

GUÍA PARA EL MANEJO DEL
ARBOLADO URBANO
EN EL VALLE DE ABURRÁ



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



GUÍA PARA EL MANEJO DEL
ARBOLADO URBANO
EN EL VALLE DE ABURRÁ

Flavio Moreno Hurtado
Claudia Helena Hoyos Estrada
Editores



GUÍA PARA EL MANEJO DEL ARBOLADO URBANO EN EL VALLE DE ABURRÁ

Una publicación de:

Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Hernán Darío Elejalde López, director
Ana Milena Joya Camacho, subdirectora ambiental

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
John William Branch Bedoya, vicerrector
Jairo Alexander Osorio Saraz, decano
Facultad de Ciencias Agrarias

Supervisión

Claudia Helena Hoyos Estrada, profesional universitaria
Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Flavio Moreno Hurtado, profesor asociado
Universidad Nacional de Colombia

Coordinación de la publicación

Oficina Asesora de Comunicaciones
Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Diseño y Diagramación

Alejandro López Zapata

Fotografías

Alejandro López Zapata, León Morales Soto, Gonzalo Abril Ramírez,
Luis Alberto Ramírez Correa, Juan Pablo Quintero T.,
David Puerta Carmona, Miguel Henao Arango

Ilustraciones

David Emilio Restrepo, Alejandro López Zapata,
Miguel Henao Arango, José Fernando Navarro Peláez

Revisión de Estilo

Jorge Luis Alvis Castro

Impresión

Impresos Guslafo

Registro ISBN 978-958-8513-90-4

Primera Edición, diciembre de 2015

Citación sugerida obra completa:

Moreno, F. & Hoyos, C. (Eds.). (2015). *Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia.

Prohibida la reproducción parcial o total de esta publicación sin autorización por escrito del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de la Universidad Nacional de Colombia.

CONTENIDO

	Presentación	7
	Introducción	9
1.	Capítulo 1. La planificación y gestión del verde urbano: Bases conceptuales y analíticas en la perspectiva ambiental	15
	1.1. Introducción	15
	1.2. Los espacios verdes en la ciudad actual. Problemática y tendencias	16
	1.3. Funciones o servicios ambientales de los espacios verdes urbanos	19
	1.4. Categorización de los Espacios Verdes Urbanos	23
	1.5. La planificación y gestión del verde urbano	30
	1.6. Referencias	56
2.	Capítulo 2. Conectividad ecológica como estrategia de gestión de la biodiversidad en paisajes metropolitanos	63
	2.1. Introducción	63
	2.2. La fragmentación de los espacios verdes urbanos como limitante de su función ecológica y social	65
	2.3. De la fragmentación a la conectividad. El rol de las redes ecológicas	73
	2.4. Las redes ecológicas en la ciudad: objetivos y opciones	76
	2.5. La conectividad ecológica en la gestión ambiental y el ordenamiento territorial	82
	2.6. Retos y perspectivas para la gestión de la conectividad ecológica en áreas urbanas y periurbanas	88
	2.7. Referencias	93
3.	Capítulo 3. Producción de material vegetal en vivero para áreas urbanas	101
	3.1. Introducción	101
	3.2. Factores críticos de la producción de material vegetal en vivero para silvicultura urbana	103
	3.3. Hacia el desarrollo de estándares de calidad para la producción en vivero de plantas que serán utilizadas en silvicultura urbana	131
	3.4. Anotaciones finales	143
	3.5. Referencias	143
4.	Capítulo 4. Establecimiento de la vegetación leñosa en espacios verdes urbanos	153
	4.1. Introducción	153

4.2.	Selección de especies	154
4.3.	Establecimiento	192
4.4.	Síntesis y recomendaciones	202
4.5.	Referencias	202
4.6.	Anexo	205
5.	Capítulo 5. Manejo del bosque urbano	217
5.1.	Introducción	217
5.2.	El plan de manejo del bosque urbano: una herramienta indispensable para su gestión sostenible	219
5.3.	Gestión del riesgo	225
5.4.	Problemas fitosanitarios	230
5.5.	Intervenciones en el bosque urbano	238
5.6.	Manejo de árboles deteriorados y enfermos	260
5.7.	Síntesis y recomendaciones	267
5.8.	Referencias	268
6.	Capítulo 6. Trasplantes y talas de árboles urbanos	275
6.1.	Introducción	275
6.2.	Trasplante de árboles urbanos	277
6.3.	Tala de árboles en ambientes urbanos	292
6.4.	Criterios técnicos de decisión para trasplante y tala	302
6.5.	Valoración económica del árbol en ambientes urbanos	304
6.6.	Síntesis y recomendaciones	306
6.7.	Referencias	307
7.	Capítulo 7. Normativa asociada a la gestión de la flora y el arbolado urbano	313
7.1.	Introducción	313
7.2.	Normas nacionales	316
7.3.	Normas locales	338
7.4.	Análisis del mapa jurídico y lineamientos	341
7.5.	Referencias	344
7.6.	Anexo 1. Solicitud de intervenciones al arbolado urbano ante la autoridad ambiental (Área Metropolitana Valle de Aburrá)	344
	Agradecimientos	347



PRESENTACIÓN

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá se complace en entregar a la comunidad la presente guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá, como un instrumento que integra todos los componentes para la intervención de los espacios verdes urbanos, desde criterios para su planificación hasta elementos técnicos orientadores para su manejo. Esta guía, construida en convenio con la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, contiene una serie de lineamientos que bien pueden tener aplicación en otras ciudades de Colombia o el mundo. Su escritura está basada en los avances logrados en la última década en la región, en los resultados de investigaciones recientes sobre el deterioro del arbolado urbano, en la experticia de los autores, la consulta a especialistas y profesionales locales e internacionales y en la evaluación de literatura técnica y científica relevante.

Es importante reconocer el avance logrado hasta el momento en el Valle de Aburrá en torno a la silvicultura urbana, buena parte de la cual está asociada a la implementación del Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos, formulado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y adoptado mediante el Acuerdo Metropolitano No.16 de 2006, con el cual se dio inicio a una gestión continuada en el tiempo y en el territorio de uno de sus principales activos ambientales: el espacio público verde y la flora urbana.

Lo anterior toma mayor relevancia al considerar las proyecciones de la ONU respecto al crecimiento urbano, según las cuales, el porcentaje de la población mundial residente en las áreas urbanas pasará del 54 % en la actualidad al 66 % en el 2050. Esta situación representa grandes desafíos para los planificadores, tomadores de decisiones e instituciones públicas, en torno a la atención de

Esperamos que esta guía sea de utilidad para orientar el manejo del bosque urbano en nuestras ciudades

las necesidades de la población y en especial al logro de estándares adecuados de calidad ambiental urbana, buena parte de los cuales están asociados al incremento y mejoramiento de las áreas verdes urbanas. Todo ello exacerbado por un escenario de variabilidad y cambio climático que asociado a la isla de calor típica en las ciudades, requerirá un mayor y mejor entendimiento de las transformaciones de nuestro territorio y un mayor esfuerzo en torno a la conservación y gestión de la biodiversidad, lo cual significará una mejor adaptación a los efectos del cambio climático.

Los espacios verdes y su necesario aporte a la sustentabilidad urbana, reclaman una cuidadosa planificación y manejo, resultado de la integración de criterios urbanísticos, sociales y ecológicos. Para abordar esta problemática se requiere reconocer que estos espacios tienen la potencialidad de aportar hábitat para muchas especies de flora y fauna, proporcionan enriquecimiento del paisaje y calidad de vida urbana, además de ofrecer oportunidades y alternativas para la educación ambiental y experiencias recreativas de carácter pasivo, entre otras.

Si bien los lineamientos que se presentan en esta guía reflejan la visión de la silvicultura urbana para la región, es importante señalar que nuestras actuaciones como autoridad ambiental urbana, requieren la atención de solicitudes puntuales en las cuales se analizan aspectos propios de cada intervención y, en algunos casos, conllevan decisiones que pueden apartarse ligeramente de las orientaciones acá presentadas. Además, algunos temas requieren mayor investigación aplicada con el fin de unificar conceptos y proponer prácticas de manejo que propendan por el adecuado incremento y mejoramiento de los espacios verdes y la flora urbana en la región

Esperamos que esta guía sea de utilidad para orientar el manejo del bosque urbano en nuestras ciudades y que estimule el interés por el estudio profundo de los múltiples aspectos involucrados en su planificación y gestión. Así mismo, tanto los entes públicos y privados como los profesionales y ciudadanía interesada en la gestión del verde urbano, podrán utilizar este material como fuente de consulta permanente, de tal forma que aporte de manera sustancial al mejoramiento de la calidad ambiental urbana para los ciudadanos.

Hernán Darío Elejalde López

Director Área Metropolitana del Valle de Aburrá



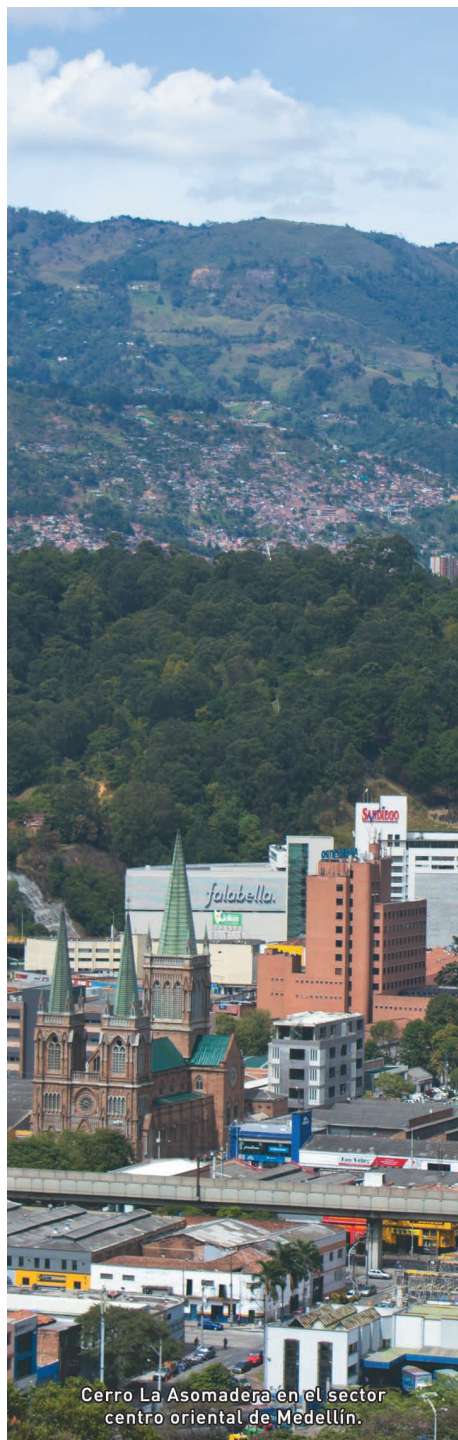
INTRODUCCIÓN

El bosque urbano brinda múltiples beneficios a los habitantes de las ciudades en los ámbitos recreativo, psicológico, social, cultural, ambiental, estético y de salud pública, entre otros. Por ello su tamaño, distribución y estado son decisivos en la calidad de vida de sus habitantes y, en consecuencia, su cuidado debería comprometernos a todos.

