman, J. D. (2017). Criteria in the selection of urban trees for temperate urban environments. In *Routledge Handbook of Urban Forestry* (pp. 339-362). Routledge.

Tabla 5. Resumen de categorías y variables de caracterización de especies arbóreas

Categoría	Variables
Categoría de identificación (taxonómico)	Nombre científico
	Nombre común
	Familia botánica
Categoría de procedencia, distribución y estado de conservación	Origen
	Nativo
	Distribución dentro de Chile
	Estado de conservación IUCN Estado de conservación MMA
Categoría de morfología de la especie	Tipo de follaje
	Altura
	Ancho de la copa
	Longevidad
	Tasa de crecimiento
	Forma de la raíz
	Forma de la copa
	Tamaño de la hoja
	Densidad de Follaje
	Textura de la corteza
	Tipo de fruto
	Presencia de espinas
	Potencial alergénico
Categoría de tolerancia a condiciones climáticas	Tolerancia a las heladas
	Tolerancia a la sequía

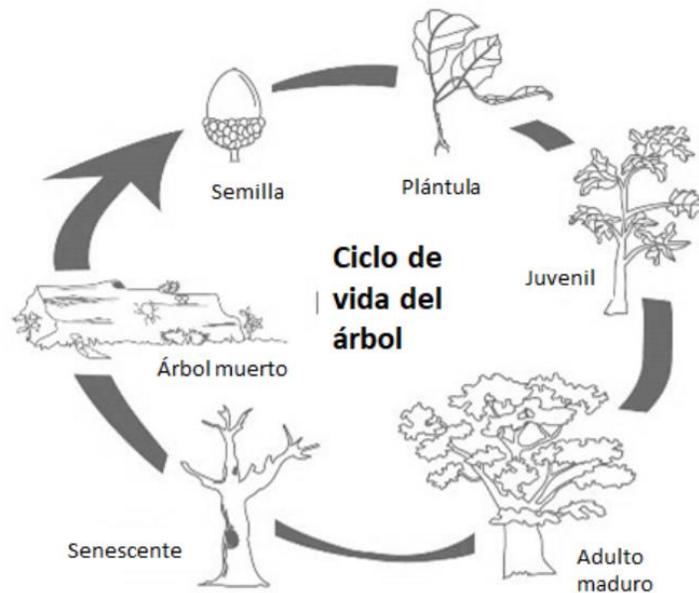
Categoría de tolerancia edáficas	Adaptabilidad al suelo
	Tolerancia a suelos saturados
	Tolerancia a salinidad
	Tolerancia a pH
	Tolerancia a suelos compactados
Categoría relativa al emplazamiento	Condiciones de luz
	Tolerancia a la contaminación
	Ubicación recomendada
Categoría de carácter ornamental	Flor de interés ornamental
	Período de floración
	Hojas de interés ornamental
Categoría de mantención	Requerimientos de poda
	Vulnerabilidad a pestes y enfermedades

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Justificación de las variables de caracterización propuestas

En esta sección, se presentan las variables de caracterización de las especies de árboles, con sus respectivos indicadores y simbología (Anexos 2 y 3). Para comprender la especie, en base a variables que representan los atributos del árbol, es necesario describir los principales componentes del árbol. En la Figura 6, se muestra un diagrama de árbol en que se identifican sus principales partes (aérea, nivel de suelo y subterránea).

El árbol en estado adulto maduro (Figura 3), se compone de la **parte aérea y la parte subterránea**. La parte aérea incluye todas las partes del árbol que se encuentran sobre el suelo, siendo éstas, el tronco o fuste y la copa, conformada por hojas y ramas. En las hojas se desarrollan todos los procesos metabólicos, que le permiten seguir creciendo y produciendo hojas, ramas, flores y frutos; Copas dañadas, con presencia de pestes o enfermedades y con baja cantidad de hojas, le impedirán desarrollarse óptimamente, lo que gatilla árboles estresados. Algunos problemas derivados de esto son la pérdida del vigor



Fuente: Adaptado de Project Learning Tree, www.plt.org

Semilla y plántula (etapas en vivero, condiciones controladas): el ciclo del árbol se inicia con la semilla, estructura que contiene al embrión de un nuevo individuo. Habiéndose producido la germinación en que aparecen las primeras hojas y una incipiente raíz, se habla de un árbol en estado de plántula. En este ciclo, la planta comienza a incrementar sus tasas de crecimiento de manera exponencial, lo que se traduce en mayor producción de raíces, incremento en altura, diámetro del tronco y formación de ramas. Cuando la plántula comienza a desarrollar tejido de tipo leñoso (desarrollo de corteza) en su tronco principal, se habla de un árbol en estado juvenil, y ya está listo para ser plantado en su lugar definitivo.

Estado juvenil: El árbol se caracteriza por mantener altas tasas de crecimiento acompañado de la formación de corteza en tronco y ramas. En esta etapa, el árbol comienza a formar sus primeras flores y frutos, que con el pasar de los años aumentarán en cantidad hasta estabilizarse en el estado de adulto maduro. El estado juvenil se caracteriza porque el árbol posee alta capacidad de adaptabilidad a las condiciones ambientales en que se encuentre, con ello se recomienza la realización de las acciones de podas de formación en caso de ser necesarias. Lo anterior, se suma a que sus ramas poseen diámetros menores a 10 cm, con lo que las heridas de poda tienen menor probabilidad de afectarse por plagas y enfermedades, puesto que son fáciles de cicatrizar. En el estado juvenil se debe lograr la nutrición completa realizando aportes de nutrientes, en el suelo en que esté plantado

(labores de fertilización). El árbol en estado juvenil pasa a estar en estado adulto, cuando las tasas de crecimiento se estabilizan.

Estado adulto maduro: el árbol entra en este estado, cuando su crecimiento vegetativo se estabiliza y presenta un desarrollo de flores y frutos consolidados; Destinando todos sus nutrientes y energía a la producción de semillas, para prosperar la especie y comenzar nuevamente su ciclo. En el estado adulto maduro, las dimensiones del árbol corresponden a las descritas en bibliografías variando según la especie. Este estado se mantiene hasta que se ha alcanzado su máximo desarrollo y comienza a mostrar signos de envejecimiento (estado de senescencia).

Estado senescente y árbol muerto: durante la etapa de senescencia, el árbol presenta menor producción de estructuras nuevas (hojas, raíces, flores), puesto que la actividad metabólica decae. Es evidente, que sus copas son menos densas, pudiendo presentar la muerte paulatina de ramas completas. La producción de frutos es mínima. El árbol senescente es propenso a la afectación de plagas y enfermedades. El cese de producción de nuevas hojas, raíces y flores da por sentado que el árbol está muerto y debe ser reemplazado.

Los atributos de los árboles también pueden ser relacionados a los servicios ecosistémicos, dado que el árbol, a través de sus atributos es capaz de llevar a cabo funciones ecosistémicas, que finalmente son las que van a permitir la provisión de servicios. La tabla 6 describe los mecanismos por los cuales se generan los servicios ecosistémicos.

Tabla 6. Servicios ecosistémicos respecto a la composición y partes del árbol

Servicio Ecosistémico	Parte del árbol involucrada
Regulación de microclima	La presencia de hojas en las copas de los árboles en temporada de verano favorece la sombra de la superficie del suelo disminuyendo la temperatura de éste. La caída de hojas de los árboles caducos de otoño e invierno favorece el paso de la radiación del sol, calentando la superficie del suelo y permitiendo el paso de luz para iluminación de las calles.
Regulación del clima global	Especies con tasa de crecimiento medianas a rápidas permiten el secuestro de más cantidad de carbono que las especies de lento crecimiento. Especies de mediana a larga longevidad almacenan más carbono que especies de vida corta.
Regulación de calidad de aire	La presencia de follajes de tipo densos contribuye (en mayor medida que follajes medios y ligeros) a la remoción de partículas de contaminación provenientes del aire

Seguridad alimentaria	El desarrollo de especies de arbolado urbano con frutos comestibles se presenta como un beneficio a los ciudadanos a la producción de alimentos en la ciudad.
Provisión de hábitat	La diversificación de especies del arbolado urbano permite el desarrollo de diferentes tipos de hábitat que se presentan como refugio y alimento para vida silvestre beneficiosa en la ciudad, por ejemplo insectos y aves polinizadoras.
Polinización y dispersión de semillas	La presencia de aves e insectos polinizadores promueve la polinización de flores de la vegetación urbana, lo que permite la fructificación (producción de frutas). El consumo de los frutos por parte de la fauna en la ciudad promueve la dispersión de semillas y su posterior germinación.
Reducción de ruido	La presencia de follajes de tipo densos (en mayor medida que follajes medios y ligeros) se configura como una barrera que disminuye la propagación del sonido emitido por el tránsito de automóviles y buses.
Recreación	La presencia de hojas en las copas de los árboles en temporada de verano favorece la sombra de la superficie del suelo disminuyendo la temperatura de éste. La caída de hojas de los árboles caducos de otoño e invierno favorece el paso de la radiación del sol, calentando la superficie del suelo y permitiendo el paso de luz. Especies cuyos frutos sean tóxicos y/o posean espinas son inadecuadas para los espacios verdes destinados a la recreación.

Fuente: Elaboración adaptada

De acuerdo a esto se puede reconocer que alguna de las variables definidas en la sección anterior se encuentra relacionadas con la provisión de servicios ecosistémicos, quedando detallado en la tabla 7. Cabe destacar que no todas las variables van asociadas a algún servicio y es por esto que se recalca la idea de que la selección de especies no solo debe depender de objetivos de provisión de servicios, sino que debe ser una toma de decisión transversal que integre los servicios ecosistémicos con deseos ornamentales, adaptabilidad a las condiciones de sitio local y su clima.

Tabla 7. Variables del árbol urbano y su relación con los servicios ecosistémicos

Variable	Servicio Ecosistémico relacionado
Tipo de follaje	Regulación climática, Regulación calidad del aire, Regulación del microclima, Prevención de inundaciones
Altura	Regulación climática
Ancho de la copa	Regulación climática, Regulación calidad del aire, Regulación del microclima, Prevención de inundaciones
Longevidad	Regulación climática
Tasa de crecimiento	Regulación climática
Forma de la raíz	No hay servicio directo asociado
Forma de la copa	Regulación climática, Regulación calidad del aire, Regulación del microclima, Prevención de inundaciones
Tamaño de la hoja	Regulación climática, Regulación calidad del aire, Regulación del microclima, Prevención de inundaciones
Densidad de Follaje	Regulación climática, Regulación calidad del aire, Regulación del microclima, Prevención de inundaciones. Provisión de hábitat.
Textura de la corteza	Provisión de hábitat para insectos y hongos.
Tipo de fruto	Provisión de alimento para fauna
Potencial alergénico	Dis-servicio de daño a la salud
Potencial riesgo para la salud humana	Dis-servicio de daño a la salud
Precipitación acumulada anual	No va asociado a servicio
Tolerancia a las heladas	No va asociado a servicio
Tolerancia a la sequía	No va asociado a servicio
Adaptabilidad al suelo	No va asociado a servicio
Tolerancia a suelos saturados	No va asociado a servicio

Tolerancia a salinidad	No va asociado a servicio
PH	No va asociado a servicio
Tolerancia a suelos compactados	No va asociado a servicio
Condición de luz	No va asociado a servicio
Tolerancia a la contaminación	No va asociado a servicio
Ubicación recomendada	No va asociado a servicio
Flor de interés ornamental	Estética, polinización
Periodo de floración	Estética, polinización
Hojas de interés ornamental	Estética
Requerimientos de poda	No va asociado a servicio
Vulnerabilidad a pestes y plagas	No va asociado a servicio

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.1. Categoría de identificación (taxonómico)

Estas variables tienen relación a la taxonomía de la especie, entendiendo por esto el nombre científico, el nombre común y familia botánica. Estas variables no tendrán indicadores, ya que son únicos y asignados por la comunidad botánica. La fuente de información de estas variables puede ser el USDA Plant Database, en caso de las especies exóticas o introducidas, mientras que para las especies nativas se recomienda la página web de especies del Ministerio del Medio Ambiente o libros de flora tales como los de Hoffman (1978, 1982, 1997 y 1998), y el de Riedemann y Aldunate (2003), entre otros.

1.- La variable “**nombre científico**” corresponde al nombre en latín con que se conoce universalmente una especie biológica, la cual ha sido clasificada y nombrada por sus características únicas que la diferencian de las otras especies. El nombre científico está constituido por dos palabras que corresponden al género y la especie. La primera palabra, que es el género, se inicia con mayúscula, mientras que la especie se inicia con minúscula; además ambas deben ir en letra cursiva, por ejemplo, *Quillaja saponaria*.

2.- El “**nombre común**” corresponde al nombre popular que recibe una especie y que puede variar de acuerdo a la región o país según la cultura y tradiciones de la población local, en el ejemplo anterior el nombre popular es Quillay.

3.- La “**familia botánica**” se refiere al nombre de la familia botánica a la cual pertenece la especie, el cual es dado por literatura basada en estudios científicos. Las familias botánicas reúnen a grupos de especies con caracteres genéticos similares. Esta categoría es la tercera más importante luego de género y la especie, todas las familias botánicas se escriben en cursiva y tienen la terminación *_eae*; en el ejemplo anterior, la familia es *Rosaceae*.

4.3.2.2. Categoría de procedencia, distribución y estado de conservación

4.- La variable “**procedencia**” agrupa dos sub-variables “país de origen” y la clasificación “nativa o introducida (exótica)”, puesto que ambas entregan información complementaria para colaborar en explicar las características de desarrollo de la especie.

La variable “**países de origen**” corresponde al nombre del país/es o la zona geográfica donde se encuentra una especie distribuida de manera natural. Esta variable no presenta clasificación ni indicador, ya que es nominal (corresponde al nombre del país de origen). Puede facilitar la decisión de cuándo utilizar la especie, cuando no se cuente con los datos climáticos de la distribución de la especie. En el caso de Quillay el país de origen es Chile.

La variable “**nativa o introducida**” se entiende desde la información sobre el origen geográfico de una especie. Cuando una especie es naturalmente originaria de un país se habla de que es “nativa” de ese país; por ejemplo, el Quillay es una especie nativa de Chile.

El término ‘nativa’ también **incluye a especies que se han naturalizado en un lugar**, es decir que se han establecido sin la influencia humana. Para Chile existe el caso del *Schinus molle* comúnmente llamado Pimiento. El término indígena se refiere a las especies de origen local o regional⁶². Si una especie es nativa de un

⁶² Behrens F. (2011). Selecting public street and park trees for urban environments: the role of ecological and biogeographical criteria. PhD Thesis, Lincoln University, New Zealand.

lugar, permite entender el rango de distribución, sus principales hábitats y preferencias ambientales como tipos de suelo y rango de temperaturas⁶³.

Así mismo se puede determinar que una especie de árbol es introducida (o exótica), cuando su origen como tal, se localiza en un área geográfica fuera de Chile y que no se ha naturalizado a las condiciones de alguna región del país.

Esta variable responde a la siguiente pregunta: ¿la especie es nativa?

- 1 = Si, es nativa de Chile
- 2 = No es nativa de Chile, es Introducida (o exótica). El consultor propuesto no colocar ícono para el caso de introducidas

Ícono propuesto:



5.- Variable **“distribución geográfica”** está referida a aquella macrozona geográfica donde la especie se puede desarrollar, bajo las condiciones climáticas similares y de mayor adaptación, de acuerdo a su origen. Sin embargo, se debe considerar el aumento de al menos 2 grados de temperatura a las condiciones de su emplazamiento original, debido al cambio climático de los últimos 20 años.

Las macrozonas están referidas a las regiones de Chile:

- Macrozona Norte Grande: regiones de Arica a Atacama
- Macrozona Norte Chico: regiones de Coquimbo a Valparaíso
- Macrozona Centro; regiones entre Santiago y Maule
- Macrozona Sur: regiones entre Biobío y Los Lagos
- Macrozona Extremo Sur, Austral: regiones de Aisén y Magallanes

6.- La variable **“estado de conservación”** agrupa dos sub-variables “Estado de conservación IUCN” y “Estado de conservación Ministerio de Medio Ambiente, en adelante MMA”,

⁶³ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group.

puesto que estas son las clasificaciones que se ocupan la primera a nivel internacional y la segunda en Chile.

El "Estado de conservación IUCN"⁶⁴ se refiere a si la especie se encuentra clasificada, en algún estado de conservación, definida por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (en adelante IUCN). La IUCN presenta 7 estados de conservación: extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), amenazado (EN), vulnerable (VU), casi amenazada (NT) y con preocupación menor (LC).

En esta consultoría se utilizarán 3 categorías: Extinto en que se incluye las categorías de EX y EW; Amenazado que agrupa las categorías de CR, EN y VU; Sin riesgo en que se incluye NT y LC:

1. = Extinta (EX y EW, de UICN)
2. = Amenazada (CR, EN y VU, de UICN)
3. = Sin riesgo (NT y LC, de UICN)

Sin embargo, la Consultoría propuso solamente dejar un diseño de amenazado, para las especies introducidas clasificadas por UICN, ícono propuesto:



La importancia de incluir esta variable para la descripción de las especies del arbolado urbano, se configura como información que podría promover a la conservación de especies introducidas y nativas, que presenten categorías de amenaza. Esta clasificación incluye especies nativas (de Chile), como especies con algún grado de amenaza en otros sitios geográficos (conservación ex situ).