Para la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional sede Medellín, y en particular, para el Departamento de Ciencias Forestales, es motivo de gran regocijo y orgullo haber coordinado la publicación de la Guía de Manejo Integral del Arbolado Urbano para el Valle de Aburrá, realizada en convenio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), la cual aportó su apoyo financiero y compromiso decidido. En primer lugar, queremos expresar nuestro agradecimiento sincero a esta entidad por habernos invitado a aunar esfuerzos para sacar adelante este proyecto. Así mismo, nuestro reconocimiento y gratitud con los expertos de nuestra Universidad y demás especialistas, autores de los capítulos, en los distintos temas.

También estamos agradecidos con numerosas personas y entidades relacionadas con la silvicultura urbana en el Valle de Aburrá, entre ellos, servidores del AMVA, los municipios, Corantioquia, SENA, ICA, EPM, Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe, viveros particulares y públicos, consultores, contratistas, profesionales independientes y representantes de colectivos ciudadanos. Ellos participaron con sus conocimientos y opiniones en numerosos talleres y reuniones temáticas, dirigidos a actualizar el estado del conocimiento local y discutir los contenidos de la guía.

*El bosque urbano
brinda múltiples
beneficios a los
habitantes de las
ciudades*



Cerro La Asomadera en el sector centro oriental de Medellín.

Esta guía presenta lineamientos técnicos generales para el manejo exitoso del arbolado urbano, que bien puede ser usada en toda Colombia. Consta de siete capítulos: los dos primeros analizan el verde urbano desde la perspectiva de la planificación y de la funcionalidad del paisaje en la ciudad; los siguientes cuatro proporcionan criterios y bases técnicas para su manejo; y el último capítulo describe la normativa asociada a la gestión de la flora y el arbolado urbano.

El **primer capítulo** aborda la planificación del verde urbano; hace hincapié en los criterios ambientales que se deberían tener en cuenta para la planificación y manejo de los espacios verdes en la ciudad. El **segundo capítulo** trata la conectividad ecológica como estrategia de gestión de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en paisajes urbanos; para ello propone la integración de criterios de conectividad ecológica en los instrumentos de planificación ambiental y ordenamiento territorial.

El **capítulo tres** presenta lineamientos para la producción en vivero del material vegetal destinado a las ciudades; propone como punto de partida que los árboles en ambientes urbanos generalmente deben enfrentar condiciones mucho más restrictivas y adversas que en áreas rurales, por lo cual es necesario que estén mejor acondicionados para tolerar el estrés. El **capítulo cuatro** describe los criterios y actividades requeridas para la elección de las especies y el establecimiento de la vegetación leñosa en espacios verdes urbanos. El **capítulo cinco** presenta lineamientos para el manejo del bosque urbano; sustenta la

conveniencia y necesidad de adoptar la cultura de la planeación en su gestión y da pautas para la realización de las principales intervenciones que se requieren para su manejo preventivo y correctivo. El **capítulo seis** describe el procedimiento técnico para la planeación, ejecución y monitoreo de los trasplantes y talas de árboles en la ciudad; también describe las acciones recomendables para la prevención o mitigación de los impactos asociados sobre la fauna silvestre no doméstica.

Finalmente, el **capítulo siete** presenta el mapa jurídico que regula la gestión de la flora y el arbolado urbano en Colombia y específicamente en el Valle de Aburrá. Propone algunos lineamientos normativos, con el fin de fortalecer el quehacer de la autoridad ambiental en torno a la gestión integral y la protección de las zonas verdes y el arbolado urbano en su jurisdicción.

Los capítulos han sido estructurados de manera conveniente según la similitud temática; sin embargo, hay temas emergentes o transversales que son comunes para el manejo exitoso y sostenible del bosque urbano, entre ellos las necesidades de:

- 🌿 Fomentar la investigación local para el manejo del verde urbano.
- 🌿 La participación comunitaria en su cuidado, y en consecuencia, la importancia de la educación ambiental a la comunidad.
- 🌿 Entender el verde urbano como un patrimonio que debe ser cuidado, mantenido y enriquecido, lo cual demanda presupuestos adecuados y voluntad política.
- 🌿 Contar con equipos humanos para la gestión del verde urbano suficientes, bien dotados y capacitados.
- 🌿 Monitorear en forma permanente y atender en tiempo real el bosque urbano, lo cual implica contar con información actualizada, georreferenciada y confiable.
- 🌿 Contar con unidades de reacción inmediata para atender el riesgo arbóreo.
- 🌿 Disponer de tecnología actualizada para realizar el manejo de las áreas verdes y la atención de emergencias.

Como con cualquier escrito, cada lector encontrará diferentes mensajes en esta guía. Puede que algunos aspectos técnicos estén más allá del interés de algunos. Esperamos, eso sí, que todos, sin excepción, encuentren en este libro un vehículo para sensibilizarse sobre nuestra responsabilidad común de cuidar la naturaleza y en particular el bosque urbano, para lo cual se

*Este libro es ante
todo una invitación
a valorar y cuidar
los árboles*

requiere conocimiento. Por esto, el libro que usted tiene ahora en sus manos, es ante todo una invitación a valorar y cuidar los árboles.

Otros mensajes importantes de esta publicación son: i) la necesidad de trabajar de manera ordenada, sistemática y articulada para contar con un bosque urbano saludable y seguro, que redunde en la calidad de vida de los habitantes del Valle de Aburrá; ii) para que la gestión del verde urbano sea eficaz debería abordarse de manera integral a diferentes escalas, desde el paisaje (las áreas verdes en redes ecológicas, su conectividad y su función en el entramado de la ciudad), hasta el árbol individual (arboricultura propiamente dicha). Este mensaje está implícito en la estructura de la presente publicación.

Finalmente, es importante tener presente que aspectos como la complejidad y vastedad del tema, los vacíos de conocimiento existentes sobre el manejo del arbolado urbano en ciudades tropicales como las nuestras, las dinámicas siempre cambiantes y la necesidad de incorporar las lecciones aprendidas en el proceso de manejo; hacen de esta guía un documento de trabajo que esperamos sea mejorado y enriquecido de manera paulatina en versiones futuras, con el concurso de los distintos actores involucrados en el manejo del bosque urbano. En el largo plazo, se busca que la guía sea una herramienta cada vez más eficaz para lograr el objetivo superior de contar con un arbolado urbano saludable, sostenible y seguro; que contribuya cada vez de mejor manera al bienestar de la población que habita nuestras ciudades.

Jairo Alexander Osorio Saraz

Decano
Facultad de Ciencias Agrarias

Flavio Moreno Hurtado

Profesor
Departamento de Ciencias Forestales

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín



Panorámica sector centro occidental de Medellín desde el cerro El Volador



1. LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL VERDE URBANO: BASES CONCEPTUALES Y ANALÍTICAS EN LA PERSPECTIVA AMBIENTAL

Luis Aníbal Vélez

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
lavelez@unal.edu.co

Claudia Helena Hoyos

Área Metropolitana del Valle de Aburrá
claudia.hoyos@metropol.gov.co

Los espacios verdes y su necesario aporte a la sustentabilidad urbana reclaman una cuidadosa planificación y manejo

1.1. INTRODUCCIÓN

Cada vez se reconoce más la importancia que los espacios verdes tienen para las ciudades, vistos hoy como un componente de sustentabilidad y, a su vez, como un objeto de la planificación y de la gestión urbana y ambiental. Sus distintas funciones desde el punto de vista ornamental, social y ecológico, los convierten en un factor de calidad de vida para la población en ciudades caracterizadas por su gran dispersión, planificación deficiente y con problemáticas de contaminación y distanciamiento de la naturaleza.

Los espacios verdes y su necesario aporte a la sustentabilidad urbana reclaman una cuidadosa planificación y manejo, resultado de la integración de criterios urbanísticos, sociales y ecológicos.

El objetivo del presente capítulo es plantear las bases conceptuales y técnicas para la planeación y manejo de los espacios verdes urbanos (EVU) con criterios ambientales, en el marco de la gestión y los procesos de ordenación territorial en Colombia, con énfasis en Medellín y el Valle de Aburrá.

Con el término espacio verde (también verde urbano, bosque urbano, arbolado urbano) se hace referencia al conjunto de áreas verdes de uso público existentes en la ciudad y formalmente categorizadas o reconocidas como componentes del sistema de espacio público en la planeación urbana y ambiental. No obstante, se hacen algunas consideraciones respecto a las zonas verdes privadas, toda vez que son objeto de la gestión ambiental por los múltiples servicios ecosistémicos que generan y su aporte a la calidad ambiental urbana.

Los temas desarrollados en este capítulo permiten entender las problemáticas y las funciones de los espacios verdes en la ciudad, y los elementos que, como bases conceptuales y técnicas en el marco de la ordenación territorial y la gestión ambiental urbana, se deben tener en cuenta en su planificación, diseño y manejo. Se hace hincapié en los criterios ambientales que deben ser tenidos en cuenta en las actividades asociadas a la planificación y manejo del verde urbano, en la perspectiva de una mayor funcionalidad ecológica en el paisaje, la cual articula principios y acciones que van más allá de la sola disposición e intervención de los árboles.

En tal sentido, se abordan los sistemas de planificación y de espacios verdes como marco de actuación; el contexto físico-biótico y urbano como referente de localización de nuevos espacios; la reducción de la fragmentación y la conectividad ecológica; las características geomorfológicas o de relieve en los procesos de diseño o manejo; los condicionantes de suelo y clima en la selección de especies vegetales, y la disposición de los elementos vegetales en las áreas verdes, donde se integran objetivos paisajísticos, sociales y ecológicos, acordes con los rasgos espaciales de las áreas a crear o intervenir.

1.2. LOS ESPACIOS VERDES EN LA CIUDAD ACTUAL. PROBLEMÁTICA Y TENDENCIAS

Si bien los espacios verdes urbanos presentan en sí mismos limitaciones ambientales o ecológicas ligadas a su tamaño, localización, características del contenido verde y relación suelo verde/suelo duro, buena parte de su problemática está asociada al contexto urbano que los enmarca, los caracteriza y les imprime

determinadas dinámicas y procesos que generalmente los deterioran. En cuanto a las características físicas y bióticas de estos espacios, el deterioro está relacionado con factores como:

- ✿ La contaminación atmosférica en el sitio o entorno inmediato, a modo de partículas en suspensión, descarga de humos y gases del transporte automotor, e incluso el ruido.
- ✿ La contaminación por residuos sólidos que afecta al suelo, ya sea con desechos o con productos peligrosos, cuyos efectos en las plantas son hasta ahora poco estudiados.
- ✿ La contaminación de los espejos de agua (lagos, fuentes) creados dentro de los espacios verdes, en parques o humedales, y de fuentes hídricas que atraviesan las ciudades.
- ✿ La saturación de carga del suelo verde, es decir, el uso social por encima de sus capacidades de acogida de público o actividades que producen compactación, pérdida de la capacidad de infiltración de agua, incremento de erosión y carencia de herbáceas o cubresuelos; esta situación reduce la sustentabilidad del sitio, entendida como el uso en función de los límites de su capacidad sin que pierda sus características. Así por ejemplo, el empleo de los espacios verdes como lugares para apreciar espectáculos masivos, sin previa consideración y prevención de impactos (uso de separadores, andenes y parques para observación de desfiles, cabalgatas, conciertos, etc.) afecta su vegetación, aparte de la compactación del suelo que tiene efectos nocivos sobre el sistema radical.
- ✿ La artificialidad o esterilidad ecológica, debida al manejo excesivamente controlado de la vegetación, la simplificación ecosistémica expresada en la existencia de un solo estrato de vegetación (arbóreo), el uso de insumos químicos y energía para el mantenimiento del césped y resiembra de especies ornamentales anuales o de ciclo corto.
- ✿ El establecimiento de especies introducidas, lo cual desestima el uso de especies vegetales nativas tradicionales y la investigación sobre las especies vegetales nativas potenciales para la consolidación de una biodiversidad urbana que cumpla objetivos o atributos ecológicos, ambientales y ornamentales del arbolado.
- ✿ La fragmentación del verde urbano, caracterizada en gran parte por pequeños espacios inconexos, con la consiguiente reducción y aislamiento de hábitats para la fauna urbana no doméstica.