La contraparte técnica estableció que aquella información que no aparece en IUCN se clasificó como sin información (s/i). Además, se estableció como que no se

⁶⁴ <https://www.iucnredlist.org/>

clasifican cuando son especies nativas no incorporadas al listado rojo de árboles de UICN.

El “**Estado de conservación MMA**”⁶⁵ se refiere a una clasificación chilena para especies nativas, la cual es definida por expertos nacionales, bajo la responsabilidad y coordinación del Ministerio de Medio Ambiente (MMA).

Esta clasificación (MMA) establece 11 estados de conservación: EW= Extinta en estado silvestre; EX = Extinta; CR = En peligro crítico; EN = En Peligro; NT = Casi amenazada; R = Rara; VU = Vulnerable; LC = Preocupación menor; FP = Fuera de Peligro; IC = Insuficientemente Conocida; DD = Datos insuficientes.

La contraparte técnica agregó esta clasificación para las especies nativas y definió la siguiente agrupación en 3 grupos:

- Extinta (EW y EX, según MMA)
- Amenazada (CR, En, NT, R y VU, según MMA)
- Sin riesgos (LC, FP, IC y DD, según MMA)

Esta variable no cuenta simbología (íconos), porque no fue incluida por los consultores.

En caso de que la especie sea introducida no aplica esta clasificación, por tanto, no aplica. Y si las especies es nativa y no aparece en esta clasificación, se ha asignado a la celda “sin información (s/i)”.

4.3.2.3. Categoría morfológica de la especie

7.- La variable “**tipo de follaje**” hace referencia a la estacionalidad de follaje del árbol, es decir si la especie es de tipo siempreverde o del tipo caduca. Siempreverde (sinónimo de perenne) hace alusión a que el recambio de las hojas es constante y gradual durante el año, es decir nunca se encuentra sin hojas. El árbol tipo caduco, hace referencia a árboles que pierden todas las hojas en cierta estación del año⁶⁶. Esta variable es importante al momento del diseño de un proyecto, pues entrega información relevante sobre si el árbol puede entregar sombra en verano, deja pasar la luz en invierno e intercepta las lluvias o si es capaz

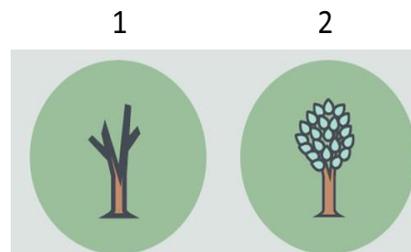
⁶⁵ <http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/pagina.aspx?id=87&pagId=85>;
<https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>

⁶⁶ Royal Forestry Society (RSF). (2019). Visitado en <https://www.rfs.org.uk/learning/forestry-knowledge-hub/trees-biology/tree-classification/>

de remover contaminación del aire durante todo el año. El indicador de esta variable es el siguiente:

- 1= Caduco, pierde todas sus hojas en cierta estación del año.
- 2= Siempreverde (o perenne), presenta hojas durante todo el año.

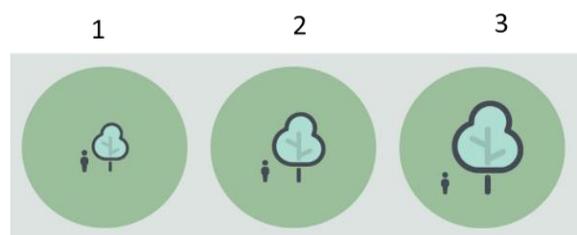
Íconos propuestos:



8.- La variable **“altura”** se refiere a la altura final en metros que alcanza la especie en condiciones óptimas en su estado adulto maduro. Se clasifican los árboles según altura en 3 rangos⁶⁷, los cuales son estándar para todas las especies del mundo, similares clasificaciones se pueden encontrar en el USDA Plant Database y el Urban Forest Ecosystem Institute. Para efectos de esta consultoría se utilizaron indicadores similares a los descritos en las bases de datos mencionadas. De esta manera, se establecieron 3 rangos de altura:

- 1 = Árboles bajos con alturas hasta 5 m en su adultez.
- 2 = Árboles medianos con alturas entre 5 y 20 m en su adultez.
- 3 = Árboles grandes con alturas mayores a 20 m en su adultez.

Íconos propuestos:



Se incluye el rango de árboles pequeños dado que en Chile la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) determina que la altura de los cables del tendido eléctrico en calles se establece a 5,5 m sobre el suelo. Por lo tanto, conocer qué árboles y arbustos son menores a esta altura, permitiría mejorar su selección para ser instalados bajo cableado

⁶⁷ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group. USDA: United State Department of Agriculture.

eléctrico, evitando o minimizando podas futuras. Un ejemplo de un árbol pequeño sería el Ciruelo en flor (*Prunus ceracifera*), arce japonés (*Acer japonicum*), Espino (*Acacia caven*) y el Crespón (*Lagerstroemia indica*).

La altura se mide desde la base del árbol a la punta de la copa cuando este alcance el estado de adulto maduro. La Figura 8 ilustra la medición de la altura.

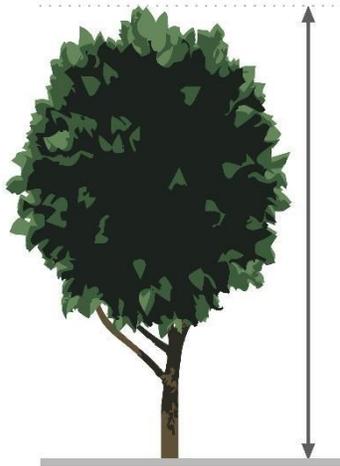


Figura 8. Altura de árbol

Corresponde a la distancia que hay entre la parte más alta de la copa hasta la parte del tronco más baja que está al nivel del suelo. Fuente: elaboración propia.

9.- El “**ancho de la copa**” corresponde al diámetro de la copa del árbol en estado adulto maduro proyectado en el suelo (Figura 9). El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) define 3 rangos: 2 a 6 m, 6 a 8 m y > 8m.

Esta variable permite identificar la separación mínima que debe haber entre el árbol a plantar con otros árboles o con elementos urbanos, visualizar la proyección de la sombra potencial que entregará el árbol en estado adulto y evaluar la capacidad de la especie para secuestrar carbono, dar sombra y filtrar material particulado⁶⁸.

Los rangos son los siguientes:

- 1 = Ancho de copa de 2 a 6 metros, en estado adulto maduro.

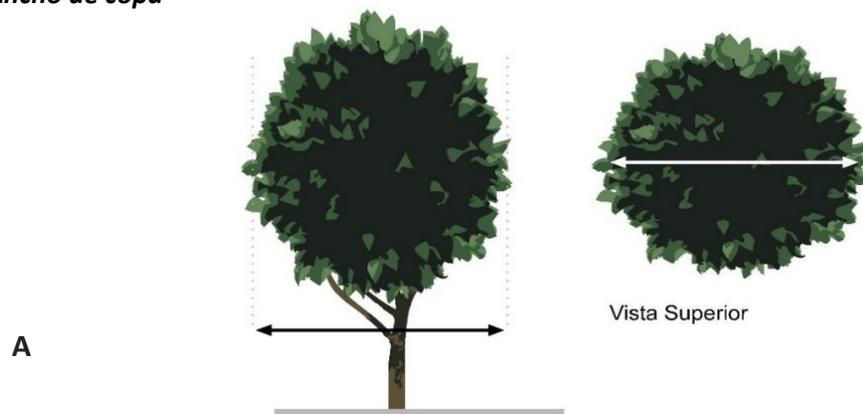
⁶⁸ Pretzsch H., Biber P., Uhl E., Dahlhausen J., Rötzer T., Caldentey J., Koike T., van Con T., Chavanne A., Seifert T., du Toit B., Farnden C., Pauleit S. (2015). Urban Forestry & Urban Greening 14, 466-479

- 2 = Ancho de copa de 6 a 8 metros, en estado adulto maduro.
- 3 = Ancho de copa mayor a 8 metros, en estado adulto maduro.

Íconos propuestos:



Figura 9. Ancho de copa



A. diámetros de copa
Fuente: elaboración propia

El diámetro de copa corresponde a la distancia entre dos puntos opuestos de la proyección de la copa del árbol en el suelo. La medición de esta distancia se realiza trazando una línea recta que pase lo más cerca posible del fuste del árbol. Cuando la copa es irregular se toman dos mediciones norte – sur, este – oeste y se promedian.

10.- La variable **“longevidad”** se refiere al número de años que tarda una especie en llegar al estado de senescencia. La importancia de esta variable se relaciona en cómo planificar el reemplazo de los árboles.

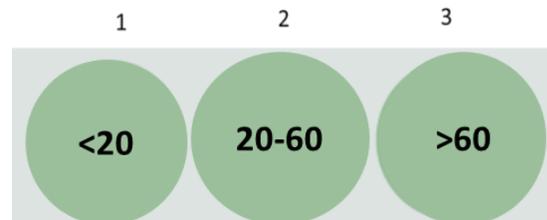
Se considera la longevidad de la especie en su estado natural, dado que no existen datos de la mortalidad de arbolado urbano⁶⁹, los cuales se podrán ir ajustando a través del

⁶⁹ Roman L. (2014). How many trees are enough? Tree death and urban tree canopy. Scenario Journal 04: Building the Urban Forest.

conocimiento local de personas que trabajan en el área de arbolado urbano. Los rangos de esta variable son las siguientes:

- 1 = Corta, menos de 20 años.
- 2 = Mediana, entre 20 y 60 años.
- 3 = Larga, más de 60 años.

Íconos propuestos:



11.- La **“tasa de crecimiento”** del árbol, según su ciclo de vida, se refiere a la velocidad de crecimiento de la especie en condiciones óptimas para llegar al estado adulto maduro. La importancia de esta variable, no sólo radica en su potencial para secuestrar carbono, sino que también, en el tiempo que se logrará el carácter estético que se espera del proyecto⁷⁰.

El indicador para la tasa de crecimiento se muestra a continuación, y en la Figura 10 se muestran ejemplos.

- 1 = Lenta, necesita más de 20 años para llegar al estado de adulto maduro.
- 2 = Mediana, necesita entre 10 y 20 años para llegar a al estado de adulto maduro.
- 3 = Rápida, necesita menos de 10 años para llegar a al estado de adulto maduro.

Íconos propuestos:



Figura 10. Tasas de crecimiento de árboles

⁷⁰ Smith, I. A., Dearborn, V. K., & Huttyra, L. R. (2019). Live fast, die young: Accelerated growth, mortality, and turnover in street trees. PloS one, 14(5), e021584

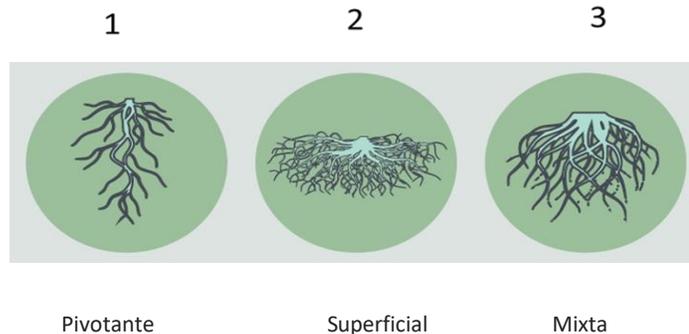


Lenta (a. Araucaria Angustifolia) Moderada (b. Quercus ilex) Rápida (c. Phytolacca dioica)⁷¹

12.- La “**forma de la raíz**” se refiere a la forma que adquiere la raíz de la especie en su adultez. La importancia de esta se relaciona con el ancho y profundidad de suelo que será necesario para que el árbol se desarrolle y no se genere conflicto con los elementos urbanos⁷². Las categorías son las siguientes y se ejemplifican en la figura 11:

- 1 = Pivotante, domina una raíz principal que crece en profundidad (vertical).
- 2 = Extendida, las raíces crecen de manera paralela al suelo (horizontal), pudiendo salir a la superficie.
- 3 = Mixta, existe una raíz dominante que crece en profundidad y está acompañada de raíces superficiales que no salen a la superficie.

Íconos propuestos:



Pivotante

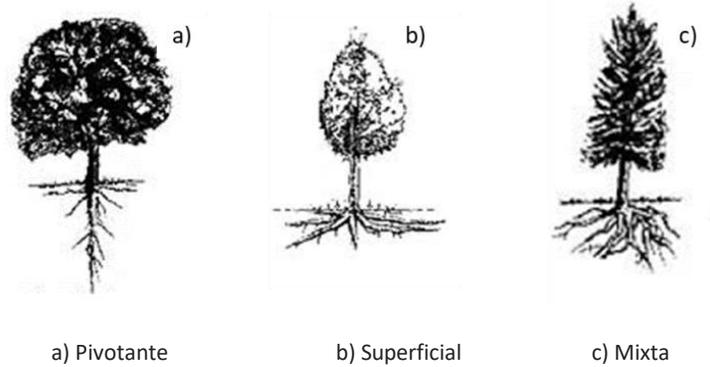
Superficial

Mixta

⁷¹Fuente imágenes : a. <https://plantasdearmenia.wixsite.com/floradearmenia/araucaria-angustifolia?lightbox=i9vig>, b. https://latimesblogs.latimes.com/money_co/2010/01/tree-of-the-week-holly-oaks-make-good-street-trees-.html, c. <http://arboles-con-alma.blogspot.com/2012/05/cipres-de-monterrey-xiprer-de.html>

⁷² Bassuk, N. (2003). Recommended urban trees: Site assessment and tree selection for stress tolerance. Cornell University, Urban Horticulture Institute.; Behrens F. (2011). Selecting public street and park trees for urban environments: the role of ecological and biogeographical criteria. PhD Thesis, Lincoln University, New Zealand.

Figura 11. Tipos de raíces

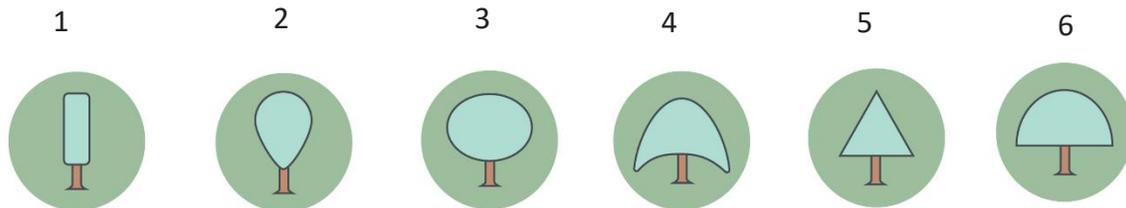


13.- La “**forma de la copa**” se refiere a la forma que adquiere la copa del árbol cuando llega al estado adulto maduro, siendo información importante para el diseño de plantación, y entregando información sobre cómo la copa del árbol interactúa con la vegetación o infraestructura circundante⁷³. Esta clasificación se encuentra ilustrada en la figura 12.

- 1 = Columnar
- 2 = Globosa
- 3 = Ovalada
- 4 = Pendular
- 5 = Piramidal
- 6 = Extendida

Íconos propuestos:

Figura 12. Formas de copa



Se definieron 6 tipos de formas de copa⁷⁴

⁷³ Lagenheim N., White M., Tapper N., Livesley S.J., Ramirez-Lovering D. (2019). Right tree, right place, right time: a visual-functional design approach to select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrians. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101816.

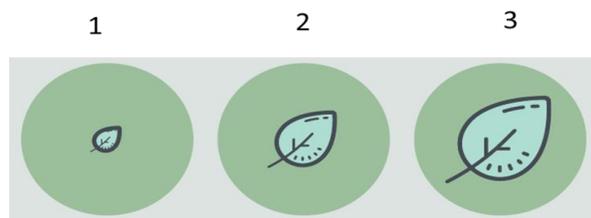
⁷⁴ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. *Trees & Design Action Group*.

Formas de copa y su potencial de sombra. Para el presente estudio, los indicadores de forma de la copa 4 y 5 se consideraron como el mismo ⁷⁵.

14.- La variable “**tamaño de la hoja**” se refiere al tamaño de la hoja de la especie cuando llega a al estado adulto maduro. Los rangos propuestos son:

- 1 = Pequeña, largo de la hoja menor a 5 cm.
- 2 = Mediana, largo de la hoja entre 5 y 10 cm.
- 3 = Grande, largo de la hoja mayor a 10 cm.

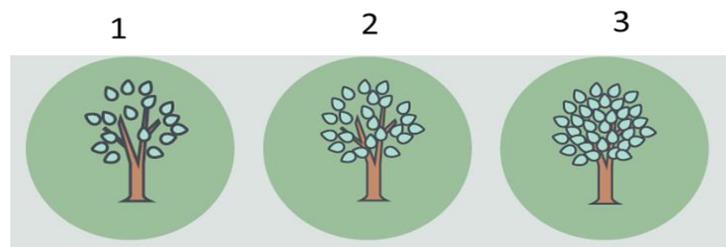
Íconos propuestos:



15.- La variable “**densidad de follaje**” se refiere a cuánta luz deja pasar el follaje del árbol, lo que entrega información referente al nivel de sombra que proyecta y a la intercepción de lluvia. Se mide a través del Índice de área foliar que corresponde a la superficie cubierta por hojas en un metro cuadrado de acuerdo a su proyección horizontal. Se definieron 3 rangos⁷⁶, para el presente indicador y se presentan en la figura 13.