En Medellín y el Valle de Aburrá, no todos los sectores sociales tienen acceso al verde en condiciones de igualdad

- La afectación de los árboles por varias causas, entre ellas su utilización como soportes publicitarios, lo cual lesiona su ramas y troncos; la afectación de raíces debido a escapes de gas, filtraciones de tuberías subterráneas; así como la realización de podas indiscriminadas y actos vandálicos como anillamiento, inyección de herbicidas, etc. (Brandáriz, 2013).

Dado que la problemática de los espacios verdes obedece a factores externos o propios de la ciudad, cabe mencionar el carácter residual y confinado del verde urbano, especialmente en Medellín, caracterizado por un predominio de pequeños espacios lineales (andenes, separadores viales, rondas hídricas) y pequeños fragmentos verdes intersticiales, residuales en la malla urbana, o al interior de urbanizaciones; estas características espaciales reducen sus potencialidades ecológicas y de uso social.

La residualidad y el confinamiento están asociados a su vez a la crisis del parque urbano y del espacio público en general, debido al auge de los centros comerciales como sitios de consumo y recreo, al igual que del parque temático, lo cual se va expresando en la pérdida de importancia y centralidad del parque público desde el punto de vista social.

Hay que agregar la pérdida o urbanización de lotes vacíos existentes, los cuales tienen gran potencial para configurar espacios públicos verdes en el marco de las redes ecológicas planteadas para la ciudad y el Valle de Aburrá a través del Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007).

Finalmente, es necesario hacer referencia al déficit y especialmente a la inequidad socioespacial en la distribución del verde en la ciudad. En Medellín y el Valle de Aburrá, puede decirse que todas las zonas son deficitarias, pero existe una gran inequidad en este aspecto; no todos los sectores sociales tienen acceso al verde en condiciones de igualdad, lo cual debería ser un criterio en la asignación de áreas para tales fines.

Frente a estas problemáticas, la conectividad de los espacios verdes urbanos ha cobrado hoy gran relevancia, lo mismo que la mayor naturalización de estos y la potenciación del arbolado en términos de biodiversidad funcional, como criterios de manejo.

En primer lugar, la configuración de corredores o redes ecológicas en las ciudades se plantea cada vez más como una estrategia multifuncional, con propósitos ecológicos, urbanos y sociales: i) como alternativa a la fragmentación o aislamiento de los espacios verdes que posibilite los flujos bióticos en el paisaje (Terradas,

2001); ii) como estrategia de contención de la expansión urbana mediante corredores o cinturones verdes de borde; y iii) como alternativa para la configuración de un sistema de espacio público mediante la conexión de parques a través de senderos verdes o parques lineales en torno a los cauces hídricos.

En segundo lugar, la naturalización de los espacios verdes, entendida como el incremento de su naturalidad, se plantea hoy como estrategia de manejo para lograr mayor funcionalidad ecológica y mayor aporte del verde a la sustentabilidad urbana (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007).

A su vez, la incorporación de especies vegetales arbóreas con criterios de biodiversidad funcional en los nuevos procesos de arborización, busca una mayor adecuación y sustentabilidad del arbolado urbano frente a la problemática de variabilidad y cambio climático, y como proveedor de otros servicios ambientales.



1.3. FUNCIONES O SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ESPACIOS VERDES URBANOS

Diferentes escalas y aproximaciones conceptuales apuntan a reconocer el sentido y el aporte de la vegetación en la ciudad, un componente que está presente en forma de parques, arbolado viario, jardines, solares, lotes, terrazas o incluso macetas en los balcones (Terradas, 2001); todo ello constituye el denominado verde urbano: un elemento más del paisaje de la ciudad. De acuerdo con Lawrence (1995), los árboles han cumplido tradicionalmente tres grandes roles en el paisaje urbano: ser un elemento natural en un paisaje humanizado, un objeto estético y un objeto social que expresa relaciones de poder en la sociedad:

- Como elementos naturales en un ambiente artificializado, los árboles juegan a su vez, dos roles relacionados: son organismos vivos sujetos a las condiciones ambientales de su entorno, las cuales influyen las condiciones del sitio y del medio ambiente; y son símbolos de la naturaleza en abstracto, pues representan una conexión con el mundo de la naturaleza, más allá de la ciudad. De hecho, son por lo general las formas de vida no humana visible más prominentes en el paisaje urbano.
- Desde el punto de vista estético, su valor se deriva de sus formas, texturas, colores, fragancias e incluso su movimiento con la brisa; permiten animar o enriquecer paisajes urbanos monótonos o ruidosos mediante la yuxtaposición con las edificaciones.
- Como objeto social, es necesario anotar que gran parte de la vegetación urbana y los lugares donde está presente son una creación social, con lo cual árboles, arbustos, palmas, vegetación en general y espacios verdes en la ciudad responden a patrones sociales de poder y cultura (Lawrence, 1995).

Son tres grandes roles del arbolado, que se traducen en beneficios de orden ambiental, estético, recreativo, didáctico, psicológico, reconocidos en general en términos de funciones y, más específicamente, de servicios ambientales.



Las funciones de los EVU están relacionadas con su gran potencial para mitigar los efectos adversos de la urbanización, y son a su vez lugares que potencian la participación social (Brandáriz, 2013). Forman parte del sistema de espacios públicos de la ciudad, por lo cual su planificación y diseño debe realizarse bajo principios multiculturales, multifuncionales y de sustentabilidad,

con el objetivo de cubrir requerimientos ecosistémicos, sociales y culturales. En ese sentido, su diseño no se circunscribe a un enfoque puramente visual, pues se trata de generar lugares además de verdes y ornamentales, funcionales social y ecológicamente. Por ello:

- Su función social está referida, por una parte, a la posibilidad que ofrecen de esparcimiento, distensión, encuentro, recreación y conexión intraurbana, como parte de los sistemas de espacios públicos, que se relacionan con el mejoramiento de la calidad de vida. De esa manera, su eficacia como espacios de uso social depende no solo de sus cualidades y servicios propios, sino de la accesibilidad física (distancia, facilidad de acceso, transporte público, conectividad) y accesibilidad social (acceso libre y gratuito vs. restringido y pago). Por otra parte, una mayor diversidad paisajística del verde urbano (es decir, de tipologías de espacios verdes) garantiza mayor funcionalidad social, en tanto se traduce en diversidad de opciones de uso para distintos tipos de usuarios y preferencias (Brandáriz, 2013; Pérez & Talavera, 2008).
- La función ornamental es obvia y no debe ser subestimada en su planificación y diseño; puede decirse, de acuerdo con Iguiniz (2013), que el arbolado urbano debe participar en la composición estética y paisajística de los diferentes espacios de la ciudad. Así, en la ciudad cabe perfectamente el árbol puramente ornamental (ya sea por su floración, silueta, follaje, color, textura, etc., rasgos que permiten y sugieren distintas posibilidades de aplicación), pero el conjunto en general debe ser funcional y cumplir, según se ha dicho, diferentes funciones.
- Entre las múltiples funciones ambientales que cumple el verde urbano se destacan:
 - Su contribución a la regulación climática de las ciudades, ya que, por una parte, las áreas de vegetación constituyen filtros naturales al amortiguar vientos y lluvias; es decir, protegen del viento y reducen riesgos asociados a estos, retienen parte del agua lluvia, facilitan su infiltración en el suelo, con lo cual mitigan posibles inundaciones (Brandáriz, 2013); a su vez, regulan el régimen térmico en tanto amortiguan los rayos solares, reducen los efectos de la "isla de calor", lo que genera sombra y confort climático en edificios, pasos peatonales y sitios de estar; al mismo tiempo regulan la humedad ambiental (Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda, 2005; Pérez & Talavera, 2008).

los parques y áreas verdes no son neutrales ambientalmente; no por ser verdes son necesariamente un marco de sustentabilidad

- El mejoramiento de la calidad del aire a través de la retención de polvo y contaminantes (partículas en suspensión) mediante la superficie foliar (Pérez & Talavera, 2008); adicionalmente, la amortiguación del ruido al disminuir las consecuencias de la velocidad de los automóviles, generar desviación de los vientos y absorber parte del ruido urbano; además permiten en algunos casos suavizar el impacto visual de las edificaciones en sectores muy densos.
- Son reservorios de biodiversidad, a nivel de protección de especies vegetales y mediante la provisión de hábitat y alimento para la fauna silvestre, por lo cual contribuyen al mantenimiento de procesos ecológicos en el paisaje urbano.
- La función didáctica, relacionada con sus beneficios ambientales y sociales, como "aula" viva para el reconocimiento, por parte de los urbanistas, de los ciclos naturales y nuestra dependencia de la naturaleza (Brandáriz, 2013; Pérez & Talavera, 2008).

Sin embargo, el desempeño de las funciones biológicas y ecológicas en general depende de las características de los espacios verdes, en cuanto a diversidad y estratificación de la vegetación, magnitud y conectividad, entre otros factores de funcionalidad ambiental. Como lo indica Vélez (2009), los parques y áreas verdes no son neutrales ambientalmente; no por ser verdes son necesariamente un marco de sustentabilidad, pues su aporte en tal sentido varía de acuerdo con el tipo, disposición y manejo del contenido verde, su mayor o menor naturalidad en el contexto urbano, entre otros aspectos. Así por ejemplo, una plaza constituida por piso duro y alcorques con jardines y árboles hace un menor aporte que la misma área con mayor suelo verde o blando, y herbáceas a modo de sotobosque ornamental.

La función ambiental de la vegetación en la ciudad también suele ser entendida en términos de servicios ambientales. Reyes & Gutiérrez (2010) los definen como los beneficios intangibles que los diferentes ecosistemas o biomas ponen a disposición de la sociedad de manera natural y que, además de influir directamente en el mantenimiento de la vida, generan beneficios y bienestar para las personas y las comunidades. Servicios y funciones ambientales son, por lo tanto, sinónimos que pueden optimizarse o maximizarse de acuerdo con las condiciones específicas y a través del manejo del espacio verde. En cualquier caso, poco se ha investigado sobre aspectos claves para determinar y potenciar servicios ambientales, como las relaciones plantas-clima urbano, el impacto de la contaminación en los árboles, etc.

1.4. CATEGORIZACIÓN DE LOS ESPACIOS VERDES URBANOS

Se puede afirmar que en las ciudades colombianas la consideración del verde urbano (su localización, categorización, diseño y manejo) se ha enmarcado, fundamentalmente en criterios urbanísticos y sociales, respondiendo por lo general, a la funcionalidad del espacio público que lo contiene o del cual hace parte. En ese contexto, las áreas, zonas o espacios verdes han quedado diluidos o percibidos solo como componentes complementarios de los parques, plazas, plazoletas y del sistema vial respectivo. Denominaciones como parques metropolitanos, urbanos, zonales, vecinales y de bolsillo, entre otros, responden en su definición, a un criterio de escala y de funciones urbanas como espacios públicos. Sin embargo, una clasificación ecológica o ecosistémica de los espacios verdes ha estado ausente, tradicionalmente, en la planificación y gestión urbana (Vélez, 2007).