- 1 = Ligero: Índice de área foliar hasta 3.
- 2 = Medio: Índice de área foliar entre 3 y 6.
- 3 = Denso: Índice de área foliar mayor a 6.

Íconos propuestos:

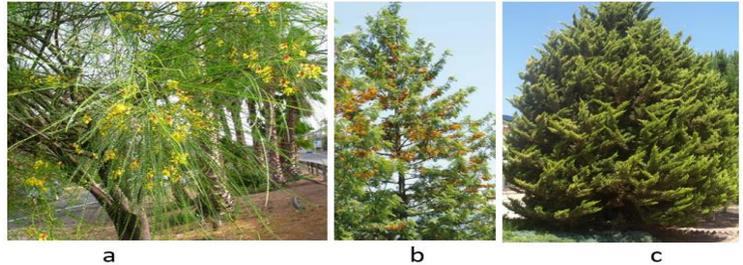


⁷⁵ Lagenheim N., White M., Tapper N., Livesley S.J., Ramirez-Lovering D. (2019). Right tree, right place, right time: a visual-functional design approach to select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrians. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101816.

⁷⁶ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. *Trees & Design Action Group*.

Figura 13. Densidad del follaje

- a) Ligerio (*Parkinsonia aculeata*)
- b) Medio (*Grevillea robusta*)
- c) Denso (*Cupressus funebris*)⁷⁷



16.- La “**textura de la corteza**” se refiere al tipo de corteza que presenta la especie, va dirigido a los caracteres ornamentales del árbol. En la figura 14 se muestran los dos tipos de cortezas utilizados en este estudio. La clasificación propuesta es la siguiente:

- 1 = Lisa, no presenta textura
- 2 = Rugosa, presenta texturas

Íconos propuestos:

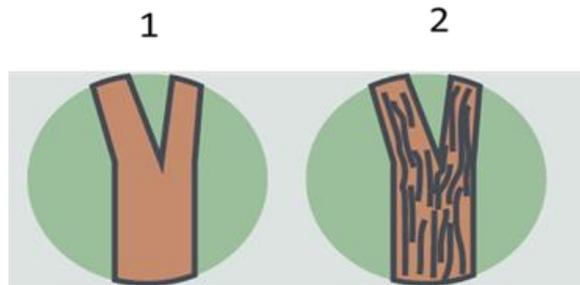
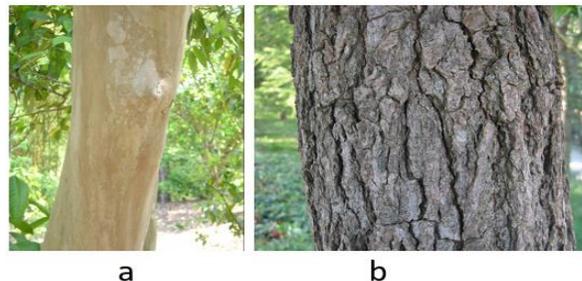


Figura 14. Texturas de corteza



a. Lisa (*Eucalyptus sp.*) b. Rugosa (*Liquidambar styraciflua*)⁷⁸

⁷⁷ Fuente imágenes: a. <http://www.arbolappcanarias.es/especies/ficha/parkinsonia-aculeata/>, b. <http://www.jardinbotanico.uma.es/bbdd/index.php/jb-95-01/>

⁷⁸ Fuente imágenes: a. <https://www.alamy.es/foto-impresionante-corteza-lisa-de-un-arbol-de-eucalipto-en-el-sol-corsa-77932461.html>, b. <http://www.verarboles.com/Liquidambar/liquidambar.html>

17.- El “**tipo de fruto**” se refiere al tipo de fruto que produce la especie. Esta variable aporta información relevante al momento del diseño de un proyecto, también hace alusión a características ecológicas, por ejemplo, cuando el fruto se presenta como un alimento para aves. La clasificación para el tipo de fruto será de: fruta, nuez, cono y otro⁷⁹. Esta clasificación se encuentra ilustrada en la figura 15. El indicador nominal propuesto es el siguiente:

- 1 = Fruta, incluyendo todos los frutos carnosos y los berries
- 2 = Nuez, incluyendo frutos secos
- 3 = Cono, incluyendo los frutos producidos por coníferas (piña)
- 4 = Otro

Íconos propuestos:



Figura 15. Ejemplos de frutos



- a) fruta de *Luma apiculata*,
 b) nuez de *Juglans regia*,
 c) cono de *Cupressus macrocarpa*
 d) otro (*silicua de Brachycton populneus*)⁸⁰

⁷⁹ Hughes, M., Oaksford, E., Blakeslee, M. (2015). Casey trees: Urban tree selection guide, a Designer’s List of Appropriate Trees for the Urban Mid-Atlantic.

⁸⁰ Fuente imágenes: a. <https://fundacionphilippi.cl/catalogo/luma-apiculata/>;
 b. <https://hayderecho.expansion.com/2019/10/09/proces-cascara-nuez/>;
 c. https://es.123rf.com/photo_29781652_cipr%C3%A9s-cono-aislado-en-blanco.html;
 d. <http://www.botanicayjardines.com/brachycton-populneus/>

18.- La variable “**presencia de espinas**” se refiere a si la especie presenta espinas en alguna de sus partes, ya sea tronco, tallos u hojas. En la figura 16 se muestran espina de *Acacia capensis*. Las especies que presentan espinas son inadecuadas para usarse en espacios destinados a la recreación de las personas, tales como parques y plazas. Sin embargo, podrían ser utilizadas para proteger y restringir la circulación de personas y evitar delitos. Esta variable va ligada a la pregunta: ¿tiene espinas?, es el siguiente:

- 1 = No, cuando la especie no presenta espinas
- 2 = Si, cuando la especie presenta espinas ya sea en su tronco o ramas

Ícono propuesto:



Figura 16. Ejemplo de espinas



Ramas de *Acacia capensis* ⁸¹

19.- La variable “**potencial alergénico**” se refiere a si la especie tiene potencialidad de generar alergias en las personas ya que presenta componentes alergénicos en algunos de sus órganos, ya sea en hojas, flores, frutos y/o semillas. La información agregada para cada

⁸¹ Fuente imagen: https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-437339535-cerco-vivo-proteccion-acacia-capensis-40cm-no-envio-region_JM?quantity=1

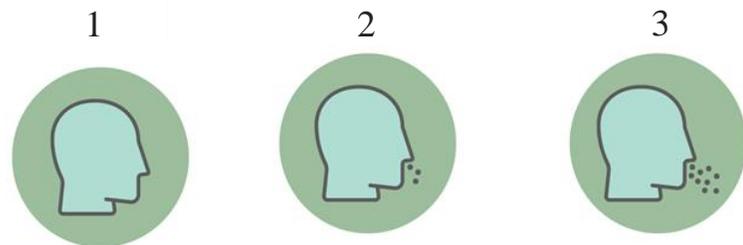
especie se extrajo de las distintas bases de datos creadas por Cariñanos y Casares⁸², Frenz⁸³, Galán⁸⁴, Ogren⁸⁵ y Spieksma⁸⁶.

Sin embargo, el potencial alergénico de cada especie de árbol depende de su estrategia de dispersión, tipo de polen y producción de polen; a lo anterior, se suman las condiciones locales y estacionales, como la contaminación atmosférica. Algunos ejemplos de especies se encuentran en la Figura 17.

El indicador considera los siguientes rangos⁸⁷:

- 1 = No alergénico, no presenta sustancias alergénicas
- 2 = Bajo a Moderadamente alergénico
- 3 = Altamente alergénico

Íconos propuestos:



⁸² Cariñanos P., Casares M. (2011). Urban green zones and related pollen allergy: a review Guidelines for designing spaces of low allergy impact. *Landscape and Urban Planning* 101, 205-214.

⁸³ Frenz D. (1995). Making sense of the numbers, what to do with pollen count once you have done the pollen monitor. *Newsletter of Multidata*. 1:3.

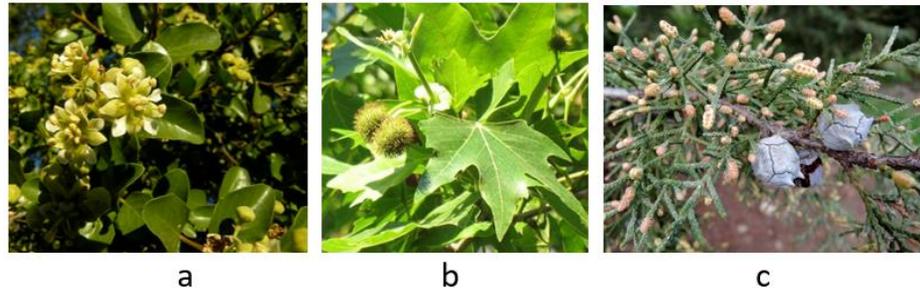
⁸⁴ Galán C., Cariñanos P., Alcázar P., Dominguez E. (2007). Quality and management manual of the Spanish aerobiology network. Universidad de Córdoba, Spain.

⁸⁵ Ogren T.L. (2002). Trees, shrubs and urban allergies. WAA Annual Conference, Wisconsin ANR Urban Forestry Conference.

⁸⁶ Spieksma, F. T. M., Nolard, N., Frenguelli, G., & Van Moerbeke, D. (1992). Atmospheric pollen in Europe. UCB Pharmaceutical, Braine-Alléud, Belgium.

⁸⁷ Cariñanos P., Casares M., Quesada-Rubio J. (2014). Estimating the allergenic potential of urban green spaces: a case-study in Granada, Spain. *Landscape and Urban Planning* 123, 134-144.

Figura 17 Ejemplos de potencial alergénico



- a) no alergénico *Quillaja saponaria*
b) moderadamente alergénico *Platanus x acerifolia*
c) altamente alergénico *Cupressus macrocarpa*⁸⁸

4.3.2.4. Categoría de tolerancia a condiciones climáticas

La distribución de las especies de árboles depende de varios factores, dentro de éstos las temperaturas y precipitaciones son las más relevantes y transversales, si se trata de una especie nativa o exótica (Kendal et al., 2018). Las condiciones climáticas para suelos en áreas urbanas, se comportan de manera similar a las condiciones en áreas naturales o rurales, la diferencia radica, en el grado de contaminación y aumento de temperatura por la reflexión solar de pavimentos impermeables y duros (por ejemplo: hormigón, vidrio, asfalto, entre otros).

20.- La variable “**tolerancia a heladas**” se refiere al rango de temperaturas menores a 0° Celsius, dado que son aquellas que ocasionan daños a la vegetación.

El consultor propuso para el presente estudio una clasificación asociada a temperaturas mínimas y precipitaciones acumuladas. Sin embargo, la contraparte del estudio propone cambiar estas variables por tolerancia a heladas, dado que no se encuentra información referente al análisis de los datos obtenidos y se requiere profundizar respecto a esta propuesta.

⁸⁸Fuente imágenes: a. <https://www.flickr.com/photos/monolive/4359298495>, b.
<https://www.jardineriaon.com/platano-oriental-platanus-orientalis.html>; c.
http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Cupressus_macrocarpa.htm.

Para lograr identificar esta variable se utilizaron tanto fuentes bibliográficas como web sumados a los conocimientos de la contraparte técnica.⁸⁹

Las clasificaciones de la variable tolerancia a heladas son las siguientes:

- 1.= No tolerante
- 2.= Bajo a Moderadamente tolerante
- 3.= Altamente tolerante

21.- La **“tolerancia a la sequía”** se refiere a la tolerancia que la especie soporta la falta o escasa disponibilidad de agua, dentro de su rango de distribución natural. Esta variable se calcula a partir de la cantidad de días que la especie soporta la falta de agua, antes de comenzar a presentar síntomas de deterioro, pudiendo en casos extremos generar la muerte del individuo.

En ambientes urbanos, esta variable se potencia, debido a la poca disponibilidad de suelo para el desarrollo adecuado del individuo; El espacio de suelo con nutrientes permite a la especie almacenar agua en sus raíces y entorno; En cambio en suelos compactados y/o escasos y/o de mala calidad impiden la infiltración y el almacenamiento mínimos de agua; Además, aquellas superficies impermeables (de hormigón, asfalto u otro material inerte) impiden el ingreso de agua en el suelo⁹⁰, limitando la recuperación de las napas subterráneas y la provisión no superficial de humedad a los suelos y raíces de árboles.

Las clasificaciones de esta variable son las siguientes⁹¹:

- 1 = No tolerante, precipitación mayor de 600 mm y es capaz de tolerar sólo unos días o semanas sin agua
- 2 = Bajo a Moderadamente tolerante, precipitación de 400 a 500 mm y es capaz de estar un máximo de un mes sin agua
- 3= Altamente tolerante, precipitación menor a 400 mm y es capaz de estar hasta 3 meses sin agua

⁸⁹ CONAF. 2013. Árboles Urbanos de Chile, Guía de reconocimiento, Chile Flora, visitado en <http://www.chileflora.com/Shome.htm>, Catálogo de flora Fundación philippi, visitado en <https://fundacionphilippi.cl/>.

⁹⁰ Sjöman, H., Hirons, A., y Bassuk, N. (2018). Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. *Urban ecosystems*, 21(6), 1171-1188.

⁹¹ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group.

Íconos propuestos:

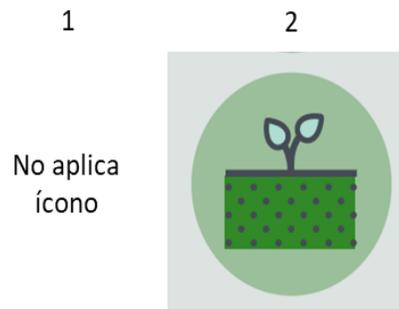


4.3.2.5. Categoría de tolerancia edáfica

22.- La variable “**adaptabilidad al suelo**” se refiere a la tolerancia de la especie a adaptarse a distintas granulometrías de las partículas de suelo (texturas), es decir que posea plasticidad de desarrollarse correctamente en suelos conformados mayoritariamente por texturas de arena (grandes granulometrías) o bien mayoritariamente por texturas conformadas por partículas pequeñas como arcillas (pequeñas granulometrías). La clasificación propuesta es la siguiente:

- 1 = No adaptable, la especie requiere cierta composición de suelo para poder crecer y desarrollarse
- 2 = Adaptable, la especie no requiere una determinada composición de suelo para poder crecer y desarrollarse

Ícono propuesto:



23.- La “**tolerancia a suelos saturados**” se refiere a la tolerancia de la especie a desarrollarse correctamente en suelos saturados de agua. La condición de inundación en el suelo es una combinación entre altos niveles de aporte de agua en el suelo con suelos con mal drenaje. Es una variable compleja que muchas veces se relaciona con deficiencias de oxígeno en el suelo, lo que termina por asfixiar a las raíces, por tanto, dañar al árbol completo. Esto se refleja en altas tasas de mortalidad de raíces y raicillas, un decline en la salud de la copa del árbol y en casos extremos la muerte del individuo completo⁹². Las clasificaciones propuestas son las siguientes:

- 1 = No tolerante, no puede crecer cuando el drenaje es pobre
- 2 = Tolerante, crece bien en suelos de mal drenaje

Ícono propuesto:



24.- La variable “**tolerancia a salinidad**” se refiere a la tolerancia de la especie a desarrollarse correctamente en suelos de tipo salinos, tales como suelos costeros. Las categorías son las siguientes:

- 1 = No tolerante, la especie no crece en ambientes salinos
- 2 = Tolerante, la especie puede crecer sana en suelos salinos

⁹² Hiron, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group.

Ícono propuesto:

1

2

No aplica
ícono



25.- La variable “**PH**” se refiere a la preferencia de la especie para crecer correctamente a cierto rango de pH en el suelo. Se definen 3 grandes rasgos en la escala de pH⁹³: suelos ácidos van en el rango de 1 a 5, suelos neutros cuyo rango va entre 5 y 8, y suelos alcalinos en que el rango de pH es de 8 a 14, que corresponde a las que se usarán en este estudio. Las categorías son:

- 1 = Ácido (< 5)
- 2 = Neutro (5-8)
- 3 = Alcalinos (> 8)

Íconos propuestos:

1

2

3



26.- La variable “**tolerancia a suelos compactados**” se refiere a la tolerancia de la especie a crecer correctamente en, sobre o cercano a suelos duros cuyas partículas de suelo están muy juntas unas de otras dificultando el ingreso de agua al suelo (infiltración), disminuyendo la cantidad de aire en este mismo e interfiriendo con la respiración de las raíces del árbol. Sobre valores de 1,6 g/cm³ se produce una disminución del crecimiento radicular en un 50%⁹⁴.

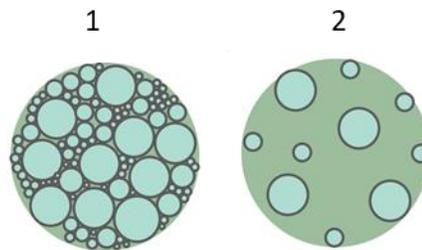
- 1 = Tolerante a suelos compactados puede crecer en suelos >1,6 kg/m³

⁹³ Bassuk, N. (2003). Recommended urban trees: Site assessment and tree selection for stress tolerance. Cornell University, Urban Horticulture Institute.