En efecto, como lo señala Platt (1994), las ciudades cuentan con una o más clasificaciones urbanísticas de los espacios verdes, formalizadas a través de la ordenación territorial o la planificación urbana. Aquí los criterios de reconocimiento y categorización suelen ser, por una parte, las características socioespaciales correspondientes (tamaño o escala, localización, equipamientos y área de influencia) y, por otra, el uso o las funciones sociales desempeñadas por los distintos tipos de espacio público.

Desde esa perspectiva, el espacio público en el cual se asume el verde suele clasificarse urbanísticamente en tres escalas o categorías de mayor a menor tamaño: metropolitana, urbana y vecinal (Brandáriz, 2013; Tella & Potocko, 2009); en algunos casos se reconoce otra escala intermedia o zonal, entre lo vecinal y lo urbano.

En el contexto colombiano, los EVU son objeto de distintas categorizaciones a través de diferentes instrumentos normativos o de planificación y gestión ambiental. En primer lugar, son clasificados básicamente a partir de la Ley 388 de 1997 (de ordenamiento territorial) (Colombia, Congreso de la República, 1997) y del Decreto 1504 de 1998 (de espacio público) (Colombia, Presidencia de la República, 1998), los cuales establecen y reglamentan el Sistema de Espacio Público que los municipios deben desarrollar como componente fundamental de su estructura urbana y rural. Los espacios verdes y sus elementos vegetales son parte de ese sistema (Tabla 1).

las ciudades cuentan con una o más clasificaciones urbanísticas de los espacios verdes, formalizadas a través de la ordenación territorial o la planificación urbana

Tabla 1
Elementos constitutivos del Sistema de Espacio Público en Colombia, relacionados con el espacio verde y la vegetación, según Decreto 1504 de 1998.

Elementos	Áreas	Componentes
Elementos constitutivos naturales	Áreas para la conservación y preservación del sistema orográfico o de montañas	Cerros, montañas, colinas, volcanes y nevados
	Áreas para la conservación y preservación del sistema hídrico	Elementos naturales relacionados con corrientes de agua (cuencas y microcuencas, manantiales, ríos, quebradas, arroyos, playas fluviales, rondas hídricas, zonas de manejo, zonas de bajamar y protección ambiental) y relacionados con cuerpos de agua (mares, playas marinas, arenas y corales, ciénagas, lagos, lagunas, pantanos, humedales, rondas hídricas, zonas de manejo y protección ambiental)
		Elementos artificiales o construidos relacionados con corrientes de agua (canales de desagüe, alcantarillas, aliviaderos, diques, presas, represas, rondas hídricas, zonas de manejo y protección ambiental), y relacionados con cuerpos de agua (embalses, lagos, muelles, puertos, tajamares, rompeolas, escolleras, rondas hídricas, zonas de manejo y protección ambiental)
	Áreas de especial interés ambiental, científico y paisajístico	Parques naturales del nivel nacional, regional, departamental y municipal
Áreas de reserva natural, santuarios de fauna y flora		
Elementos constitutivos artificiales o construidos	Áreas integrantes de los perfiles viales, peatonales y vehiculares	Alamedas, andenes, malecones, paseos marítimos, camellones, separadores, glorietas, orejas, antejardines de propiedad privada
Elementos constitutivos artificiales o construidos	Áreas articuladoras de espacio público y de encuentro	Parques urbanos, zonas de cesión gratuita, plazas, plazoletas, escenarios deportivos, escenarios culturales y de espectáculos al aire libre
Elementos complementarios	Componente de la vegetación natural e intervenida	Vegetación, herbácea o césped, jardines, arbustos, setos o matorrales, árboles o bosques

Con base en este marco conceptual y clasificatorio, los planes de ordenamiento territorial (POT) categorizan en uno u otro componente sus espacios públicos o espacios verdes. Para Bogotá, Medellín y Cali, adicional a la escala ya mencionada, se incluyen otros criterios como la función, entendida como una actividad o conjunto de actividades espacialmente localizadas, que se diferencian de otras por un atributo común, y cuyo propósito es prestar servicios o suministrar bienes a la población de un área urbana específica; y la accesibilidad, que tiene que ver con la mayor o menor facilidad para desplazarse desde el lugar de origen de un viaje (sea peatonal o en algún vehículo) hasta el punto de llegada (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005). En la Tabla 2 se presenta una síntesis de las categorías asignadas a tales efectos en el POT de Medellín, mediante el Acuerdo 48 (Alcaldía de Medellín, 2014).

Tabla 2
Estructura del sistema de espacios públicos de esparcimiento y encuentro en el municipio de Medellín.

Función	Denominación	Descripción
Según su dominio/ propiedad	Área de propiedad y dominio público: corresponde a bienes entregados en cumplimiento de las obligaciones urbanísticas, a espacios que por formación urbanística han sido de dominio público, sobre los cuales no hay títulos pero que el municipio guarda, custodia y administra, a bienes adquiridos por el municipio por compra o cesión, entre otros	Parques Parques cívicos Plazas Zonas verdes recreacionales Miradores panorámicos urbanos y rurales
	Área libre del equipamiento público: corresponde a las áreas libres para el encuentro y el esparcimiento ciudadano que hace parte del suelo destinado a equipamiento y que sin perder su destinación se tendrán en cuenta en la contabilización del índice de espacio público efectivo, siempre y cuando cumplan con las características de ser de propiedad y dominio público, tener libre tránsito y acceso y ser espacio de permanencia y recreación pasiva	Parques Parques cívicos Plazas Zonas verdes recreacionales Miradores panorámicos urbanos y rurales

Función	Denominación	Descripción
Según su dominio/ propiedad	Área libre privada de uso público: corresponde a áreas comunes de urbanizaciones abiertas, caracterizadas por no tener restricciones de acceso y tránsito por la comunidad en general, las cuales se han consolidado por el paso del tiempo como bienes de uso de la ciudadanía	Parques Parques cívicos Plazas Zonas verdes recreacionales Miradores panorámicos urbanos y rurales
Según su naturaleza y función	Parque	Ecoparque de quebrada Ecoparque de cerro Ecoparque para la mitigación del riesgo
	Parque recreativo	Parque recreativo pasivo Parque recreativo activo
	Parque cívico	Lugar público por excelencia, resultante de la agrupación de edificios en torno a un espacio libre, que actúa como centro cívico y representativo de su entorno
	Plaza	Plazuela Plazoleta
	Plazas y parques cívicos asociadas a su función cultural y simbólica	Parques Plazas Plazoletas Plazuelas
Según su jerarquía y cobertura	Según tamaño y escala	Nivel barrial / suburbano nivel 2: espacios públicos de menor jerarquía o impacto urbano, de proximidad y complementario a la vivienda, que ofrecen oportunidades de recreación, esparcimiento e intercambio social a escala barrial o interbarrial, o centros suburbanos del nivel 2 en la zona rural. Su ámbito de influencia es definido por un radio de 300 m y su superficie debe estar entre los 3.000 y 10.000 m ²
		Nivel vecinal / veredal: espacios públicos de esparcimiento y encuentro colectivo de proximidad a la vivienda, de baja jerarquía o impacto territorial, que prestan servicios al sector residencial, tienen por objeto resolver las necesidades básicas de descanso y esparcimiento al aire libre de la población residente, cuyo ámbito de influencia es definido por un radio inferior a 100 metros, accesibles mediante itinerarios peatonales que no superen los cinco minutos de desplazamiento a pie. Su accesibilidad se presenta mediante senderos peatonales y vías de servicio, se constituyen en áreas de juego y esparcimiento cuya superficie es inferior a los 3.000 m ²

Función	Denominación	Descripción
Según su jerarquía y cobertura	Según su localización	Ámbito río: espacios públicos de encuentro con perfiles especializados y diferenciados, destinados al desarrollo de eventos de alta calidad y dirigidos a un público masivo, asociados al desarrollo de los centros de actividad y hábitat, como espacios habilitados para el uso público, el aprovechamiento paisajístico y recreativo de los cuerpos de agua que convierten al río en un escenario de expresión de la democracia con predominancia del espacio público verde
		Ámbito ladera: espacios públicos asociados en su mayoría a barrios residenciales consolidados, se conciben como estructurantes en el espacio público a escala local, propician el reconocimiento y disfrute escénico y buscan enriquecer el paisaje de las laderas. Predominan los espacios públicos de orden local que buscan cubrir las necesidades de esparcimiento y encuentro a nivel vecinal, barrial y comunal
		Ámbito borde: áreas de uso público periféricas con fines recreativos, de orden general y local, que además de suplir deficiencias locales de esparcimiento y encuentro, cumplen una función de transición entre las estructuras naturales y artificiales de los suelos urbano y rural, y de sellado del límite urbano, orientando el crecimiento urbano hacia áreas apropiadas, y evitándolo en áreas vulnerables a la ocupación informal y en aquellas sujetas a amenazas naturales
		Ámbito rural: son espacios públicos en el ámbito rural, espacios naturales intervenidos de manera sostenible y construidos para ser espacios de esparcimiento y encuentro, destinados por su reconocimiento al disfrute colectivo, a la recreación pasiva, al ecoturismo, el equilibrio y a la sostenibilidad ambiental, y al desarrollo social de las comunidades que lo usufructúan

Fuente: Municipio de Medellín. Plan de Ordenamiento Territorial, Acuerdo 48 de 2014.

En el caso de Medellín, los espacios públicos verdes quedan incorporados inicialmente ya sea en el sistema de espacio público, esparcimiento y encuentro, como parte de las áreas de conservación; del sistema de movilidad (separadores, antejardines y corredores verdes), como áreas asociadas a procesos urbanísticos y edificios públicos; o como componentes del sistema de patrimonio cultural e inmueble (Tablas 1 y 2).

La incorporación de criterios ecológicos en la clasificación y manejo de espacios verdes en Colombia empieza a ser planteada a partir de conceptos como **estructura ecológica principal, infraestructura verde y red ecológica**, entre otros. No obstante, la aplicación de metodologías de análisis ecológico de los EVU, como base para la definición de un sistema de espacios verdes, es todavía un punto de partida por desarrollar en la ciudad. Algunos de estos espacios están categorizados como componentes de la **estructura ecológica principal (EEP)**, la cual se establece a partir del Decreto 3600 de 2007 (Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007) y de la Guía metodológica para la definición de la estructura ecológica nacional (Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2012), y se define y reglamenta en los diferentes POT. Para el caso de Medellín, la EEP se define como

- El sistema interconectado de las áreas con alto valor ambiental que sustenta los procesos ecológicos esenciales del territorio y la oferta de servicios ecosistémicos, que se integran estructural y funcionalmente con la estructura ecológica regional, con la finalidad de brindar capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico y cultural de la población (Municipio de Medellín, Acuerdo 48 de 2014, artículo 19). (Tabla 3).

Así mismo, los espacios públicos verdes pueden ser calificados como **suelo de protección**, que en el artículo 35 de la Ley 388 (Colombia, Congreso de la República, 1997), es definido como las áreas que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales quedan restringidas a la urbanización. Por lo tanto, determinadas áreas del sistema de espacio público, al igual que algunos espacios privados, pueden también estar definidos como suelo de protección. En efecto, para el caso de Medellín, el artículo 14 del POT define el tipo de áreas que conforman el suelo de protección al interior del suelo urbano y de expansión urbana: las áreas de la estructura ecológica principal (Tabla 3) y las áreas de amenaza y riesgo.

Por otra parte, algunos espacios verdes corresponden a su vez a **bienes de interés cultural (BIC) y patrimonial**, es decir que constituyen valores a preservar en los tratamientos urbanísticos.