⁹⁴ Edmondson J.L., Davies Z.G., MacCormack S.A., Gaston K.J., Leake J.R. 2011. ¿Are soils in urban ecosystems compacted? A citywide analysis. *Biology Letters* 7, 771-774

- 2 = No tolerante, no soporta suelo <math><1,6 \text{ kg/m}^3</math>

Íconos propuestos:

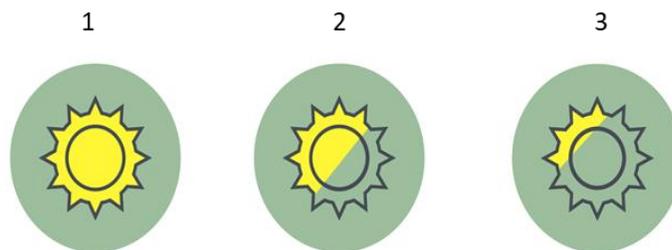


4.3.2.6. Categoría relativa al emplazamiento

27.- La variable “**condiciones de luz**” se refiere a la capacidad de la especie para crecer correctamente bajo distintas condiciones de luz solar. Se definieron 3 condiciones de luz⁹⁵, siendo estas: a pleno sol, a media sombra y bajo sombra, que son las que se usarán en este estudio.

- 1 = Pleno sol, necesita más de 6 horas de sol para crecer sano
- 2 = Semisombra, necesita de 2 a 6 horas de sol al día para crecer sano
- 3 = Sombra, necesita por lo menos 2 horas de sol al día para crecer sano

Íconos propuestos:



28.- La variable “**tolerancia a la contaminación**” se refiere a la capacidad de la especie para desarrollarse correctamente en condiciones de aire contaminado, ya sea en lugares industriales o cercano a grandes vías vehiculares. Los indicadores son:

- 1 = No tolerante, el árbol no se desarrolla en buenas condiciones y tiene tasas de

⁹⁵ Hughes, M., Oaksford, E., Blakeslee, M. (2015). Casey trees: Urban tree selection guide, a Designer’s List of Appropriate Trees for the Urban Mid-Atlantic.

crecimiento reducidas a lo normal para la especie.

- 2 = Tolerante, el árbol es capaz de desarrollarse en buenas condiciones cerca de fuentes contaminantes.

Íconos propuestos:

1

2

No aplica
ícono



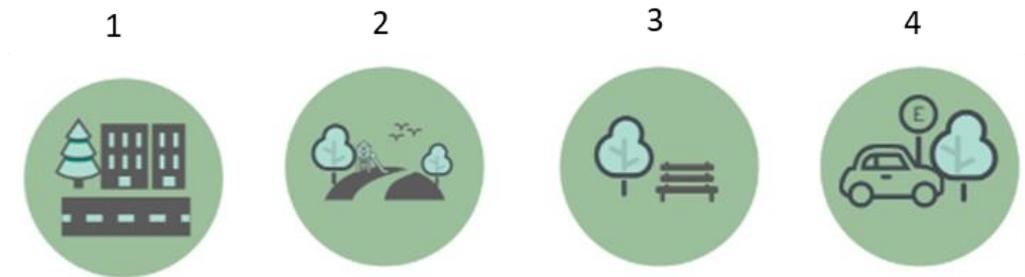
29.- La variable “**ubicación recomendada**” se refiere al lugar donde puede ser utilizada la especie en el contexto urbano, de acuerdo a sus características tanto físicas como de tolerancia. Esta información permite asegurar el éxito del individuo desde su plantación.

Se consideran cuatro (4) tipos de ubicaciones del árbol⁹⁶ recomendadas que abarcan distintas condiciones de infraestructura en la ciudad. Estos son calles (lugares con alto nivel de impermeabilización del suelo por pavimento, poca disponibilidad de suelo muchas veces contaminado y de características químicas variables, y dificultad para asegurar disponibilidad de riegos, con alto tránsito de vehículos y personas), parques (áreas sin mayores restricciones de infraestructura urbana, con cierto nivel de mantención), plazas que incluyen elementos urbanos, tales como postes de luz, bancas, pavimentos y estacionamientos.

- Calles: áreas con alto tránsito vehicular o peatonal y medio grado de pavimentación.
- Parques: áreas con bajo o nulo tránsito vehicular, alto tránsito peatonal y bajo grado de pavimentación.
- Plazas: áreas con medio tránsito vehicular, alto tránsito peatonal y medio grado de pavimentación.
- Estacionamiento: áreas con alto tránsito vehicular o peatonal y alto grado de pavimentación.

⁹⁶ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group.

Íconos propuestos:



4.3.2.7. Categoría de carácter ornamental

30.- La variable de presencia de **“flor de interés ornamental”** se refiere a si las flores que presenta la especie tienen un valor ornamental, considerando si son vistosas o no. Las flores vistosas son aquellas grandes o con suficiente color para destacar en el paisaje, mientras que las no vistosas son difíciles de reconocer. Esta variable aporta información relevante al momento del diseño de un proyecto. Los indicadores son los siguientes y van ligados a la pregunta: ¿la especie tiene flores de interés ornamental?

- 1 = No, no presenta flores que destaquen por su color, forma o tamaño
- 2 = Sí, presenta flores vistosas por color, forma o tamaño

Ícono propuesto:



31.- La variable **“período de floración”** se refiere a la identificación de los meses del año en que una especie presenta flores vistosas. Los árboles producen flores en diferentes períodos del año, dependiendo de la especie⁹⁷. Esta variable aporta información relevante al momento del diseño de un proyecto, también hace alusión a características ecológicas,

⁹⁷ <https://selectree.calpoly.edu>

cuando se presentan flores con néctar que podrían ser alimento de aves e insectos⁹⁸. En este estudio, esta variable es considerada cuando la especie sí presenta flores vistosas - definida en la categoría anteriormente descrita (flor de interés ornamental). Se identifican los meses del año en que la especie presenta flores, por lo que esta variable no presenta indicadores ni simbología. Se clasifican los meses del año que se presenta flores, numerosas y/o muy coloridas

32.- La variable “**hojas de interés ornamental**” se refiere a si las hojas que presenta la especie tienen un valor ornamental, dado el cambio en su color distintivo en el lado superior de la hoja madura cuando especies caducas comienzan su proceso de recambio de las hojas (figura 20). Esta variable aporta información relevante al momento del diseño de un proyecto. Las categorías son las siguientes y van ligadas a la pregunta: ¿la especie tiene hojas de interés ornamental?

- 1 = Sí, las hojas cambian de color entre las estaciones
- 2 = No, las hojas de la especie no cambian de color entre estaciones

Ícono propuesto:

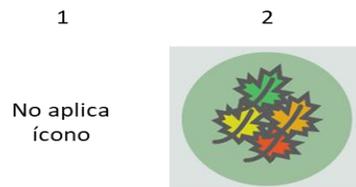


Figura 18. Follaje de *Quercus rubra*, en otoño⁹⁹



⁹⁸ Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. Trees & Design Action Group.

⁹⁹ Fuente imagen: <http://community.homedepot.com/howto/DiscussionDetail/Northern-Red-Oak-Quercus-rubra-906500000000LHy>

4.3.2.8. Categoría relativas al manejo

33.- La variable “**requerimientos de poda**” hace referencia a si la especie en contexto urbano requiere de podas de formación durante su etapa juvenil para obtener un óptimo desarrollo en estado adulto maduro. El indicador es el siguiente:

- 1 = No, necesita podas de formación para un buen desarrollo en estado adulto maduro
- 2 = Sí, necesita podas de formación para un buen desarrollo en estado adulto maduro

Ícono propuesto:

1

2

No aplica
ícono



34.- La variable “**vulnerabilidad a pestes y plagas**” y plagas hace referencia a si la especie es susceptible a ser afectada por enfermedades y/o plagas provocando efectos nocivos sobre su salud y mermando su correcto desarrollo¹⁰⁰. La variable es importante pues orienta a tomar medidas para disminuir posibilidades de afectación por plagas sobre ciertos individuos, ya sea para considerar utilizar un número bajo de individuos, así como orientando a realizar monitoreo y mantenciones periódicas. El indicador es el siguiente:

- 1 = No es susceptible a la invasión de plagas y pestes
- 2 = Sí, es susceptible a la invasión de plagas y pestes

Ícono propuesto:

1

2

No aplica
ícono



¹⁰⁰ <https://selectree.calpoly.edu>

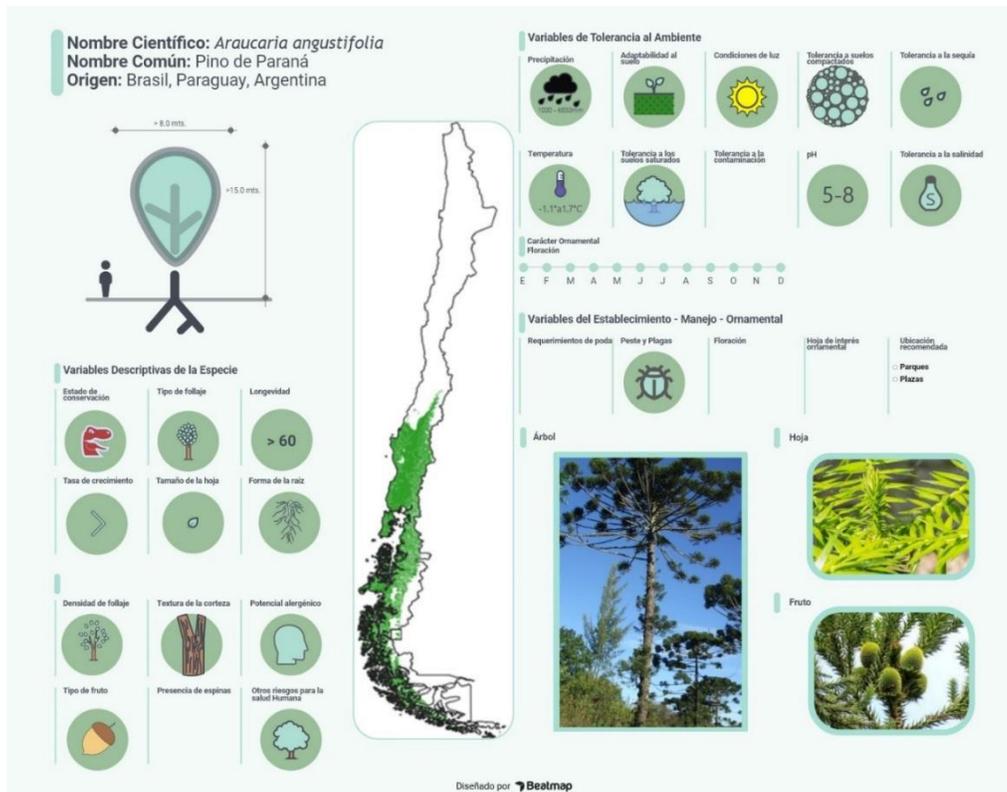
4.3.3. Propuesta de Diseño Ficha Tipo

La ficha para especies de árboles se utiliza para resumir de manera gráfica la información relevante de la especie, que permita de forma rápida obtener la información para la toma de decisiones. En la elaboración de la ficha tipo, se incluyeron las treinta y cuatro (34) variables que fueron identificadas para caracterizar la especie, que son agrupadas de acuerdo a la clasificación de éstas; Además se incluyen fotografías de árbol completo y dos imágenes donde se puede incluir el detalle de la hoja y/o fruto y/o flor. De manera esquemática se incluye un calendario de floración y un mapa de Chile en el cual por medio de cartografía se deberá realizar para cada una de las especies considerando las temperaturas y precipitaciones.

A continuación, se presenta la propuesta de ficha tipo, para la caracterización de las especies potenciales a ser usadas en arbolado urbano (revisar en Figura 19 y Anexo 4).

Se entregará la ficha tipo a modo de ejemplo, en un formato editable en un programa de uso liberado. Se podrá confeccionar el esquema del árbol, permitiendo la selección de las variables estructurales de cada especie, esto quiere decir que si el árbol tiene raíz pivotante y copa globosa se podrá seleccionar esas alternativas, lo mismo que se podrán indicar sus alturas y anchos de copa en estado adulto maduro, apareciendo en el esquema árbol los indicadores seleccionados, permitiendo la personalización de cada una de ellas. Además, se podrá incluir los íconos de acuerdo a la información disponible para las especies.

Figura 19. Propuesta ficha tipo para especie de arbolado urbano, *Araucaria angustifolia*



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en el mapa de Chile se utilizará el rango de temperatura mínima que se adapta la especie, de acuerdo a lo desarrollado en este informe, permitiendo la visualización de la distribución biotérmica de la especie.

La ficha será acompañada por la descripción de cada una de las variables y sus respectivos íconos como se muestran en el punto anterior de este informe.

Se presenta Tabla 10 donde se resumen con las variables seleccionadas y sus indicadores respectivos en el caso que corresponda sus categorías.

Tabla 10. Variables, Indicadores y Rangos propuestos

Variables	Descripción del indicador	Rangos del indicador
Nombre científico	No aplica	No aplica
Nombre común	No aplica	No aplica
Familia	No aplica	No aplica
Procedencia	País de origen	No aplica
	Tipo: Nativa o Introducida (exótica)	1 = Nativa 2 = Introducida
Distribución geográfica	5 Macrozonas con agrupaciones de regiones	Norte grande Norte chico Centro Sur Extremo sur, austral
Estado de conservación	Clasificación de UICN	1 = Extinta 2 = Amenazada 3 = Sin Riesgo
	Clasificación de MMA	1 = Extinta 2 = Amenazada 3 = Sin Riesgo
Tipo de follaje	Estacionalidad de follaje durante el año	1 = Caduco 2 = Siempreverde o perenne
Altura	Distancia entre el suelo y el punto más alto de la copa del árbol	1 = Árboles pequeños, hasta 5 m ¹⁰¹ 2 = Árboles medianos, entre 5 y 20 m 3 = Árboles grandes, sobre 20 m
Ancho de copa	Distancia entre dos puntos opuestos de la copa del árbol pasando por el centro de éste	1 = ancho de copa de 2 a 6 m 2 = ancho de copa de 6 a 8 m 3 = ancho de copa mayor a 8 m
Longevidad	Número de años que tarda una especie en llegar al estado de senescencia	1 = Corta, menos de 20 años 2 = Mediana, entre 20 y 60 años 3 = Larga, más de 60 años

¹⁰¹ m: metros

Tasa de crecimiento	Velocidad de crecimiento de la especie en condiciones óptimas para llegar al estado de adulto maduro	1 = Lenta, más de 20 años 2 = Mediana, entre 10 a 20 años 3 = Rápida, menor a 10 años
Forma de la raíz	Forma que adquiere la raíz de la especie en su adultez	1 = Pivotante 2 = Extendida 3 = Mixta
Forma de la copa	Forma que adquiere la copa del árbol cuando llega a su estado adulto maduro	1 = Columnar 2 = Globosa 3 = Ovalada 4 = Péndula 5 = Piramidal 6 = Extendida
Tamaño de la hoja	Tamaño de la hoja de la especie cuando llega a su estado de adulto maduro	1 = Pequeña, menor a 5 cm 2 = Mediana, entre 5 y 10 cm 3 = Grande, mayor a 10 cm
Densidad de follaje	Índice de área foliar, correspondiente al número de hojas en 1m ²	1 = Ligero 2 = Medio 3 = Denso
Textura de la corteza	Tipo de corteza de acuerdo a grado de aspereza de la corteza del tronco del árbol	1 = Lisa 2 = Rugosa
Tipo de fruto	Tipo de fruto que desarrolla un árbol según sus características botánicas	1 = Fruta 2 = Nuez 3 = Cono 4 = Otro
Presencia de espinas	Presencia de espinas	1 = No 2 = Si
Potencial alergénico	Presencia de componentes alergénicos para la salud humana en hojas, flores, frutos y/o semillas	1 = No alergénico 2 = Bajo a moderadamente 3 = Altamente alergénico
Tolerancia a heladas	Cantidad de días que soportan temperaturas menores a 0°Celsius, antes que el árbol presente síntomas de daños, derivados a días fríos	1 = No tolerante 2 = Bajo a Moderadamente tolerante 3 = Altamente tolerante

Tolerancia a la sequía	Cantidad de días sin aporte de agua (precipitaciones y/o riego), antes de que el árbol presente síntomas derivados estrés hídrico	1 = No tolerante 2 = Bajo a Moderadamente tolerante 3 = Altamente tolerante
Adaptabilidad al suelo	Grado de adecuación de la especie a distintas texturas de suelo	1 = No adaptable 2 = Adaptable
Tolerancia a suelos saturados	Grado de adecuación de la especie a desarrollarse en ambientes saturados de agua en el suelo	1 = No tolerante 2 = Tolerante
Tolerancia a la salinidad	Grado de adecuación de la especie a desarrollarse en suelos con alto contenido de sales	1 = No tolerante 2 = Tolerante
pH	Grado de acidez/basicidad del suelo en que la especie se desarrolla correctamente.	1 = Ácido, menor a 5 2 = Neutro, entre 5 y 8 3 = Alcalinos, mayor a 8
Tolerancia a suelos compactados	Densidad del suelo en que la Suelos compactados son considerados cuando su densidad es superior a 1,6 g/cm ³	1 = Tolerante 2 = No tolerante
Condiciones de luz	Cantidad de horas de luz requeridas por la especie para desarrollarse correctamente	1 = Pleno sol 2 = Semisombra 3 = Sombra
Tolerancia a la contaminación	No aplica	1 = No tolerante 2 = Tolerante
Ubicación recomendada	No aplica	1 = Calles 2 = Parques 3 = Plazas 4 =Estacionamientos
Flor de interés ornamental	Presencia de flores vistosas	1 = No 2 = Sí
Período de floración	Se marcan los meses de floración	Meses del año

Hojas de interés ornamental	Presencia de follaje que cambia de color en otoño	1 = Sí 2 = No
Requerimientos de poda	No aplica	1 = No 2 = Sí
Vulnerabilidad a pestes y plagas	No aplica	1 = No es susceptible 2 = Sí es susceptible

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Construcción herramienta de caracterización de conjunto de datos

La herramienta de caracterización (llamada también matriz o base de datos excel, revisar Anexo 3) de especies arbóreas propone categorías y variables descritas en el punto 4.3.2 (en Tabla 10 y Anexo 2) utilizando las bases de datos. La base de datos se organiza en filas y columnas, donde las filas representan las especies y las columnas las variables de caracterización. Cada celda se puebla con la información bibliográfica a cada especie de árbol. Por ejemplo, si se está completando la especie *Araucaria heterophylla*, en su variable condición de luz, se busca en la base de datos (<https://selectree.calpoly.edu/tree-detail/araucaria-heterophylla>) que indica que la especie crece a pleno sol, por ende se llena la celda con el número 1 de acuerdo a la categoría del indicador definido en la tabla 10. Este ejercicio se repitió para todas las variables para las 25 especies de árboles.