El POT de Medellín, en sus artículos 135 a 140, señala el tipo de áreas que pueden incluir espacios BIC dentro del sistema de esparcimiento y encuentro (parque, plaza, zona verde recreacional y mirador panorámico).

Tabla 3.
Áreas de la estructura ecológica principal en la zona urbana de Medellín.

Subcategoría	Componente	Elemento	
Áreas protegidas	Áreas protegidas de carácter metropolitano	Parque Natural Regional Metropolitano Cerro El Volador; Área de Recreación Urbana Cerro Nutibara Área de Recreación Urbana Cerro La Asomadera	
Áreas de interés estratégico	Sistema hidrográfico	Ríos y quebradas con sus retiros	
	Sistema orográfico	Cerros tutelares	
	Nodos y enlaces (actuales y futuros) de la red de conectividad ecológica	Red ecológica	Nodos estructurantes
			Enlaces estructurantes
			Nodos y enlaces estructurantes proyectados
		Áreas de interés recreativo y paisajístico (públicas y privadas)	
	Corredores del sistema metropolitano de áreas protegidas		

Fuente: elaborado con base en el Acuerdo 48 de 2014, Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio de Medellín.

Finalmente, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007) estructura y define un **sistema de espacio público verde urbano** como:

- El subsistema del sistema de espacio público que incluye aquellos espacios en los que la naturaleza, las coberturas vegetales o plantaciones intencionadas con fines ornamentales predominan y constituyen el marco o estructura de las funciones sociales y ambientales que cumplen

dichos espacios. Incluye además los elementos naturales de los espacios privados, destinados por su naturaleza, por uso o afectación, a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas que trascienden, por tanto, los límites de los intereses individuales (Figura 1).

Cabe resaltar que dicho sistema incluye ciertas áreas verdes privadas como parte del espacio público, objeto de gestión institucional; tal inclusión reconoce no solo la función social y ecológica que cumple la propiedad privada en la legislación colombiana, sino que también revaloriza la importancia que ciertos espacios verdes privados poseen, y que, por tanto, requieren de instrumentos normativos, financieros y técnicos que permitan su conservación y mejoramiento a través del tiempo (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007; Hoyos, 2010).

Cada una de las categorías del sistema propuesto tiene criterios de manejo o intervención, no solo en los POT, sino también en los planes de acción de las entidades encargadas de su manejo, por tratarse de distintos tipos de espacio público verde, con funciones y características diferenciales. La intervención de un espacio determinado deberá, por lo tanto, fundamentarse en los criterios correspondientes y en criterios de sustentabilidad ambiental, a lo cual se hará referencia seguidamente. Cabe anotar que nuevas tipologías de verde urbano como cubiertas y muros verdes, cada vez más utilizadas a modo de arquitectura y construcción sostenible requieren, en nuestro medio, un mayor reconocimiento y articulación a la planificación y la gestión ambiental urbana.

1.5. LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL VERDE URBANO

1.5.1. La sustentabilidad como marco general de planificación y gestión

En tanto los espacios verdes constituyen un componente de la estructura urbana, su planificación y manejo están insertados, en primer lugar, en el ordenamiento territorial como marco de la gestión del espacio público y de los procesos de transformación socioespacial que se dan en la ciudad. En segundo lugar, su planificación y manejo hacen parte de la gestión ambiental municipal, distrital y metropolitana, la cual constituye un ámbito técnico y administrativo para potenciar las funciones o servicios ecosistémicos del verde y, con ello, incrementar su rol en la sustentabilidad ambiental de la ciudad.

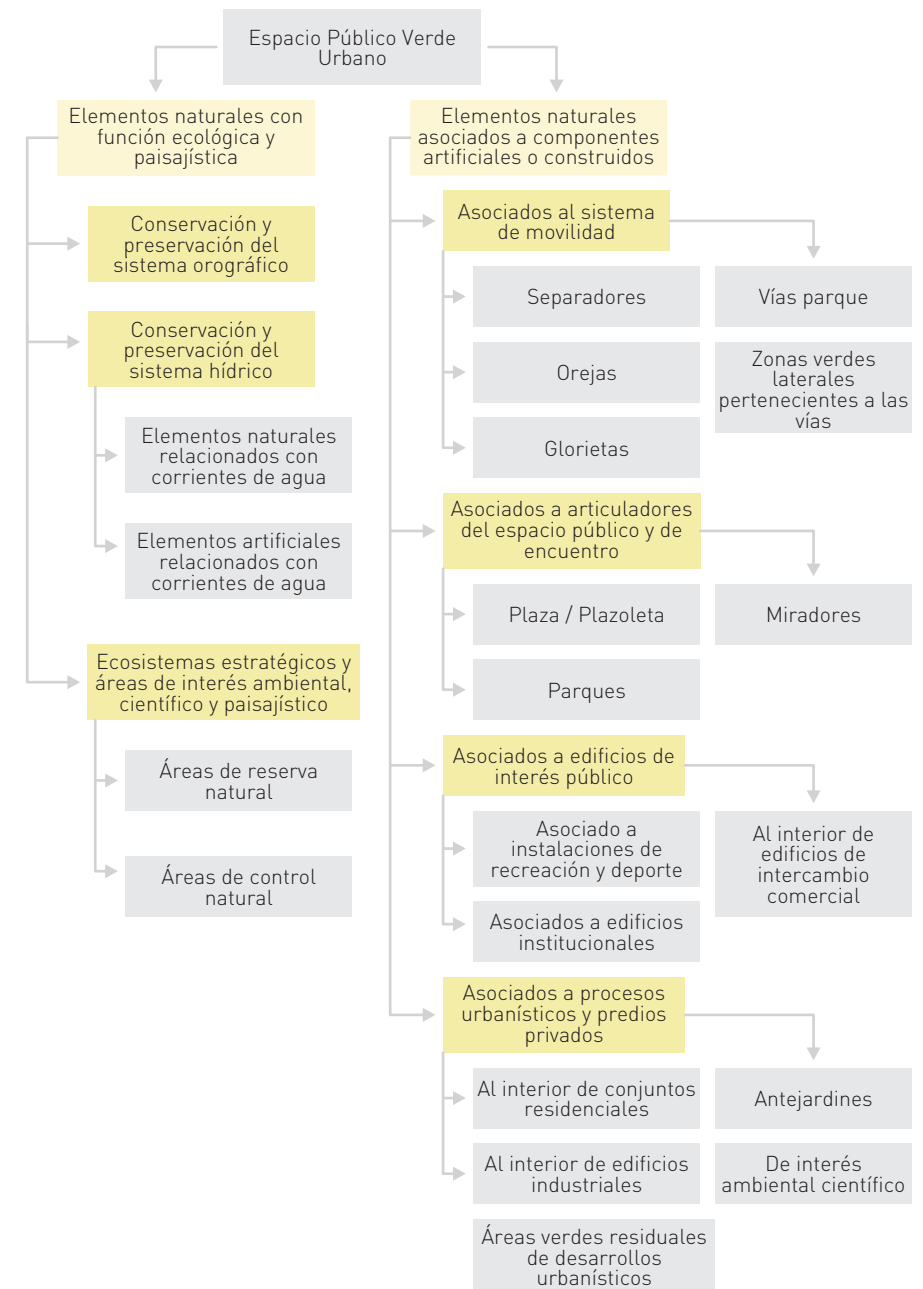


Figura 1. Estructura funcional del espacio público verde para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007.

La gestión para la sustentabilidad ambiental debe orientarse a generar “más y mejores zonas verdes”


Más que una sola función (social, urbanística, paisajística o ambiental), se trata de su articulación a través de la planificación y el manejo, como punto de partida para potenciar los múltiples beneficios de los espacios verdes, antes que pretender maximizar solo alguno de ellos (Rivas, 2005).

Hough (1998) plantea cuatro principios de diseño y gestión de los espacios verdes, desde el punto de vista ecológico: la consideración de procesos y, por ende, de una visión dinámica de la naturaleza en el diseño de espacios verdes; la economía de medios o de uso de recursos; la diversidad como principio; y la conexión como referente de manejo.





En el mismo sentido, desde una perspectiva de sustentabilidad, Cranz & Boland (2004) y Vélez (2009) señalan los atributos que definen el parque sostenible, representados en características como el ahorro energético, de recursos materiales (fertilizantes, laboreo y agua) y de costos de mantenimiento; el reciclaje; el control de sedimentos; la reducción del ruido y de la contaminación; la configuración del parque en función de la ecología del lugar; el diseño y manejo de la vegetación con criterios sucesionales; el aporte al bienestar social y la salud pública; la accesibilidad, la conectividad y la integración social y urbanística a la ciudad.

Espacios verdes gestionados bajo ese marco de sustentabilidad contribuirán finalmente a una mayor habitabilidad del medio urbano. Pero esas características son justamente el resultado de una adecuada planificación de las actividades orientadas a la creación e intervención de espacios verdes; y es a ello a lo que se hará referencia en las siguientes líneas a modo de **criterios** por desarrollar.

Por tanto, el manejo del verde urbano supone definir los objetivos en cada caso. Sin embargo, a nivel general, la gestión para la sustentabilidad ambiental debe orientarse a generar “más y mejores zonas verdes”, para lo cual estas deberán poseer:

-  **Mejor calidad:** tiene que ver con el tipo de vegetación nueva y existente y las acciones de mantenimiento permanente y preventivo requeridas, de tal forma que se logre una buena salud y funcionalidad ecológica a través del tiempo. El manejo deberá estar acorde con el tipo de zona verde dentro de un sistema de espacio público y con las funciones que se esperan de cada una de ellas. La cualificación de los técnicos y profesionales relacionados con el diseño, construcción y manejo de espacios verdes (su certificación en temas asociados a la silvicultura urbana) es una condición importante para el cumplimiento de estos propósitos.

La calidad también se relaciona con las áreas construidas y el mobiliario existente, su distribución y el tipo de materiales utilizados; estos elementos remiten al diseño ecológico urbano y a la arquitectura bioclimática, los cuales contribuyen a una mayor cercanía de las personas con la naturaleza y su disfrute pleno.

-  **Mayor cantidad:** se relaciona con el logro de estándares de calidad ambiental urbana asociados con el número de metros cuadrados de zonas verdes por habitante, o el número de árboles por habitante; estándares que son importante gestionar no solamente por los beneficios ambientales que las zonas verdes generan, sino también para alcanzar niveles óptimos en términos de salud física y mental de los ciudadanos.
-  **Mejor distribución:** se asocia con la cercanía de las zonas verdes al lugar de residencia de los ciudadanos y con una mayor equidad en su distribución espacial, toda vez que los diferentes sectores, comunas, barrios, etc., en que se subdivide la ciudad normalmente poseen índices desiguales de espacio público verde (generalmente se presentan mayores índices en barrios de estratos altos). En tal sentido, la conectividad de las áreas a través de corredores verdes es una estrategia necesaria y prioritaria para acercar los espacios verdes al ciudadano.
-  **Mejor conservación:** está ligada, por una parte, a la aplicación de criterios ecológicos en el manejo del verde urbano, como se verá más adelante; y, por otra, al reconocimiento de los valores o atributos ecológicos de determinados espacios, de manera que sean eficaces las figuras normativas existentes para su conservación, previstas en la ley y en los planes de ordenación territorial (suelos de protección, áreas de la estructura ecológica, etc.). Las declaratorias de áreas protegidas pueden constituir mecanismos más eficientes para garantizar la protección *per se* de áreas sin urbanizar, con potencial de conservación o con importantes funciones ecológicas (ecosistemas estratégicos, enlaces de las redes ecológicas, áreas de valor patrimonial, etc.), frente a la presión urbanizadora; por ello, la identificación y declaratoria de tales áreas es una tarea prioritaria para la conservación del verde en paisajes urbanos.
-  **Mayor apropiación:** remite a la vinculación de la comunidad con el cuidado y manejo de los espacios públicos verdes urbanos. Es bien sabido que estos son más seguros cuando la comunidad los vincula a su diario vivir. Por ello, el propósito es generar vínculos de la sociedad civil con

los procesos de planificación y gestión urbana mediante la implementación de acciones de participación, las cuales deberían promover una mayor apropiación por parte de las comunidades y generar en ellas una mayor conciencia sobre la importancia y los beneficios de la protección de este bien (Uribe, 1998).



Disfrutando las zonas verdes (Jardín Botánico de Medellín)

Para el logro de las condiciones de sustentabilidad indicadas, es necesaria la identificación e implementación de una serie de instrumentos no solamente técnicos y económicos, sino también normativos y sociales, tales como:

Instrumentos administrativos y técnicos

Los procesos de planeación (regional, distrital y municipal) dependen del marco normativo que los rige, el cual establece los mecanismos y bases institucionales para la gestión del verde urbano (ejecución, seguimiento, control, evaluación y monitoreo de acciones). Los instrumentos que apoyan dicha gestión están representados en programas, proyectos, estudios, guías, manuales, protocolos, esquemas de monitoreo, sistemas de información y demás, asociados a este campo específico.

Instrumentos financieros y económicos

Constituyen a la vez un punto de partida y de llegada de la gestión del verde urbano. De un lado, partir del reconocimiento de los parques y áreas verdes como proveedores de servicios ambientales para la ciudad que tienen un valor económico (y no simplemente como un centro de costos) es un factor clave en la exploración, definición y viabilización de recursos e incentivos económicos para el

mantenimiento e incremento de los espacios verdes en la ciudad. Del otro lado, lograr la adecuada calidad y cantidad de espacios verdes urbanos requiere de instrumentos financieros y económicos suficientes y eficaces.

Instrumentos jurídicos y normativos

Constituyen la base legal que soporta la gestión integral del verde urbano, a través de leyes, normas, acuerdos, decretos, ordenanzas, resoluciones y actos administrativos a modo de planes específicos, políticas, lineamientos, etc. Esta normatividad debe ser coherente con las normas de mayor jerarquía, suficiente (que abarque los aspectos claves de la gestión) y aplicable al contexto local.

Instrumentos de coordinación y participación

La participación de los actores sociales constituye un componente fundamental para la gestión integral del verde urbano, para su conservación y uso social como patrimonio ambiental de la ciudad. Tal participación debe partir de la educación y sensibilización de la comunidad, los gremios, etc., respecto a los criterios de selección y establecimiento de especies vegetales en los espacios verdes de su entorno, así como su vinculación al cuidado de estos.

1.5.2. Los criterios ecológicos o ambientales en el proceso de planificación y manejo del verde urbano

La planificación y gestión del verde urbano, en el marco de la sustentabilidad ambiental, conlleva criterios y acciones a distinto nivel en el ámbito del manejo del espacio público urbano, según se indicó atrás. A continuación se presentan estos criterios en la perspectiva de la ecología del paisaje como referente espacial y conceptual.

Criterio 1. Optimizar la localización de nuevos espacios públicos (verdes) reduciendo el déficit cualitativo y cuantitativo

La creación de un nuevo espacio público verde en la ciudad contribuye a reducir el déficit de metros cuadrados por habitante que normalmente presenta este componente urbano; sin embargo, su ubicación es de gran importancia y significado desde el punto de vista ambiental, ecológico y social. La localización específica de un nuevo espacio verde puede favorecer, en mayor o menor medida, el nivel

de fragmentación o de conectividad del sistema de espacio público (verde) existente, así como el nivel de inequidad socioespacial (en cuanto al déficit cuantitativo), que se presenta entre distintas comunas, sectores o barrios de la ciudad.

Por lo tanto, la incorporación de nuevos espacios verdes en la ciudad, ya sean parques, ecoparques o zonas verdes de las urbanizaciones y planes parciales, debería propender, ante todo, hacia su relación física y funcional con los espacios verdes de su entorno, con el objeto de reducir el aislamiento ecológico de la nueva área en particular y la fragmentación del sistema en conjunto.

Este es un criterio considerado en el POT de Medellín en el marco de las actuaciones generales (de mantenimiento) para reducir el déficit cualitativo de espacio público. La estructura ecológica principal o complementaria existente, o bien las redes ecológicas urbanas definidas o proyectadas son referentes físico-bióticos de consideración prioritaria en la localización y articulación de nuevos espacios. En este sentido, la Figura 2 ilustra distintas opciones de ubicación de un parque y sus efectos en términos de fragmentación del verde.

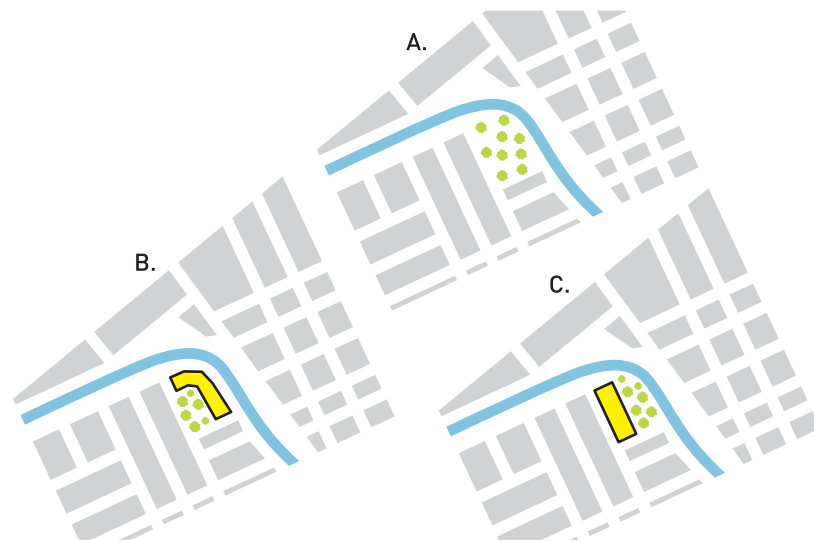


Figura 2. La localización de los espacios verdes y su conectividad. Dos situaciones respecto al contexto urbano. A) Lote previo sin urbanizar. B) Localización sin criterios de conectividad a otros espacios o sistemas verdes. C) Una opción de conectividad al sistema hidrográfico.

Por otra parte, la reducción del déficit cuantitativo, a través de la generación de nuevas áreas dentro de la ciudad, se optimiza también si, a su vez, estas posibilitan la reducción de la inequidad en la cantidad de metros cuadrados de espacio verde por habitante entre barrios y comunas. Este criterio conlleva beneficios sociales y ambientales para aquellas zonas de la ciudad que presentan menor dotación de área verde pública. Así por ejemplo, la Figura 3 pone en evidencia la ausencia de parques o espacios verdes públicos en algunas zonas urbanas.



Figura 3. La urbanización sin planes de espacios públicos verdes. Caso barrios noroccidentales de Medellín. Fuente: Tomado de Google Earth en 2015.

🌿 Criterio 2. Reducir la fragmentación y residualidad características del verde urbano mediante el mejoramiento de las condiciones espaciales de tamaño y forma para los espacios actuales y futuros

La fragmentación es un término utilizado en la ecología del paisaje y la biología de la conservación para referirse a la pérdida, reducción y aislamiento de hábitat, debido generalmente a las actividades humanas. En paisajes naturales y rurales, la fragmentación de bosques constituye un proceso en el cual estos resultan progresivamente subdivididos en fragmentos (o parches) más pequeños y aislados; su principal consecuencia es la interrupción de la continuidad del hábitat para las especies de fauna y, en general, de los flujos bióticos, por lo cual hoy se ha convertido en la mayor amenaza para la diversidad biológica del planeta (Dramstad, Olson, & Forman, 1996; Forman & Godron, 1986; Forman, 1995).

En el contexto urbano, la fragmentación de los espacios verdes se debe, en alguna medida, al distanciamiento entre ellos y a su aislamiento. Pero también resulta del fraccionamiento, residualidad y predominio de pequeños fragmentos, estrechos y alargados, tanto en la ciudad en general como al interior de los parques y de las áreas verdes de las urbanizaciones cerradas.

Los efectos ecológicos y sociales de la fragmentación han sido ampliamente documentados en la literatura sobre ecología de paisaje y diseño ecológico urbano (Dramstad et al., 1996; Forman, 1995). Puede decirse que los fragmentos verdes de menor tamaño son los que usualmente albergan menor biodiversidad, no posibilitan la provisión de hábitat adecuado para la fauna y ofrecen menores posibilidades de uso social. La Figura 4 es un ejemplo de fragmentación en un parque lineal de una urbanización, causada por la mala distribución de usos del suelo en su interior y su desconexión respecto a otros espacios verdes del entorno.

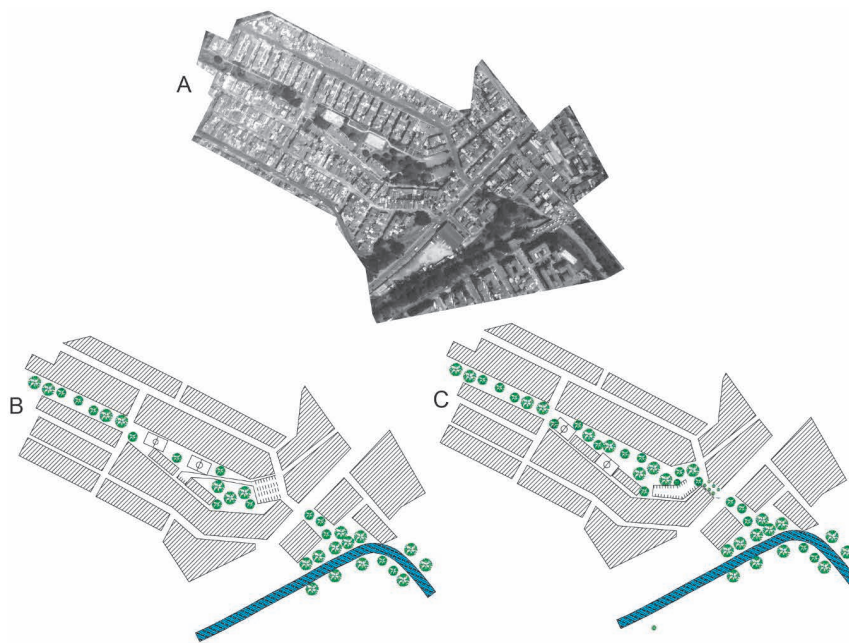


Figura 4. Fragmentación de las áreas verdes al interior de un parque, debido a la distribución de los usos del suelo sin criterios de conectividad o continuidad del verde; caso urbanización Sevilla, Itagüí. A) y B) Situación actual. C) Distribución espacial hipotética de los mismos usos con menor fragmentación al interior.

Es obvio que las ciudades necesitan todo tipo de parques o espacios públicos verdes, entre ellos los pequeños parques barriales y vecinales como espacios de encuentro; pero la consolidación del arbolado en el marco de la sustentabilidad urbana hace necesario superar, como única opción tipológica, la proliferación de espacios verdes de carácter residual y fragmentario, resultantes de los proyectos de urbanización en unidades residenciales y de procesos de renovación o redesarrollo urbano.