En estudios futuros, se podrían agregar más variables, si es que se encuentra información para todas las especies.

A continuación, en la Tabla 11 se detallan las veinte y cinco (25) especies seleccionadas, de acuerdo a distribución geográfica. El detalle de la información de categorías y variables de cada una de estas especies se pueden revisar en Anexo 3.

Tabla 11. Listado de Especies de Árboles, según distribución geográfica

Nombre científico	Nombre común	Macrozona Norte Grande: Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta	Macrozona Norte Chico: Atacama y Coquimbo	Macrozona Central: Valparaíso, RMS, O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío	Macrozona Sur: La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos	Macrozona Austral: Aysén y Magallanes
<i>Acacia visco</i>	Vilca	X	X	X		
<i>Araucaria angustifolia</i>	Pino del Paraná			X	X	
<i>Araucaria heterophylla</i>	Araucaria Excelsa o pino de la Isla Norfolk	X	X	X		
<i>Brachychiton populneus</i>	Árbol botella, Brachichito		X	X	X	
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Tara	X	X	X		
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina		X	X		
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Ciprés de Monterrey	X	X	X	X	X
<i>Embothrium coccineum</i>	Notro o Ciruelillo				X	X
<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo		X	X	X	
<i>Grevillea robusta</i>	Grevillea	X	X	X		
<i>Lomatia hirsuta</i>	Radal		X	X	X	

<i>Luma apiculata</i>	Arrayán				X	X
<i>Melia azedarach</i>	Melia		X	X		
<i>Myoporum laetum</i>	Mioporo	X	X	X		
<i>Nothofagus alpina</i>	Raulí				X	
<i>Phytolacca dioica</i>	Ombu	X	X	X		
<i>Pittosporum tobira</i>	Pitosporo			X		
<i>Quercus robur</i>	Roble europeo			X	X	
<i>Schinus areira</i>	Pimiento	X	X	X		
<i>Schinus polygamus</i>	Huingán		X	X	X	
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Pimentero brasileño	X				
<i>Senna candolleana</i>	Quebracho			X		
<i>Sequoia sempervirens</i>	Sequoia			X	X	
<i>Sophora cassioides</i>	Pelú			X	X	
<i>Sophora macrocarpa</i>	Mayú, mayu o mayo			X		

Fuente: Especies y datos enviados por contraparte técnica MINVU.

La base de datos de la tabla excel (Anexo 3) está construida para facilitar la comprensión de las características de especies arbóreas. Con esta información los profesionales MINVU

podrán elaborar informes y aportar en el análisis en etapas de inventarios en el diagnóstico, de diseño, de construcción, de mantenimiento y de evaluación en proyectos urbanos.

El profesional podrá a partir de un levantamiento del área de trabajo o del sitio, posteriormente establecer cruces entre las condiciones de emplazamiento locales y las características del listado de especies de árboles.

Esta matriz de caracterización permitiría orientar respecto del establecimiento y desarrollo de las especies arbóreas, si se logra un buen análisis de terreno, se podría aumentar el porcentaje de sobrevivencia en la etapa juvenil (considerando un riego adecuado y cuidados de protección). Lo anterior, podría considerar un aumento de sus servicios ecosistémicos, si se logran mantener en el largo plazo. Con un buen conocimiento de las especies de árboles y su plantación en un sitio adecuado, es posible que requieran menores acciones de manejo, por ende, un menor costo de mantenimiento. Además, se puede disminuir las probabilidades de contraer pestes, plagas y/o enfermedades.

4.3.5.Recomendaciones para el uso de la herramienta de caracterización de especies

En la siguiente sección, se entregan algunas recomendaciones para el uso de la herramienta de caracterización de especies de árboles.

La matriz funciona de acuerdo a los objetivos (espaciales, funcionales, estéticos, ecosistémicos, entre otros) que se definen en el proyecto urbano, lo que permite jerarquizar las primeras variables en ella. Luego se deben conocer las restricciones del sitio o área de trabajo, del clima y de los elementos urbanos críticos. Estos criterios deberían tener igual peso en la decisión de qué especie es adecuada a plantar o evaluar su emplazamiento en un diagnóstico. Para esto, se pueden ir ocupando los filtros que tiene el programa excel. Esto permitiría generar un listado de especies, que podrían funcionar para el proyecto urbano.

Se recomienda que el profesional que la utilice tenga conocimientos del funcionamiento de los árboles, para mayor optimización de la información. Se sugieren las siguientes consideraciones:

- Se deberá tener claro el objetivo del proyecto para identificar correctamente las características que debiera presentar el árbol y poder establecer prioridades de filtro a lo deseado.
- Se deberá conocer las características climáticas del sitio del proyecto, de manera de poder escoger las especies idóneas.

- Se deberá conocer la infraestructura superficial y subterránea existente en el sitio del proyecto, de manera de identificar las condiciones que debe cumplir el árbol para no tener conflictos con el entorno.
- Se deberá realizar un estudio de la calidad del suelo.
- Se deberá identificar si existe agua disponible para el riego y evaluar si el regar es la decisión más adecuada en el largo plazo (factibilidad de agua).
- Esta herramienta deberá ser poblada con la mayor cantidad de especies de árboles posibles, de manera de tener una amplia variedad que cubra todas las regiones del país.
- Se debe priorizar las especies nativas y que se encuentren disponibles en viveros.

4.4. Propuesta de sensibilización y difusión sobre manejo del arbolado urbano

A continuación, se presenta propuesta de actividades de difusión y sensibilización sobre la integración del arbolado urbano en espacios públicos, a profesionales MINVU.

4.4.1. Análisis de encuesta de acuerdo a instituciones participantes

Se realizó encuesta (Anexo 6) para determinar aquellos ámbitos priorizados del manejo del árbol urbano, por profesionales de distintas áreas de trabajo. Para esto, se abordó la clasificación de estos factores, para cuatro etapas de proyecto de arbolado urbano acordados con la contraparte técnica: diagnóstico, diseño, construcción y mantenimiento.

Se analizaron cuatrocientos setenta y nueve (479) encuestas, con una tasa de término del 77%. Esto quiere decir que trescientos setenta (370) personas completaron las once (11) preguntas de la encuesta. Hubo cerca de cien (100) respuestas que quedaron sin contestar de forma completa o que contestaron que su quehacer no involucra ninguna de las etapas identificadas. Todos los resultados de la encuesta se entregan, en formato excel, en Anexos 7 y 8.

La Figura 20 muestra las instituciones participantes y el porcentaje de respuesta por institución¹⁰² (Anexos 7 y 8). Cabe destacar la alta participación de los profesionales MINVU

¹⁰² CONAF. Corporación Nacional Forestal
 GORE. Gobierno Regional
 MINEDUC. Ministerio de Educación
 MINVU. Ministerio de Vivienda y Urbanismo
 MOP. Ministerio de Obras Públicas
 PARQUEMET. Parque Metropolitano

tanto del nivel central como regionales (SEREMI -SERVIU) (mayor al 50%), seguido por profesionales de municipalidades (17,57%) y privados que trabajan en ámbito de arbolado (9%).

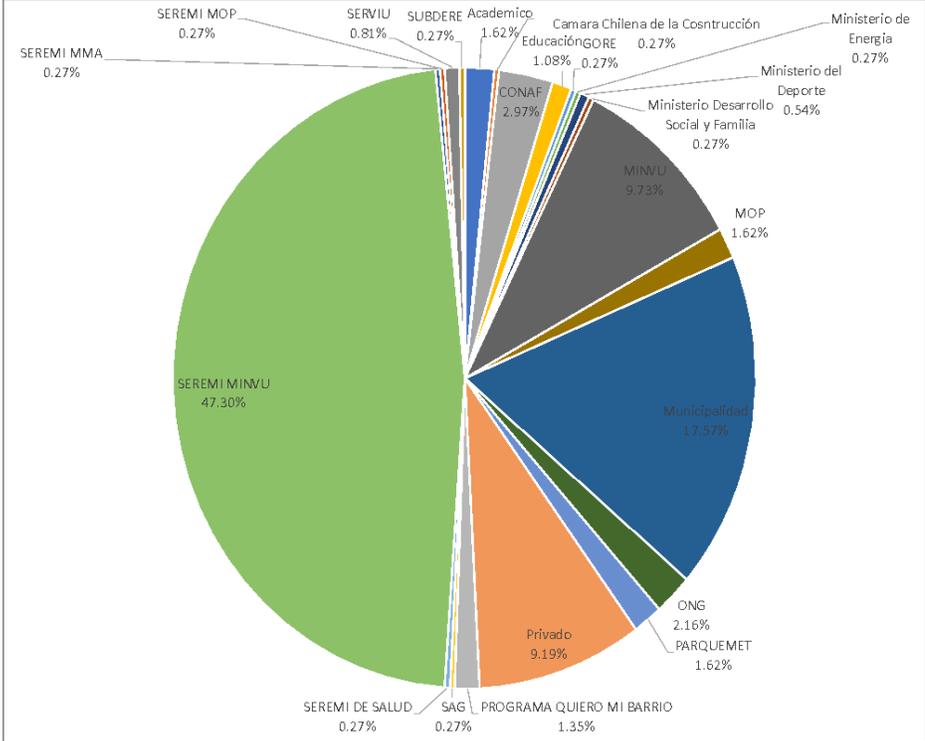


Figura 20. Instituciones participantes y participación en la encuesta

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 12 y Figura 21 la mayor participación se encuentra en la etapa de diseño, con 272 personas representando el 61% y la de diagnóstico con 261 personas representando el 56%. La etapa de menor participación corresponde a la mantención, con 119 respuestas con el 29 % y a la de Construcción, con 184 respuestas siendo 44%. Es importante, considerar que los participantes podrían responder en más de una de las etapas, por lo que los porcentajes entre ellas superan el 100%, por ende, los porcentajes

SAG. Servicio Agrícola y Ganadero
 SEREMI. Secretaria Regional Ministerial

son independientes entre sí. En la Tabla 12 se muestra el resumen de las respuestas en cada una de las etapas.

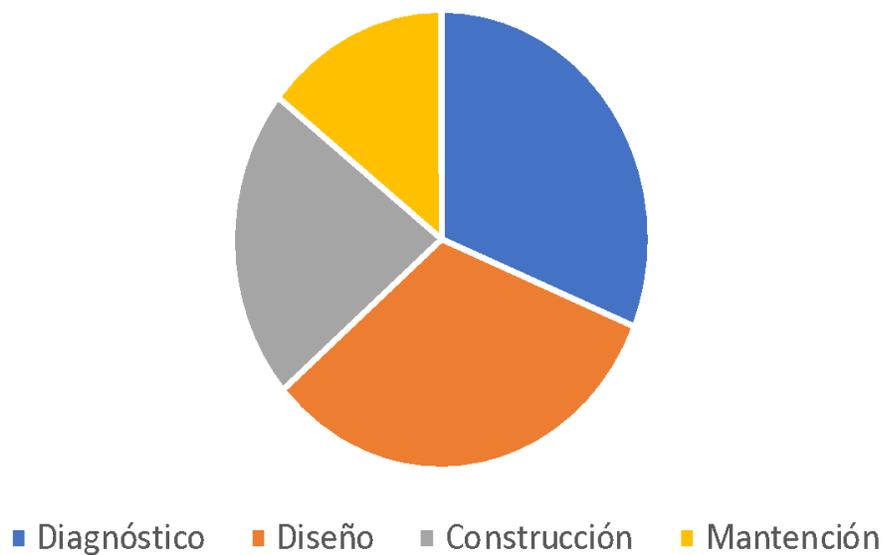
Tabla 12. Número de encuestados, según etapa de proyectos

Etapa	Número de participantes	Participación (%)
Diagnóstico	261	56
Diseño	272	61
Construcción	184	44
Mantenimiento	119	29

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Distribución de encuestados por etapas de manejo del árbol urbano

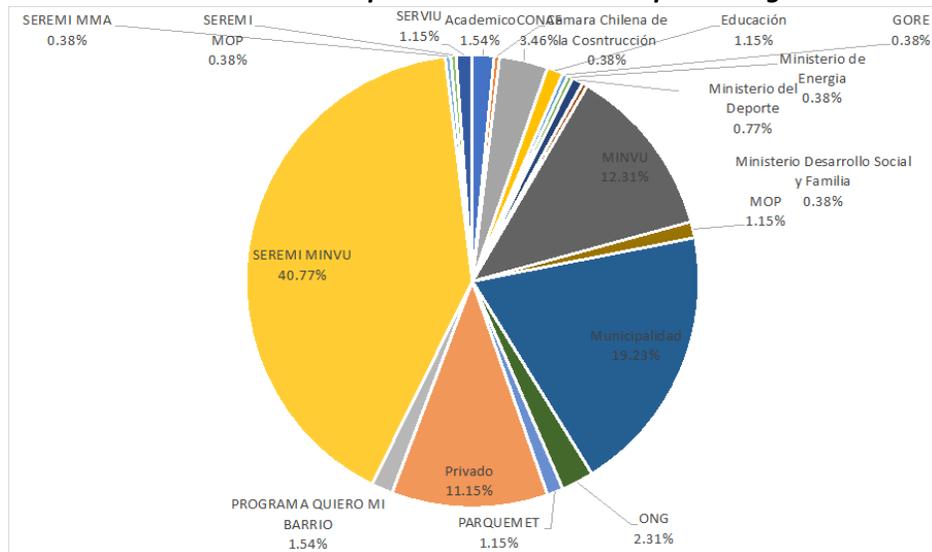
Número de Informantes Calificados por Etapa



Fuente: Elaboración propia.

Dentro del diagnóstico se identificaron las instituciones involucradas en esta etapa como se ilustra en la Figura 22.

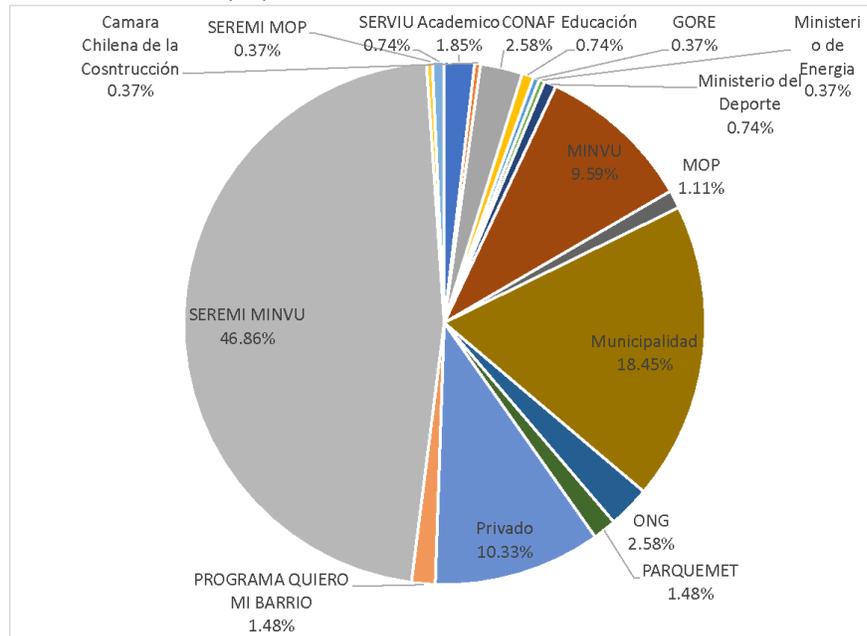
Figura 22. Distribución de encuestados por institución en la etapa de diagnóstico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Distribución de encuestados por institución en la etapa de diseño

Fuente: Elaboración propia.