La compacidad del verde y su conectividad deben ser también rasgos de la ciudad compacta. Por ello, una oferta de grandes, medianos y pequeños parques dentro de la ciudad, conectados mediante corredores verdes o retiros de quebradas, permite mantener distintos tipos de áreas en el espacio urbano (ecoparques, parques metropolitanos, urbanos, áreas de conservación y educación ambiental, de recreación activa, de recreación pasiva, etc.), lo cual incrementa los beneficios ecológicos y sociales.

La reducción de la fragmentación hace parte, en efecto, de los criterios de manejo del sistema de espacio público de esparcimiento y encuentro en el POT de Medellín. En cuanto a las actuaciones generales, se plantea en las acciones de mantenimiento y de mejoramiento restringir la fragmentación y disminución del área cubierta con vegetación en los espacios públicos, con miras a mantener el predominio del área verde respecto al piso duro. En el mismo sentido, las actuaciones específicas promueven la reducción de la fragmentación al interior de los ecoparques de cerro, parques recreativos pasivos y parques cívicos; para lograrlo se propone limitar el porcentaje de área construida o de piso duro, con base en una distribución espacial concentrada de las áreas construidas.

🌿 Criterio 3. Establecer corredores ecológicos continuos entre espacios verdes como estructuras de conectividad y funcionalidad ambiental del paisaje urbano

De los dos apartados anteriores se puede inferir la importancia o necesidad de conectividad del verde urbano. Corredores y redes ecológicas constituyen una alternativa para reconstruir procesos ecológicos y, en consecuencia, una solución espacial a los procesos de fragmentación y disminución de hábitat y conectividad funcional. Se trata de conectores que, ante todo, posibilitan el flujo de materiales, organismos y energía en el paisaje. En el contexto

La compacidad del verde y su conectividad deben ser también rasgos de la ciudad compacta

urbano son fundamentales, en tanto responden a objetivos multifuncionales; pueden estar definidos para distintos escenarios, por ejemplo, a lo largo de los corredores hídricos, a modo de parques lineales, en la forma de senderos verdes (green ways), asociados a las vías, o simplemente a través de los separadores y calles arborizadas (Martínez, 1999). La importancia de las redes ecológicas y su estado actual en el Valle de Aburrá se analiza en detalle en el capítulo 2 de este libro.

Particularmente, los corredores verdes asociados a corrientes de agua son un componente muy importante del paisaje urbano y pueden cumplir diferentes roles, además de su función básica de conectar áreas de vegetación natural o manejada, expandir el hábitat ecológico y permitir flujos bióticos:

- Sirven de refugio a numerosas especies de flora y fauna, que de lo contrario no podrían sobrevivir en el ambiente urbano.
- Mejoran la calidad de agua mediante la retención o regulación del flujo de partículas.
- Disminuyen la frecuencia y magnitud de las inundaciones en áreas aledañas, al permitir la infiltración de la escorrentía a través del suelo, y controlan a su vez procesos erosivos.
- Reducen el calentamiento que deben soportar las áreas más construidas de la ciudad, por lo cual favorecen microclimas más confortables.
- Reducen o amortiguan el ruido producido por las actividades urbanas, gracias a la vegetación del corredor, lo cual beneficia a las comunidades más cercanas a él.
- Mejoran las cualidades paisajísticas de su entorno urbano, por efecto de las vistas o paisaje verde proporcionado por el corredor. Proveen oportunidades educativas y recreativas a la ciudadanía (senderismo urbano, conectividad de espacios verdes), lo cual induce actividades positivas hacia el ambiente por parte de los pobladores.
- Optimizan el sistema de espacios públicos en la ciudad, al posibilitar la configuración de redes de parques o espacios verdes y mejoran con ello la accesibilidad física y social a tales áreas (Restrepo, 2009).

En el Valle de Aburrá, los corredores hídricos son rasgos geográficos importantes que otorgan un gran valor paisajístico a la ciudad; sin embargo, no han sido debidamente reconocidos como estructurantes ecológicos y urbanísticos en el proceso urbanizador formal e informal. Su restitución y restablecimiento como componentes del paisaje urbano es ya un propósito reiterativo en el POT de Medellín, en el cual las actuaciones específicas planteadas para la conformación y manejo de los ecoparques de quebrada plantean enfáticamente la recuperación y protección de retiros o rondas hídricas; para ello se proponen acciones como: reposición de espacios invadidos, conservación de la capa vegetal, restauración ecológica, establecimiento de vegetación nativa, recuperación y naturalidad del cauce, según el Acuerdo 048 del POT (Alcaldía de Medellín, 2014).

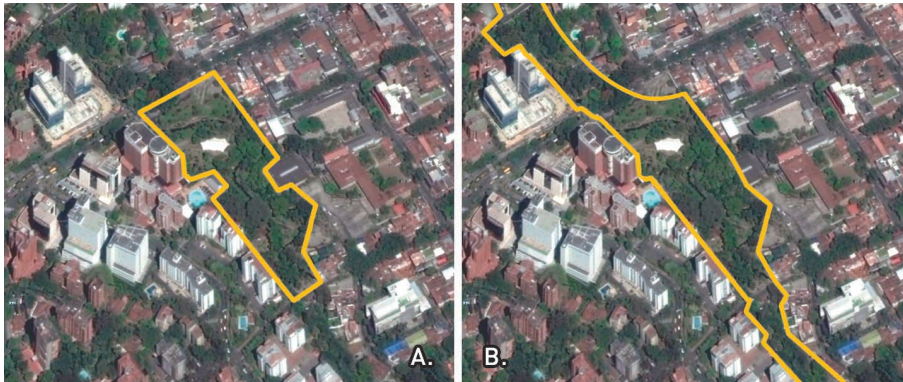
En el contexto de la estructura ecológica principal, como elemento clave para la conectividad y funcionalidad ambiental y social del verde urbano, un objetivo prioritario es el restablecimiento de corredores ecológicos continuos. Para lograrlo, los retiros de las quebradas que discurren por las laderas deben ser un objetivo prioritario para la generación de nuevo suelo o espacio público verde en la ciudad y en el Valle de Aburrá. La Figura 5 muestra las posibilidades y requerimientos de mayor conexión del verde en la ciudad, especialmente a través de los corredores asociados a las corrientes hídricas; una necesidad también social en términos de senderismo urbano.

*un objetivo
prioritario es el
restablecimiento
de corredores
ecológicos
continuos*



Figura 5. Los corredores hidrográficos como rasgos naturales del paisaje y estructuradores urbanos. Su composición como criterio prioritario para la generación de nuevo suelo verde en las ciudades. A) Corredores fragmentados en comuna nororiental de Medellín. B) Recuperación hipotética. Fuente: Tomado de Google Earth en 2015

En el mismo sentido, hay que anotar que muchos parques lineales de quebrada en el Valle de Aburrá se caracterizan por su residualidad, su estrechez y desconexión respecto a otros espacios verdes. La Figura 6 muestra el caso del parque lineal La Presidenta en el sector sur oriental de Medellín.



Figuras 6.
El confinamiento y la residualidad de la forma de los espacios públicos verdes reducen sus posibilidades ecológicas y sociales. A) Parque la Presidenta, Medellín, situación actual. B) Mejoramiento, situación ideal.
Fuente: Tomado de Google Earth en 2015

Además de los corredores hídricos, otros corredores verdes urbanos cuya generación o adecuación es importante, son los asociados a la movilidad o al arbolado viario, por sus funciones ambientales y paisajísticas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la conectividad que ofrecen estas arborizaciones lineales (en calles y avenidas) es generalmente aérea, pues únicamente logran continuidad de las copas de los árboles sin un suelo verde continuo, por lo cual solo son eficaces para algunas especies de aves (EIN Consultoría y Gestión, 2005; Vélez, 2007).

🌿 Criterio 4. Reconocer las características geomorfológicas e hidrográficas del paisaje como rasgos naturales a proteger en el diseño o manejo de los espacios y corredores verdes

Un principio general del diseño ecológico del paisaje, y por ende de los espacios verdes, es evitar, en la medida de lo posible, la modificación de la topografía natural de la zona; ello con el fin de no alterar la estructura del suelo, la escorrentía natural y no generar aplanamientos artificiales o superficies demasiado verticales, difíciles de vegetar, que crean riesgos de procesos erosivos y mayores costos de

construcción y mantenimiento (EIN Consultoría y Gestión, 2005).

La heterogeneidad del relieve, expresada en su variación a través del terreno (diferencia de pendientes, presencia de prominencias topográficas, vaguadas, meandros, etc.), posibilita de manera más natural una mayor variedad de paisajes en un área verde, así como mayores oportunidades de distribución de la biodiversidad.

Antes que una artificialización radical del paisaje geomorfológico mediante terracedos, rectificaciones y canalizaciones, se propone el reconocimiento de sus rasgos naturales como punto de partida para un "diseño con la naturaleza". En tal sentido, las canalizaciones de ríos y quebradas, especialmente aquellas cuyos canales se construyen en forma de U, son respuestas ingenieriles antes que paisajísticas al manejo de las quebradas; son soluciones artificializadoras y esterilizantes del recurso hídrico, en tanto impiden las relaciones entre la fauna terrestre y el cuerpo de agua; además lo reducen a la función de simple colector y ocasionan a la vez su marginación paisajística respecto al entorno.

En consecuencia, un tratamiento más natural de los cauces hídricos debe tener en cuenta los criterios básicos del diseño y manejo de espacios verdes con principios de sustentabilidad, entre los cuales están: respetar en lo posible el relieve natural, evitar el reemplazo de piso blando por piso duro, conservar al máximo los árboles existentes e integrarlos al diseño urbano, proteger los humedales existentes en los retiros o zonas verdes, entre otros. La Figura 7 ilustra diferentes tratamientos de canalización de los cursos de agua y muestra su mayor o menor contribución paisajística y ambiental.

Estos criterios ecológicos se esbozan en las actuaciones específicas que el POT de Medellín plantea para los distintos tipos de ecoparque, entre las cuales están: evitar las modificaciones a los cauces naturales de las fuentes hídricas, el taponamiento de corrientes naturales y escorrentías, y la modificación topográfica de cerros. Más específicamente, para ecoparques de quebrada y otros cuerpos de agua en la zona urbana, el plan establece que el manejo debe velar por la naturalización de los cauces de quebradas, lo que supone replantear el diseño de las infraestructuras viales y de las intervenciones en el río y sus afluentes con criterios de ecología de paisaje para aumentar la naturalidad de los espacios verdes.

las canalizaciones de ríos y quebradas, especialmente aquellas cuyos canales se construyen en forma de U, son soluciones artificializadoras y esterilizantes del recurso hídrico



Figuras 7.
 La canalización de corrientes hídricas asociadas al sistema vial.
 A) Artificialización, deterioro paisajístico y ruptura de las relaciones fauna-agua en la ciudad, ocasionada por los canales en U.
 B) Opciones de mayor funcionalidad ecológica (canales en V y en piedra).

🌿 Criterio 5. Identificar y analizar los condicionantes abióticos (clima, suelo) como punto de partida para la selección de especies vegetales, en función de sus requerimientos ecológicos

La selección de especies vegetales en los proyectos de creación o intervención de espacios verdes debe responder, ante todo, a las condiciones o factores ambientales existentes en la ciudad y concretamente en los espacios o áreas respectivas. Básicamente se deben evaluar las necesidades de temperatura, luz, suelo y agua de las plantas, así como su resistencia a plagas, enfermedades y a la contaminación (Belli, 2004b; Belli, 2004c; Falcón, 2007; Iguíñiz, 2013; Sánchez, 2005).

A partir de una adecuada correspondencia planta-medio se seleccionan las especies que presentan determinadas características ornamentales o morfológicas, en atención a los propósitos paisajistas, sociales y ambientales planteados en el proyecto.