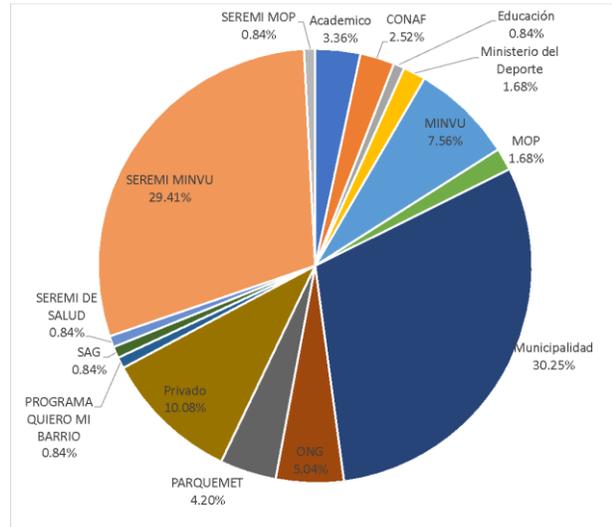


Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de diseño hay una disminución en el número de instituciones participantes y un cambio en la distribución de los porcentajes, siendo el SERVIU y las municipalidades (Figura 23).

En el caso de la etapa de construcción la distribución es similar a la etapa de diseño, donde SERVIU representa un mayor porcentaje, seguida por las municipalidades (Figura 24).

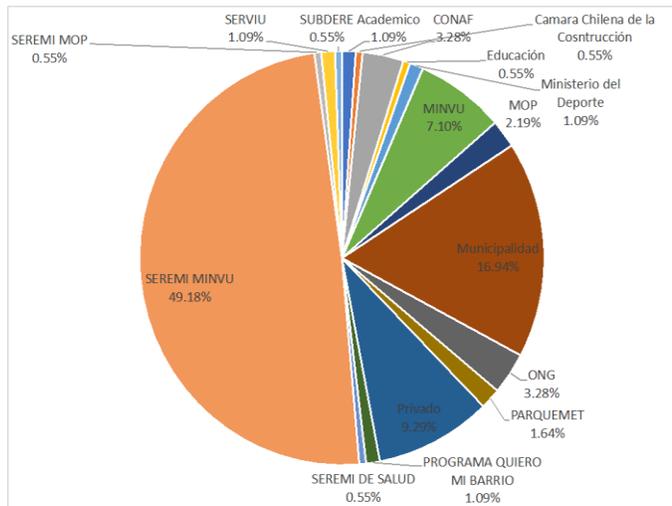
Figura 24. Distribución de encuestados por institución en la etapa de construcción



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la etapa de mantención los municipios son las instituciones más involucradas (Figura 25).

Figura 25. Distribución de encuestados por institución en la etapa de mantención



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Análisis de la encuesta según etapas de proyecto

Como se mencionó en secciones anteriores, se obtuvieron trescientos setenta (370) respuestas completadas, que permiten identificar los ámbitos del manejo del arbolado

urbano. A los encuestados se les pidió definir tres factores, que fueran críticos en las etapas de diagnóstico y de mantenimiento; Además de seleccionar cinco factores críticos para las etapas de diseño y de construcción.

En el **Diagnóstico** se reconocen cinco (5) conflictos identificados por la mayoría de los encuestados. Se puede observar en la Figura 26, que aquellos tres más seleccionados son: la disponibilidad de fuente de agua para riego con un 65%, la información del material vegetal existente, su estado fitosanitario con un 63% y la información climática, precipitaciones y otras condiciones geográficas locales con un 62%. También son mencionados por los encuestados la información del suelo disponible (47%) y la disponibilidad de información en la etapa de diagnóstico (38%) (Figura 26).

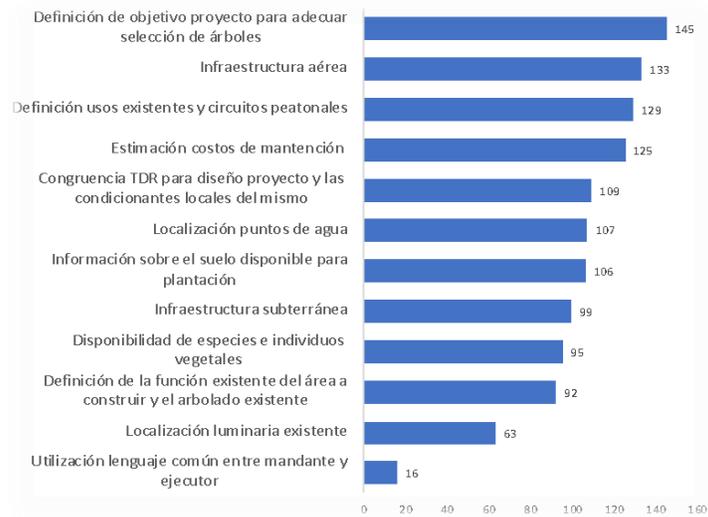
Figura 26. Frecuencia de respuestas para etapa de diagnóstico



Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de **Diseño** tiene un mayor porcentaje la “definición de objetivo de proyecto para adecuar la selección de árboles” (50%); La existencia de infraestructura aérea, la información del material vegetal existente, como su estado fitosanitario y la estimación de los costos de mantenimiento de la especie son los que siguen en prioridad, sumando más del 45%. Se distingue la localización de la luminaria y el uso del lenguaje común entre mandante y ejecutor como poco relevantes en esta etapa.

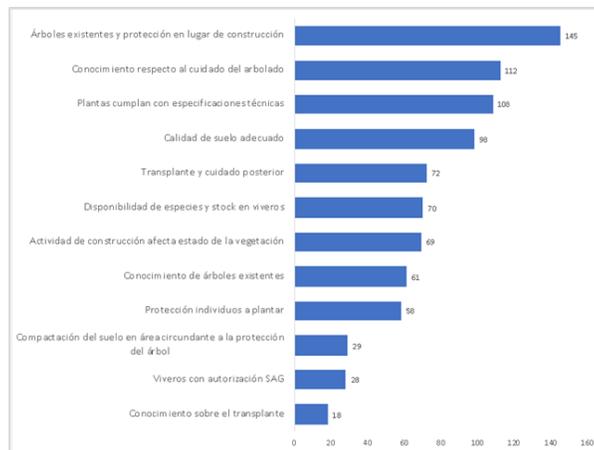
Figura 27. Frecuencia de respuestas para la etapa de diseño



Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de **Construcción** la mayoría (79%) reconoce que la protección de los árboles existentes en el área de construcción es lo más crítico, le sigue el conocimiento del cuidado del arbolado (61%). Ambos factores se dirigen a entender como conservar al arbolado urbano (Figura 28) y requieren del desarrollo de conocimientos técnicos para abordar este problema, indicando la necesidad de capacitación de los profesionales. Otras limitantes relativas al establecimiento son la calidad del suelo y la calidad de las plantas, factores a tener en consideración al elaborar un proyecto urbano.

Figura 28. Frecuencia de respuestas en la etapa de construcción

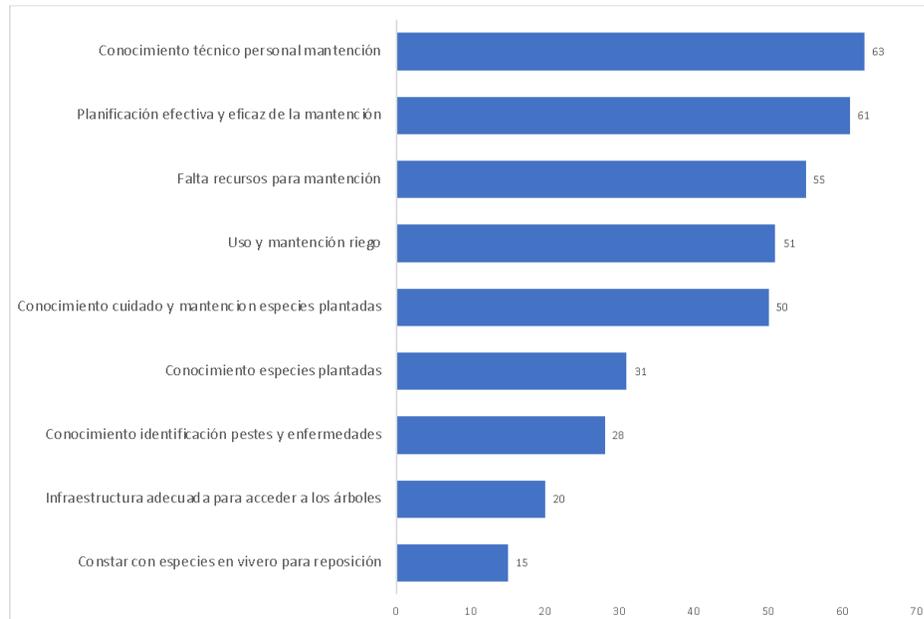


Fuente: Elaboración propia.

Para la etapa de **Mantención** los dos resultados priorizados se detallan en la Figura 29. Estas fueron el “conocimiento técnico del

personal de mantención” y la “planificación efectiva y eficaz de la mantención” las cuales representan un 63% y 61%, respectivamente.

Figura 29. Frecuencia de respuestas para la etapa de mantención



Fuente: Elaboración propia.

En un segundo grupo de prioridad, se encuentra el conocimiento y cuidado de las especies plantadas, la falta de recursos económicos para la mantención y el uso y mantención del sistema de riego, todos con valores entre 40% y 50%.

En la literatura revisada, se destaca que durante la etapa de **diagnóstico** es sumamente importante conocer las condiciones del sitio y no se menciona la etapa de **diseño**.

Durante la **construcción** adicional a las especificaciones técnicas, es importante el conocer la exposición al sol, la forma de crecimiento y la tolerancia a la sequía o los anegamientos¹⁰³.

¹⁰³ Bradshaw, A. D., Hunt, B., & Walmsley, T. (1995). Trees in the urban landscape: principles and practice. London: E & FN Spon.

Para la **mantención**, Bradshaw et al. (1995) destaca, como más importantes, aquellos factores que son relativos al manejo y no a la selección de la especie.

Durante el **monitoreo**, para llevar un seguimiento del rendimiento del árbol en el terreno, se destaca la tolerancia a la contaminación y la salinidad, la susceptibilidad a pestes y enfermedades, como la exposición al sol. Todas son variables relativas a la selección e identificación de especie arbórea (Tabla 13).

Tabla 13. Componentes y principales factores del árbol, según etapas del proyecto urbano

Etapas del proyecto	Componente	Principales factores
Idea	Esquema general de la idea	Uso Necesidades de las personas en el sitio del proyecto
Diseño Contrato	Detalle del esquema Condiciones de sitio Preparación del contrato	Todos los factores Compactación Pobreza Toxicidad Todos los factores
Preparación de sitio	Tratamiento de sitio	Cultivo Drenaje Cobertura del suelo Superficie del suelo
Suplemento de árboles	Preparación de los árboles Especies Stock de plantación	Levantamiento Condiciones de crecimiento Podas Forma de crecimiento Ecología
Plantación	Labores de plantación Manejo de la plantación	Daño a la raíz Calidad del alcorque Exposición de raíces
Establecimiento	Cuidado	Malezas Nutrientes Sequía Aposamiento de agua
Mantención	Mantención de sitio Protección	Corta de césped Protecciones de árboles Vandalismo Vehículos Tutores y amarras

Monitoreo	Factores ocasionales	Salinidad del suelo Contaminación del aire Condición de luz Susceptibilidad de la especie a pestes y enfermedades
-----------	----------------------	--

Fuente: Adaptado de Bradshaw et al. 1995¹⁰⁴

4.4.3. Propuesta de diagrama de flujo en el manejo del árbol urbano

A partir de los resultados de la encuesta y la consideración del análisis de Bradshaw et al. (1995)¹⁰³ se construyó una propuesta de diagrama de flujos, ocupando bizagi (Figura 30), cuya simbología se encuentra detallada en la Figura 31. En base a los datos obtenidos se graficó las decisiones e hitos que permiten abordar correctamente el desarrollo de un proyecto de arbolado urbano.

Para la etapa de **diagnóstico** se presenta como relevante disponer de información sobre el estado fitosanitario de los árboles, la condición climática adecuada, la disponibilidad de agua para riego en el sector y la condición de los suelos e infraestructura presentes.

Estos antecedentes, junto a los objetivos del proyecto y el estudio de la disponibilidad de especies en viveros son claves para la etapa de **diseño**, que es cuando se realiza la acción de seleccionar las especies adecuadas para el proyecto y su emplazamiento, considerando su desarrollo durante el ciclo de madurez de éstas.

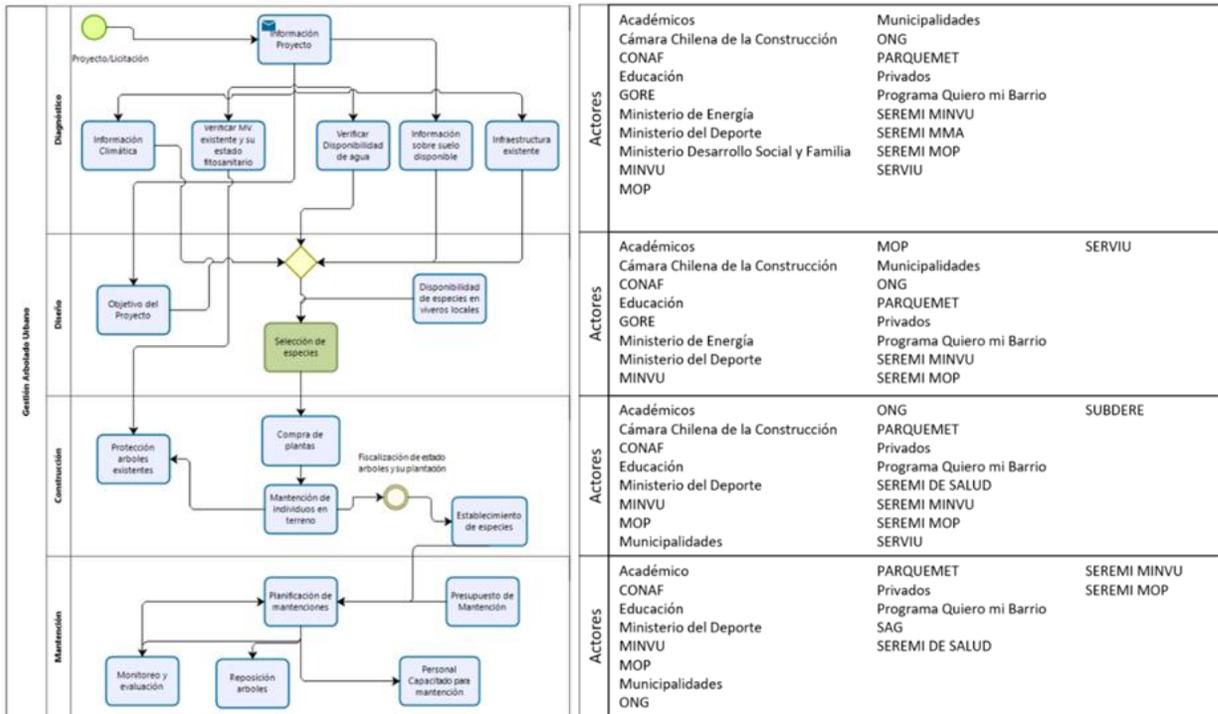
En la etapa de **construcción**, los aspectos relevantes son: la protección de árboles existentes, la compra de plantas y la mantención de los individuos en terreno. Lo anterior, podría aumentar la sobrevivencia y establecimiento del número de individuos de especies arbóreas.

La etapa de **mantención** se debe considerar un presupuesto anual y continuo, que permita monitorear la sobrevivencia del arbolado urbano, como la reposición de individuos en mal estado o muertos.

¹⁰⁴ Bradshaw, A. D., Hunt, B., & Walmsley, T. (1995). Trees in the urban landscape: principles and practice. London: E & FN Spon.

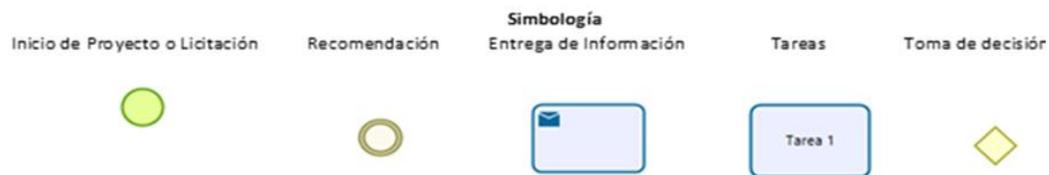
Figura 30. Diagrama de Flujo de Acciones y Decisiones asociadas al Árbol Urbano, por etapas de un proyecto urbano

Representa el flujo de acciones y decisiones asociadas al arbolado urbano, en el proceso de diagnóstico, construcción y mantenimiento de espacios verdes



MV corresponde a material vegetal.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Simbología utilizada en Diagrama de Flujo (bizagi)



4.4.4. Propuesta preliminar de sensibilización a profesionales MINVU

A continuación, se presenta una propuesta preliminar de contenidos para futuras sensibilización a profesionales Minvu, asociados a las cuatro (4) etapas que conlleva un plan de arborización: diagnóstico, diseño, construcción y mantenimiento, descritas en los puntos anteriores.

4.4.4.1. Etapa de diagnóstico

En la etapa de diagnóstico, los contenidos deben estar asociados a identificar las características propias del lugar (estudios previos de sitio) asociado al desarrollo de las especies arbóreas. Para esto, se debe conocer las condiciones de suelo incluidos el grado de compactación (una aproximación de la capacidad de drenaje), el pH, además del contenido de sales y de materia orgánica. Se deben evaluar las condiciones de luz que recibe el sitio a lo largo del día, la disponibilidad de riego y las posibles fuentes de contaminación.

Se debe realizar un catastro de árboles existentes, de acuerdo a su estado de mantención, riego y fitosanitario. Las informaciones sobre las características del sitio de emplazamiento incluyen la evaluación de la vegetación pre-existente en el lugar, en función del número de árboles, especies, altura, presencia de plagas y de árboles enfermos (estado fitosanitario), de manera de evaluar la pertinencia de mantener dicha vegetación en el sitio del proyecto.

Durante esta etapa, se debe definir el objetivo del proyecto, por ejemplo, en una plaza su principal uso será recreativo; U otro ejemplo es una arborización de un espacio verde, cuyo objetivo puede ser cumplir con un Programa de Compensación de Emisiones establecido por el SEIA¹⁰⁵. En el caso de un espacio verde cerca de una autopista el objetivo podría ser arborizar para tener una cortina cortaviento y un área de protección (buffer) de ruido.

Los datos mencionados anteriormente deben ser levantados y evaluados por profesionales del área ambiental, tales como ingenieros agrónomos, ingenieros forestales, ingenieros ambientales, biólogos, geógrafos u otros profesionales de áreas afines, todos cuenten con cursos de especialización de al menos seis (6) meses en programas de arbolado urbano.

En esta etapa se deben identificar y cartografiar las variables críticas del sitio que pudiesen afectar el establecimiento y desarrollo futuro de los nuevos y los existentes árboles. Además, se requiere que el profesional del área realice sugerencias, sobre cómo se deben proteger los árboles existentes que se deseen mantener dentro del área del proyecto, de

¹⁰⁵ SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

manera de poder incluirlas dentro de las especificaciones de la licitación. La herramienta de caracterización, desarrollada en el punto anterior, apoya en el reconocimiento de especies existentes.

4.4.4.2. Etapa de diseño

Se sugiere que los profesionales encargados de participar en esta etapa posean estudios de especialización en el área de paisajismo, tales como paisajistas, arquitectos del paisaje, ecólogos paisajistas, arquitectos con especialidad en paisajismo, entre otros, que cuenten con cursos de especialización de al menos 6 meses en programas de arbolado urbano.

Los profesionales deben ser capaces de formular un anteproyecto acorde a las características del sitio. Dicha formulación debe ser presentada ante la comunidad, con la finalidad de ajustar el proyecto diseñado a las necesidades y preferencias de las personas que habitan el lugar.

Los profesionales que participen en esta etapa del proyecto deben contar con el conocimiento y experiencia de especies arbóreas. La herramienta de caracterización de especies de árboles, elaborada en esta consultoría, puede colaborar en el conocimiento de las especies, como de las condiciones que se beneficia para su desarrollo y sobrevivencia. Lo anterior, va en concordancia con los resultados de la encuesta realizada en esta consultoría a técnicos y profesionales que se desempeñan en el área de arbolado urbano; Puesto que uno de los resultados de la encuesta asociada a la etapa de diseño, se considera relevante contar con información de las especies para definir cuales se adaptan mejor, al lugar y condiciones hídricas, edáficas y climáticas locales.

En esta etapa, se debe conocer y recomendar las especies a utilizar en el proyecto; De acuerdo a disponibilidad en viveros locales, donde se debe conocer: cuántas y cuáles especies, tamaños de bolsas (según desarrollo de pan de raíz), altura de los árboles y estado de desarrollo.

4.4.4.3. Etapa de construcción

En esta etapa, se sugiere la presencia de profesionales adecuados que asuman el rol de Inspectores (ITO de paisaje), tanto por parte de la empresa constructora como de la entidad mandante, que deben contar con conocimientos técnicos y vasta experiencia (sobre 6 meses) sobre los árboles en la ciudad y en espacios verdes.

Deben estar capacitados en programas de plantación de árboles, poniendo énfasis en algunos componentes de la acción de plantar, tales como el tamaño de hoyadura, manejo

de basura y escombros presentes en el suelo, uso de mulch, instalación de riego, uso de tutores y fertilización, entre otros.

Además, debe contar con conocimientos en cuanto al manejo del arbolado antes y durante la ejecución de la obra, por ejemplo, el retiro de la bolsa del vivero sin romper, ni dañar el pan de raíces, el traslado y manejo de las plantas desde el vivero hasta el sitio de plantación, considerando su almacenamiento transitorio previo a la plantación.

En cuanto a los árboles pre-existentes en el sitio del proyecto, si se decide mantener algunos o todos los individuos, el fiscalizador deberá velar por la correcta protección y mantención de éstos; lo que podría incluir algunas decisiones en cuanto a si requieren riego, aplicación de podas, fertilización, construcción de tazas de riego, manejo de plagas y enfermedades, si las hubiera, entre otras.

4.4.4.4. Etapa de mantención y monitoreo

La etapa de mantención corresponde al período en que los árboles logran establecerse en el sitio del proyecto, esto es al menos hasta 3 años desde que finaliza la etapa de construcción. Durante la mantención se debe velar por la salud del arbolado, para esto se debe reconocer si el árbol tiene daño estructural y que hacer para subsanarlo; Por ejemplo, si está afectado por alguna plaga o enfermedad y saber cómo solucionarlo, si el árbol requiere de fertilización, más o menos riego, entre otras. Es por esto, que es sumamente relevante que el personal de mantención sea de la institución que provenga y cuente con las competencias técnicas para llevar a cabo estas labores.

En la etapa de mantención se llevan a cabo las actividades relacionadas a la evaluación del crecimiento y estado de los árboles, con relación al momento de construcción del proyecto. Se recomienda establecer procedimientos de monitoreo de los árboles, respecto a su estado fitosanitario, riego, porcentaje de sobrevivencia, reposición de individuos, estado de tazas, entre otras gestiones y cuidados de los individuos por especies y emplazamiento.

Se recomienda que el trabajo de mantención sea realizado y/o supervisado por profesionales, tales como ingenieros agrónomos, ingenieros forestales, ingenieros ambientales, paisajistas, u otros profesionales de áreas afines, que cuenten con el conocimiento técnico certificado. Dicha certificación, deberían incluir cursos relativos al manejo del suelo, fertilización, podas de formación y sanitarias, riego o manejo del agua, manejo de pestes y enfermedades.

La mantención del arbolado está a cargo principalmente por los Municipios, además de otros servicios como el MINVU (Parque Metropolitano de Santiago y de Servius de otras

regiones), Conaf y Corporaciones privadas. Muchas de las mantenciones son subcontratos encargados a empresas de mantención de arbolado que son privadas, mientras que una parte más reducida es abordada directamente por el servicio a cargo.

El profesional encargado en esta etapa deberá contar con amplios conocimientos sobre el crecimiento de los árboles en condiciones de ciudad, para identificar a tiempo posibles conflictos entre los árboles y el entorno en que se desarrollan y dando soluciones en el momento acertado. Dentro de estas soluciones se incluye acciones de reemplazo de aquellos individuos que no se adaptaron al sitio del proyecto, aumento o disminución del riego, aplicación de podas de formación, fertilizaciones, construcción de tazas de riego y el manejo de plagas y enfermedades si se presentase.

4.4.4.5. Propuesta de contenidos mínimos de sensibilización

A continuación, se sugieren tópicos y contenidos mínimos que debiera incluir un proceso de capacitación a funcionarios que se desempeñan en las distintas etapas de manejo del arbolado urbano:

- Materias relacionadas al entendimiento general de las plantas: taxonomía de plantas, estructura y morfología vegetal, biogeografía de especies vegetales, fisiología vegetal, efectos de las variables ambientales sobre desarrollo de las plantas: suelo, clima, aire y agua, especies arbóreas urbanas nativas, exóticas e invasivas de Chile.
- Materias relacionadas a conceptos del arbolado urbano: definiciones básicas de arbolado urbano, historia de la disciplina, desarrollo y crecimiento de árboles en las ciudades, factores del entorno que afectan a las plantas tales como suelos, climas, procesos atmosféricos, hidrología.
- Materias relacionadas al arbolado urbano y las personas: sociedad y naturaleza, efectos de la vegetación en la salud de las personas, servicios ecosistémicos entregados por el arbolado urbano (conceptos básicos, indicadores, cuantificación y valoración), beneficios para las personas que aporta la biodiversidad urbana.
- Materias relacionadas a planificación y políticas sobre arbolado urbano: revisión de políticas, planes, estrategias, gobernanza y financiamiento del arbolado urbano en Chile y el mundo, participación ciudadana en decisiones de arbolado urbano basadas en programas de educación sobre este tema (identificación de preferencias y necesidades de las personas, participación ciudadana vinculante, estrategias comunicacionales).
- Materias relacionadas con la planificación de acciones del árbol urbano: gestión del arbolado urbano, planes de manejo de árboles urbanos, creación y alimentación de

inventarios de árboles, monitoreo del estado del arbolado urbano, adaptación y mitigación del cambio climático mediante manejo del arbolado urbano.

- Materias relacionadas al trabajo directo con los árboles de la ciudad: establecimiento de los árboles (plantación, hoyadura, uso de mulch, construcción de tasas de riego, uso de tutores y protecciones), mantención del arbolado urbano (podas de formación y sanitarias, manejo de suelo fertilización, monitoreo y manejo de plagas y enfermedades).

4.4.5. Propuesta de difusión y uso de la herramienta de caracterización de arbolado urbano

Se propone una estrategia de sensibilización y capacitación a los profesionales que se desempeñarán en las distintas etapas de proyectos relacionados al arbolado urbano, teniendo en consideración los productos y conceptos revisados.

En la Figura 32 se muestran los actores de interés, que se relacionan a proyectos de arbolado urbano.



Figura 32. Actores de interés del arbolado urbano. Fuente: adaptado de FAO, 2016

Para aquellos profesionales MINVU con conocimiento de árboles, tales como ingenieros agrónomos, ingenieros forestales, biólogos o profesionales de áreas afines con

especialización, de al menos 6 meses, en materias de arbolado urbano, se recomienda la siguiente estrategia:

- Lectura y entendimiento del informe compilado de esta consultoría.
- Webinar en vivo: teoría y trabajo con la herramienta de selección de arbolado urbano (entendimiento de variables del árbol que afectan a la selección de las especies y uso correcto de matriz de decisión). Grabación del webinar para consulta posterior.
- Curso presencial de tipo teórico-práctico sobre el uso de la herramienta de selección de especies de arbolado urbano para generar experiencia.

Para el caso de profesionales que participan de proyectos de arbolado urbano, pero que no poseen conocimientos específicos de los árboles en las ciudades. Respecto a profesionales MINVU que participan en la toma de decisiones en proyectos de arbolado urbano, se recomienda la siguiente estrategia:

- Curso (día 1) sobre el árbol y su relación con el medio biótico y abiótico de la ciudad.
- Curso (día 2) sobre las características del árbol sano en la ciudad y los beneficios que entrega esta condición a las personas, se debe hacer énfasis la importancia de la selección correcta de especies de arbolado urbano de acuerdo al sitio del proyecto.
- Curso (día 3) sobre el manejo de la herramienta de caracterización de arbolado urbano desarrollada en esta consultoría.
- Curso (día 4) reconocimiento de especies parte teórica y terreno.
- Se deberá entregar como lectura complementaria el informe compilado de esta consultoría.

Difusión de temáticas tratadas en este estudio para el público en general, compuesto por personas que podrían poseer o no conocimientos del arbolado urbano en las ciudades. Se recomienda la siguiente estrategia:

- Realización de seminarios abiertos a profesionales de los sectores privado y público y también a personas interesadas de la sociedad civil.
- Mostrar video, animación o presentación didáctica y simple sobre la importancia del arbolado urbano en las ciudades.
- Mostrar video, animación o presentación breve sobre proyectos exitosos de arbolado urbano en Chile.
- Se deberá entregar como lectura complementaria el informe compilado de esta consultoría.

4.4.6. Breves sugerencias a licitaciones de proyectos de arbolado urbano

Se requiere que estos profesionales tengan un conocimiento acabado en el manejo de arbolado, para esto se sugiere que dentro del equipo se incluyan (al menos uno) agrónomos, ingenieros forestales, y otros profesionales que hayan tenido cursos de especialización de al menos 6 meses en arbolado urbano. Su conocimiento debe incluir materia de protección de los árboles existentes y establecimiento de los nuevos.

Para esto es necesario conocer también las ofertas de los viveros y la forma que éstos funcionan (mercado, no en términos de propagación) de manera de reconocer la factibilidad de las especies ofertadas en las distintas propuestas presentadas, para la licitación, de acuerdo a los tamaños mínimos exigidos para los árboles.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

El contar con una herramienta de caracterización de especies tiene un gran impacto en la toma de decisiones para las etapas de desarrollo de los proyectos de arbolado urbano, considerando la obtención de servicios ecosistémicos de éstas y su rol de mejorar el bienestar de las personas viviendo en ciudades.

El conocer el potencial de distintas especies arbóreas, de acuerdo con sus características permitirá diversificar las especies que se utilizan en gran escala en las ciudades promoviendo la resiliencia de las poblaciones de árboles, ante futuros estrés biótico y abiótico, tales como plagas y/o sequía.

En el caso de la etapa de diseño, una selección adecuada de especies permite su correcto funcionamiento ecológico, con una baja mantención en su etapa adulta, obteniendo un recurso arbóreo en buen estado de salud, funcional y estético en el largo plazo.

El presente trabajo pretende aportar entregando **una primera aproximación** sobre las variables de caracterización de los árboles y su relación con el espacio urbano, no solo considerando aspectos fisiológicos de los árboles, sino que también aspectos físicos-espaciales que determinan su establecimiento. Todo esto dirigido a establecer una visión en el largo plazo, que busque el **árbol correcto para el lugar correcto**, permitiendo contar con un arbolado funcional, en buen estado y baja mantención (riego, mínimo de podas, entre otros).

La propuesta del análisis del arbolado urbano se realizó considerando distintas zonas del país, se basa en mejorar la selección de las especies de árboles al considerar las variables geográficas, que permitan evaluar su tolerancia a los requerimientos propios del lugar y las

consideraciones del proyecto. Para esto, se reconocen las características de los árboles que reflejan las condiciones locales, que deben tener para establecerse y desarrollarse de manera adecuada, además de lograr proveer servicios ecosistémicos en el largo plazo.

A cada variable de caracterización se le asignó un indicador o información que permite conocer la especie, de acuerdo a las etapas del proyecto, considerando la toma de decisiones durante el proceso de desarrollo de cada etapa. La elección y priorización de estas variables dependerán de la etapa del y del tipo proyecto específico, además de las restricciones del espacio o sitio, donde se realizará el proyecto, como en los objetivos sociales de éste o una combinación de ambos.

Adicionalmente, es posible armar fichas resumen por especie, a partir de la información de las variables de caracterización. Tener una sistematización de la información de todas las especies, como la presentada en el presente informe, lo cual permite facilitar la consulta y conocimiento de las especies, según requerimientos particulares de cada proyecto y cada región del país. Esto es un aporte principalmente para la etapa de diseño de los proyectos de arbolado urbano.

Además del análisis conceptual, como la construcción de categorías y variables respecto de especies de árboles, se realizó una consulta a informantes calificados para evaluar en qué etapa se encuentra el nivel de conocimiento y concordancia entre profesionales sectoriales y de otras instituciones, respecto al manejo del árbol urbano, en sus distintas etapas de intervención (diagnóstico, diseño, construcción, mantención y seguimiento).

Los resultados obtenidos de las encuestas señalan que los profesionales reconocen que la selección de especies de arbóreas se efectúa en la etapa de diseño del proyecto y que esto depende de las decisiones tomadas sobre el objetivo del proyecto urbano a desarrollar. Esto deja claro que la propuesta de caracterización de las especies, del presente estudio, podría apoyar a los profesionales en el levantamiento de antecedentes recabados en el diagnóstico, en la definición de los objetivos del proyecto y en la selección de especies en el proceso de diseño.

Cabe destacar, que esta herramienta debiera tener una aproximación flexible y adaptativa de constante mejoramiento, dada por el incremento en información y datos disponibles de la realidad local referente al arbolado urbano. El desempeño de las especies en las distintas ciudades, especialmente lo relativo a la tolerancia a las condiciones de sitio y ambiente, puede ser validado con información de inventarios forestales urbanos y con consulta a informantes calificados de municipios.

Además, el contar con información de inventarios permitiría poblar la matriz con otras especies, además de las más comúnmente utilizadas, descubriendo especies que a lo mejor pudiesen presentar mejores desempeños o ser más adecuadas. Se recomienda realizar una evaluación de la pertinencia y lo adecuado de la herramienta de caracterización, para evaluar si se entiende lo que va a justificar la decisión o bien se debe generar una automatización de la herramienta, que no requiera un mayor conocimiento de ésta.

De acuerdo con el desarrollo de este proyecto se recomienda que los planificadores del arbolado urbano cuenten con alguna especialización en arbolado, de manera de comprender cómo funciona el árbol en el espacio urbano y cómo se relaciona a los beneficios que éstos entregan a los habitantes de la ciudad. Dentro de esto, es recomendable desarrollar una recopilación bibliográfica, que permita dar a conocer los servicios del arbolado, cual es la función ecológica que da pie a esos servicios y cuáles son las características de los árboles que van asociadas a estos servicios.

Adicional a los resultados mencionados de la encuesta, se detecta la necesidad de tecnificar la gestión del arbolado en sus etapas de construcción y mantención. Parece recomendable contar con arboricultores con certificación, que les permita realizar mejor la inspección en la etapa de construcción y velar por la conservación en buenas condiciones del arbolado existente. Podrían así fiscalizar también el proceso de plantación más allá de los requerimientos de la licitación en sí.

En esta etapa de construcción, se sugiere la presencia de profesionales adecuados que asuman el rol de Inspectores (ITO de paisaje), que cuenten con conocimientos del manejo del arbolado antes y durante la ejecución de la obra.

Lo mismo se sugiere para el personal que maneja las mantenciones del arbolado. Una correcta mantención, tanto en la planificación como en el conocimiento técnico, es de vital importancia, ya que promueve a una mayor sobrevivencia y longevidad de las especies del arbolado urbano.

Desde los aspectos de política y toma de decisión se desprende de la revisión de los documentos nacionales, que si bien existen variados en los cuales el arbolado urbano está presente, éstos están principalmente enfocados en los aspectos técnicos y no estratégicos. Se recomienda generar una hoja de ruta donde se defina como avanzar para reconocer al arbolado (o bien a la infraestructura verde) como un elemento fundamental dentro del desarrollo de las ciudades de Chile.

También se recomienda realizar una revisión de nuevos documentos internacionales, para evaluar cómo se integra el arbolado y la infraestructura en el desarrollo estratégico de las ciudades. Se sugiere no sólo evaluar el contenido del plan, sino que conocer el proceso que va detrás de la creación de esos planes o estrategias. Además, para avanzar en temas estratégicos es interesante promover mesas de trabajo multisectoriales que permitan socializar la infraestructura verde más allá del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, tales como las que se han desarrollado en el marco del convenio Minvu-Conaf.

A partir de la revisión del estudio y de la bibliografía, la contraparte técnica ha tomado conocimiento de los resultados y aportes de éste y propone relevar lo que se indica a continuación.

La contraparte técnica considera como aporte de este estudio lo siguiente:

- La herramienta de caracterización de especies arbóreas, permite orientar las decisiones en las etapas de diagnóstico, diseño, construcción y mantención.
- La propuesta de ocho (8) categorías y treinta y cuatro (34) variables pueden ser adaptadas, mediante el desarrollo de proyectos piloto regionales, que permita adecuar la herramienta por macrozonas geográficas (norte, norte chico, centro, sur, sur austral) y tipología de proyecto, además a la etapa de desarrollo de éste.
- Fomentar certificaciones de profesionales y técnicos en relación a las distintas etapas del manejo de desarrollo del árbol (CENSE, CONAF, y otros).
- Incorporar nuevas especies nativas a la herramienta de caracterización.

La contraparte técnica sugiere avanzar en:

- En el desarrollo de una visión de política y estrategia de infraestructura verde, cuyo objetivo es naturalizar las ciudades, para una mejor adaptación al cambio climático.
- Avanzar con nuevos estudios específicos, asociados a tipologías de proyectos urbanos y habitacionales, como a profundizar en los distintos estratos vegetacionales (arbóreos, arbustivos y herbáceos).
- Fomentar estudios académicos, que entreguen mayor información, respecto a la adaptación de las especies nativas en las ciudades
- Es necesario, poder contar con una zonificación bioclimática para Chile, para entregar recomendaciones más precisas.
- Elaborar inventarios arbóreos, para cada una de las etapas de desarrollo de un proyecto (diagnóstico, diseño, construcción, mantención y monitoreo).

- Generar un registro de profesionales y técnicos asociados al manejo del árbol en las ciudades.

6. ANEXOS

ANEXO 1. Elementos urbanos críticos para desarrollo y establecimiento del arbolado urbano

ANEXO 2. Propuesta de Categorías y Variables, Herramienta de caracterización

ANEXO 3. Información de 25 especies de arboles

ANEXO 4. Ficha tipo

ANEXO 5. Antecedentes aportados por mandante

ANEXO 6. Encuesta

ANEXO 7. Información recolectada de la encuesta

ANEXO 8. Información no procesada encuesta

ANEXO 9. Glosario y abreviaturas

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aronson M., Lepczyk C, Evans K., Goddard M., Lerman S., MacIvor J.S., Nilon C.H. y Vargo T. (2017). Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *frontiers in Ecology and the Environment*. 15:189-196.

Bassuk, N. (2003). Recommended urban trees: Site assessment and tree selection for stress tolerance. Cornell University, Urban Horticulture Institute.

Bauduceau, N., Berry, P., Cecchi, C., Elmqvist, T., Fernandez, M., Hartig, T., Mayerhofer, E., Naumann, S., Noring, L., Raskin, K., Rooze, E., Sutherland, W., y Tack, J. (2015). Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-based Solutions y Re-naturing Cities: Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-based Solutions and Re-naturing Cities'.

Behrens F. (2011). Selecting public street and park trees for urban environments: the role of ecological and biogeographical criteria. PhD Thesis, Lincoln University, New Zealand.

Benedict, Mark & McMahon, Edward & Fund, The & Bergen, Lydia. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press. 22.

Bradshaw, A. D., Hunt, B., & Walmsley, T. (1995). Trees in the urban landscape: principles and practice. London: E & FN Spon.

Bratman G.N., Anderson C.B., Berman M.G., Cochran B., de Vries S., Flanders J., Folke C., Frumkin H., Gross J.J., Hartig T., Kahn Jr. P.H., Kuo M., Lawler J.J., Levin P.S., Lindahls T., Meyer-Lindberg A., Mitchell R., Ouyang Z., Roe J., Scarlett L., Smith J.R., van den Bosch M., Wheeler B.W., White M.P., Zheng H. y Daily G.C. (2019). Nature and mental health: an ecosystem service perspective. *Science Advances* 5.

Cariñanos P., Casares M. (2011). Urban green zones and related pollen allergy: a review Guidelines for designing spaces of low allergy impact. *Landscape and Urban Planning* 101, 205-214

Cariñanos P., Casares M., Quesada-Rubio J. (2014). Estimating the allergenic potential of urban green spaces: a case-study in Granada, Spain. *Landscape and Urban Planning* 123, 134-144.

Chakre, O. J. (2006). Choice of eco-friendly trees in urban environment to mitigate airborne particulate pollution. *Journal of human ecology*, 20(2), 135-138.

Chanes, R. (1970). Deodendron, árboles y arbustos de jardín en clima tempado". 75-93. Ed. Blume. España.

Cilliers, S., Cilliers, J., Lubbe, R. y Siebert, S. (2012). Ecosystem services of urban green spaces in African countries—perspectives and challenges. *Urban Ecosystems*. 16:681–702.

Costanza, R., dArge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. y van den Belt, M., (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387:253–260.

De Groot, R.S., Wilson, M.A. y Boumans R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*. 41:393–408.

De Groot, R.S., R. Alkemade, L. Braat, L. Hein, y Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*.7:260-272.

Daily, G.C. (1997). Introduction: what are ecosystem services. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. 1(1).

Des Terrains, P. (2017). Arbres et arbustes à utiliser pour la végétalisation des terrains réhabilités par analyse de risque.

Dobbs, C., Escobedo, F.J. y Zipperer, W.C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*. 99:196–206.

Dobbs, C., Martinez-Harms M. y Kendal, D. (2018). Ecosystem services. In Ferrini, Konijnendijk van den Bosch C., Fini (Eds.) *Routledge Handbook of Urban Forestry*. Earthscan from Routledge, London and New York.

Edmondson J.L., Davies Z.G., MacCormack S.A., Gaston K.J., Leake J.R. 2011. Are soils in urban ecosystems compacted? A citywide analysis. *Biology Letters* 7, 771-774.

EEA, European Environment Agency. (2019). Visitado en <https://www.eea.europa.eu/>

EPA, Environmental Protection Agency. (2018). Visitado en <https://www.epa.gov/>

Escobedo, F.J., Kroeger, T. y Wagner, J.E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*. 159:2078-2087.

Escobedo F.J., Giannico V., Jim C.Y., Sanesi G. y Laforteza R. (2019). Urban forests, ecosystem services, Green infrastructure and nature-based solutions: nexus or evolving metaphors. *Urban Forestry & Urban Greening*. 37:3-12.

European Commission. (2012). The multifunctionality of green infrastructure. *Science for Environment Policy. In depth reports. Brussels*. 1-36.

FAO. (2016). Guidelines on urban and peri-urban forestry, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Forman, R.T.T. y Godron, M. (1986). Landscape ecology. John Wiley, New York.

Frenz D. (1995). Making sense of the numbers, what to do with pollen count once you have done the pollen monitor. *Newsletter of Multidata*. 1:3.

Galán C., Cariñanos P., Alcázar P., Dominguez E. (2007). Quality and management manual of the Spanish aerobiology network. Universidad de Córdoba, Spai.

Haase, D., Larondelle, E., Andersson, M., Artmann, S., Borgström, J., Breuste, E., Gomez-Baggethun, Å., Gren, Z., Hamstead, R., Hansen, N., Kabisch, P., Kremer, J., Langemeyer, E. L., Rall, T., Mc Phearson, S., Pauleit, S., Qureshi, N., Schwarz, A., Voigt, D., Wurster, y Elmqvist, T. (2014). A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *Ambio*. 43:413-433.

Hartig, T., y Kahn, P. (2016). Living in cities, naturally. *Science*. 352(6288):938-940.

Hirons, A., y Sjöman, H. (2018). Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers. *Trees & Design Action Group*.

Hoffmann, A. (1978). Flora Silvestre de Chile Zona Central. Fundación Claudio Gay, Stgo.

Hoffmann, A. (1980). Flora Silvestre de Chile. Ed. Fundación Claudio Gay.

Hoffmann, A. E. (1982). Flora Silvestre de Chile. Vol. 2: Zona austral. Santiago: Ed. Fundación Claudio Gay, 1982.

Hoffmann, A. E. (1982). Flora Silvestre de Chile: Zona austral. austral, 1982. Ed. Fundación Claudio Gay.

Hoffmann, A. (1997). Flora silvestre de Chile, zona araucana. Editorial Claudio Gay. Santiago, Chile.

Hoffmann, A. (1998). El Árbol Urbano en Chile. Ediciones Fundación Claudio Gay. Tercera Edición. Santiago, Chile.

Hughes, M., Oaksford, E., Blakeslee, M. (2015). Casey trees: Urban tree selection guide, a Designer's List of Appropriate Trees for the Urban Mid-Atlantic.

IUCN. International Union for Conservation of Nature 2019). Visitado en <https://www.iucnredlist.org/> ; <https://www.iucn.org/>

Jennings, V., Larson, L., & Yun, J. (2016). Advancing sustainability through urban green space: Cultural ecosystem services, equity, and social determinants of health. *International Journal of environmental research and public health*, 13(2), 196.

Jim, C. (2017). Constraints to urban trees and their remedies in the built environment. In *Routledge Urban Forestry Handbook*, Routledge, EarthScan, London and New York.

Koleff, P., Figueroa, A., Saavedra, B., Rojas, C., Lehm, Z., Tironi M., et. al (2019). Biodiversidad, Género y Cambio Climático: Propuestas basadas en conocimiento. Iniciativa Latinoamericana y el Caribe. Santiago de Chile. https://www.capitalbiodiversidad.cl/wp-content/uploads/2020/01/PolicybriefsCompilado_10-01-20-1.pdf

Konarska, J., Lindberg, F., Larsson, A., Thorsson, S., & Holmer, B. (2014). Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees—application for outdoor thermal comfort modelling. *Theoretical and applied climatology*, 117(3-4), 363-376.

Konijnendijk, C.C., Ricard, R.R., Kenney, A. y Randrup, T.B. (2006). Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4: 93-103.

Lagenheim N., White M., Tapper N., Livesley S.J., Ramirez-Lovering D. (2019). Right tree, right place, right time: a visual-functional design approach to select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrians. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101816.

Livesley, S. J., McPherson, E. G., y Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of environmental quality*, 45(1), 119-124.

Lyytimäki, J., Petersen, L.K., Normander, B. y Bezák, P. (2008). Nature as a nuisance? Ecosystem services and disservices to urban lifestyle. *Environmental Science*. 5:161–172.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA,. (2003). 'Ecosystems and human well-being' In *Ecosystems and Human Well-being: a Framework for Assessment*. Island Press, Washington, D.C.

MINVU. 2017. Manual de elementos urbanos sustentables. Tomo I: Sustentabilidad en el espacio publico y recomendaciones para Chile.

Mitchell, R.J., Richardson, E.A., Shortt, N.K., y Pearce, J.R. (2015). Neighborhood environments and socioeconomic inequalities in mental well-being. *American journal of preventive medicine*. 49(1):80-84.

Morel J.L., Schwartz C., Florentin L. y de Kimpe C. (2005). Urban Soils. *Encyclopedia of Soils in the Environment. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 202-208.

Natural Capital Coalition. (2019). Visitado en <https://naturalcapitalcoalition.org/>

Niemelä, J., Saarela, S., Söderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pelkonen, V., Väre, S. and J. Kotze. (2010). Using the ecosystem service approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation*. 19:3225-3243.

Norma chilena oficial 1079 (2008).

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., David, J., Crane, E. and J.C. Stevens. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States' *Urban Forestry and Urban Greening* vol. 4, pp. 115–123.

Ogren T.L. (2002). Trees, shrubs and urban allergies. WAA Annual Conference, Wisconsin ANR Urban Forestry Conference.

OECD, 2002. *OECD Environmental Indicators: Towards Sustainable Development 2001*. OECD Publishing.

ONU, 2019 ONU, 2019. Recuperado en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Pataki, D. E., M. M. Carreiro, J. Cherrier, N. E. Grulke, V. Jennings, S. Pincetl, R. V. Pouyat, T. H. Whitlow, y Zipperer, W. C. (2011). 'Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions' *Frontiers in Ecology and the Environment*. 9:27-36.

Pauleit, S. & Zölch, T. & Hansen, R. & Randrup, T. y Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. 10.1007/978-3-319-56091-5_3.

Pretzsch H., Biber P., Uhl E., Dahlhausen J., Rötzer T., Caldentey J., Koike T., van Con T., Chavanne A., Seifert T., du Toit B., Farnden C., Pauleit S. (2015). *Urban Forestry & Urban Greening* 14, 466-479.

Riedemann, P. y Aldunate, G. (2003). *Flora nativa de valor ornamental*. Editorial Andrés Bello.

Román L. (2014). How many trees are enough? Tree death and urban tree canopy. Scenario Journal 04: Building the Urban Forest.

Royal Forestry Society (RSF). (2019). Visitado en <https://www.rfs.org.uk/learning/forestry-knowledge-hub/trees-biology/tree-classification/>

Segnestam, L., 2002. Indicators of environment and sustainable development. Theories and Practical Experience. Environmental Economics Series Paper No. 89. The World Bank Environment Department, 66 p.

Sjöman, H., Hirons, A., y Bassuk, N. (2018). Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. *Urban ecosystems*, 21(6), 1171-1188.

Sjöman, H., Hirons, A., y Sjöman, J. D. (2017). Criteria in the selection of urban trees for temperate urban environments. In *Routledge Handbook of Urban Forestry* (pp. 339-362). Routledge.

Smith, I. A., Dearborn, V. K., & Hutyrá, L. R. (2019). Live fast, die young: Accelerated growth, mortality, and turnover in street trees. *PloS one*, 14(5), e0215846.

Spieksma, F. T. M., Nolard, N., Frenguelli, G., & Van Moerbeke, D. (1992). Atmospheric pollen in Europe. UCB Pharmaceutical, Braine-Alléud, Belgium.

TEEB. (2011). TEEB manual for cities: Ecosystem services in urban management, The Economics of ecosystems and biodiversity (TEEB) www.teebweb.org.

Van den Berg, M., van Poppel, M., van Kamp, I., Andrusaityte, S., Balseviciene, B., Cirach, M. y Smith, G. (2016). Visiting green space is associated with mental health and vitality: A cross-sectional study in four european cities. *Health & place*. 38:8-15.

Van den Berg, A. E. (2017). From green space to green prescriptions: challenges and opportunities for research and practice. *Frontiers in psychology*. 8:268.

Van den Bosch, M. y Depledge, M. (2015). Healthy people with nature in mind. *BMC public health*. 15(1):1232.

Wheeler, B., Lovell, R., Higgins, S., White, M., Alcock, I., Osborne, N. J. y Depledge, M. H. (2015). Beyond greenspace: an ecological study of population general health and indicators of natural environment type and quality. *International journal of health geographics*. 14(1):17.

CONAF. 2013. Arboles Urbanos de Chile, Guía de reconocimiento.

Chile Flora, visitado en <http://www.chileflora.com/Shome.htm>

Catálogo de flora Fundación philippi, visitado en <https://fundacionphilippi.cl/>