Criterios adicionales relacionados con la adecuada selección de especies para los ambientes urbanos se discuten con mayor profundidad en los capítulos 3 y 4 de esta guía.

El empleo de especies autóctonas es una recomendación básica para el arbolado urbano, en tanto tienen mayor

adaptación a las condiciones naturales existentes y mayores posibilidades de éxito, en cuanto a reducción de costos, calidad del arbolado y sustentabilidad. Pero más allá del debate sobre especies nativas versus introducidas, se trata ante todo, de acuerdo con EIN Consultoría y Gestión (2005), de utilizar especies bien adaptadas a las condiciones naturales de la zona y a su rango natural climático o zona de vida (o más ampliamente a zonas de rusticidad, en términos de Belli, 2004a).

Otros factores como los vientos son aparentemente menos protagonistas en el caso de climas ecuatoriales. No obstante, es importante tener en cuenta que el clima urbano tiene particularidades que lo hacen diferente del clima regional o del entorno rural de las ciudades; además, las variaciones que ocurren al interior de las zonas urbanas pueden influir de manera importante en el comportamiento de la vegetación.

Los espacios verdes urbanos, en muchos casos, no presentan los suelos originales porque estos fueron removidos o cubiertos por escombros durante la construcción de las obras civiles. Generalmente, estos suelos aparecen catalogados y cartografiados como conjuntos o misceláneos urbanos en los estudios de suelos regionales; no son categorizados en asociaciones, fases o clases agrológicas.

Sobre ellos pudo depositarse gran cantidad de material fino, piedras, fragmentos de ladrillos, etc., que luego se engramaron y arborizaron. Son suelos bastante compactados, y en ocasiones presentan mal drenaje, no solo por ser en cierta medida producto de depósitos, sino además por el pisoteo que causa el tránsito humano en épocas de lluvia (Brandáriz, 2013). La Figura 8 muestra el efecto del exceso de pisoteo y la carencia de adecuado manejo del suelo a nivel de estancia y tránsito de usuarios.

A lo anterior, en algunos casos, se suma la existencia de infraestructuras subterráneas (redes de acueducto, colectores de aguas residuales y pluviales, redes eléctricas, telefónicas, etc.) en las aceras o calles, lo que reduce el volumen de suelo disponible en profundidad para el desarrollo radicular (Iguíñiz, 2013).

Tanto los requerimientos edafológicos de las especies como las características de los suelos de las áreas verdes urbanas en las cuales se van a plantar los árboles deberían ser analizados para determinar su mayor o menor desajuste, como criterio de selección de la vegetación a

disponer allí. Esa información garantiza que se utilicen las especies mejor adaptadas a las condiciones existentes, lo cual contribuye a evitar las consecuencias negativas por los mayores costos de mantenimiento o el desarrollo de plantas poco saludables.



Figura 8.
Compactación de suelo en zonas verdes por pisoteo reiterativo y posibles problemas de drenaje.

🌿 Criterio 6. Seleccionar, disponer y manejar los elementos vegetales en los espacios verdes en la perspectiva de mejorar su funcionalidad ecológica y urbana

A este respecto, es importante hacer alusión, por una parte, a la cuestión de la naturalidad y funcionalidad ecológica del verde urbano, como un principio rector de la gestión de los espacios verdes; y, por otra, a la contribución que en tal sentido puede hacerse desde la selección y disposición de los elementos vegetales.

- **Naturalidad y funcionalidad ecológica en espacios verdes de la ciudad**

Tal como se anotó atrás, el verde urbano está llamado a cumplir funciones ambientales, sociales y de ornamentación o paisajismo. El reconocimiento de esa multifuncionalidad es, por lo tanto, un objetivo y un reto para su planificación y manejo.

Una mayor funcionalidad ecológica está asociada, en general, a mayor naturalidad de este componente urbano, y ello supone determinadas condiciones o caracte-

terísticas de la vegetación, en cuanto a su disposición, composición, estructuración espacial y manejo.

Qué tan naturales pueden ser las áreas verdes de la ciudad o cómo incrementar la naturalidad del verde, son cuestiones cuya definición específica es variable en función del tipo de las áreas y sus rasgos físico-bióticos y sociales; una búsqueda en la que es necesario avanzar desde la academia y las instituciones responsables en la perspectiva de una planificación y manejo del verde urbano con criterios de sustentabilidad ambiental.

De acuerdo con Hough (1998), se trata en muchos casos de replantear el modelo hortícola predominante en buena parte de las zonas verdes urbanas, caracterizado por su baja complejidad estructural (vertical y horizontal), a modo de "alfombra" de césped y jardín, con algunas especies arbóreas, de las cuales un porcentaje importante es introducido.

En concordancia con lo anterior, Livingston, Shaw & Harris (2003) consideran que la funcionalidad ecológica de los espacios verdes depende de determinadas condiciones de la vegetación que posibiliten una mayor o menor aptitud del hábitat para la vida silvestre: la cobertura vegetal total existente, el porcentaje de vegetación nativa, la diversidad estructural o de estratos vegetales y la presencia de cobertura vegetal de refugio (o sotobosque) para la fauna.

Esto significa que la naturalidad, como objetivo de los espacios verdes urbanos, no se traduce en el simple abandono para su enmalezamiento espontáneo, y tampoco se limita a una mera densificación arbórea de tales espacios.

Obviamente, los espacios en los cuales es importante explorar posibilidades, formas o niveles de naturalidad, en el caso de Medellín y el Valle de Aburrá, son en primer lugar algunas áreas de la estructura ecológica principal, tales como áreas protegidas, retiros de quebrada (especialmente los no canalizados), cerros tutelares y los principales nodos y enlaces de la red ecológica, la cual incluye las denominadas áreas de interés paisajístico y recreativo, como los clubes El Campestre y El Rodeo, y el Jardín Botánico, entre otras (Tabla 3).

Por lo visto ya en el numeral 1.4, en el caso de Medellín, muchas de estas áreas se definen a su vez como

la funcionalidad ecológica de los espacios verdes depende de determinadas condiciones de la vegetación que posibiliten la vida silvestre

ecoparques (ecoparques de quebrada y otros cuerpos de agua, ecoparques de cerro, ecoparques para la mitigación del riesgo y parques recreativos pasivos) (Tabla 2).

Pero no todos los espacios tienen igual potencial de naturalidad, como tampoco lo tiene toda el área de un cerro o ecoparque, en un caso dado. El propósito de inducir mayor naturalidad requiere el análisis de cada caso, tratando de compatibilizar en estas áreas funciones sociales y objetivos ambientales a través del diseño ecológico. La consideración de la vegetación ya existente en este tipo de espacios es un punto de partida importante en la tarea de potenciar o mantener condiciones de naturalidad y funcionalidad ecológica.

Tal como se dijo, la tipología del área, sus particularidades espaciales y su funcionalidad social posibilitan determinadas formas y niveles de naturalidad en el contexto urbano. Pero en cualquier caso, su implementación requiere de la educación e información de los ciudadanos y técnicos para el reconocimiento y aceptación de la naturaleza en la ciudad, teniendo en cuenta sus percepciones de seguridad respecto a los espacios con vegetación densa en ámbitos urbanos.

Plazas, plazuelas, parques cívicos, parques recreativos activos, áreas verdes integrantes de los sistemas de movilidad y áreas verdes en urbanizaciones cerradas ofrecen desde luego menores opciones de incorporación de naturalidad del verde, en razón de su mayor uso social y su menor proporción de área verde. No obstante, una adecuada selección y disposición de los elementos vegetales, así como su conectividad en el contexto urbano pueden contribuir a una mayor funcionalidad ecológica. En general, el manejo de todo el conjunto verde de la ciudad debe contribuir al propósito de reducir el déficit cualitativo señalado en el POT de Medellín y, por ende, a reducir la esterilidad o artificialidad de muchos espacios públicos o áreas verdes. La Figura 9 muestra dos modelos de jardín en relación con la naturalidad que plantean o conllevan.



Figura 9.

Diseño y composición de espacios verdes urbanos. A) Jardines de mayor artificialidad, corta duración y exigencia en manejo. B) Jardines con criterios de naturalidad y sustentabilidad.

- **Selección y disposición de los elementos vegetales atendiendo a criterios ecológicos, paisajísticos y a características espaciales de las áreas verdes urbanas**

La selección y disposición de árboles, palmas, arbustos y herbáceas en los espacios verdes urbanos deberá estar condicionada, como se vio en numerales anteriores, a los factores físico-bióticos existentes y a los requerimientos ecológicos de las especies; pero a su vez, a las características espaciales de las áreas donde serán establecidos: plazas, parques cívicos, ecoparques, retiros de quebradas, calles, separadores viales, etc.

Cada una de las tipologías de espacio público presenta determinadas limitaciones y opciones de arborización o enverdecimiento que responden a sus características de tamaño, forma del terreno, profundidad del suelo, existencia de infraestructura, dinámica urbana y uso social, actual o previsto.

En cualquier tipo de espacio, un aspecto clave de la gestión de un arbolado saludable en la ciudad es, como lo señala Iguiñiz (2013), la definición y manejo de la densidad de plantación, un factor importante para hacer posible el desarrollo adecuado de las plantas y, con ello, de sus atributos ambientales, ornamentales, paisajísticos. Pero es necesario agregar aquí que no solo se trata de la densidad para el árbol en sí mismo, sino de la densidad (o densidades) de la vegetación en los espacios verdes, atendiendo al tipo de áreas o paisajes que se quiera configurar o al uso social que se desea lograr allí (espacios o áreas representativas de bosques, arboledas, sabanas o praderas; o bien, plazas- parque, cubiertas verdes...). A tales efectos, seguidamente se presentan algunas consideraciones sobre la selección y disposición de la vegetación en distintos espacios urbanos; no obstante, un análisis complementario de este tema se presenta en el capítulo 4 de este libro.

La disposición de árboles y arbustos forma alineaciones asociadas al sistema vial (separadores, franjas verdes contiguas a las vías, antejardines, etc.), configura el denominado arbolado callejero (el arbolado acompañante de la calle, del diseño urbano, de peatones, de residencias, comercio e instituciones). Aunque el arbolado de las calles presta importantes servicios en el paisaje urbano, como ornamentación (calidad visual), confort climático y captura de CO₂, probablemente cumple menos funciones ecológicas en comparación con la vegetación de parques y otras áreas espacialmente más amplias. Pero una adecuada selección de las especies, tanto por sus características morfológicas como por constituir refugio o proveer alimento para aves, incrementa su potencialidad o su función ambiental, especialmente en calles con menor tráfico vehicular (EIN Consultoría y Gestión, 2005).

De acuerdo con Iguiñiz (2013), este es el arbolado que mayores conflictos genera, ya sea por la localización específica que presenta uno u otro individuo arbóreo o por determinadas características de algunas especies.

Distintos aspectos conflictivos condicionan el tipo de elementos vegetales, su ubicación y densidad. En primer lugar, hay que admitir que la creación de alcorques adecuados a las características de la raíz y tronco del árbol es un requisito necesario para su normal desa-

rollo y estabilidad, pero no es la única consideración de selección y establecimiento de especies en torno a las vías, o en plazas y parques cívicos.

Los rasgos morfológicos y funcionales de las especies vegetales (altura total y de ramificación, diámetro de copa y del tronco, caducidad de follaje, etc.) se convierten también en condicionantes para su uso, especialmente en antejardines, calles y separadores viales. En otras palabras, las particularidades de estos espacios lineales y su entorno inmediato (amplitud de las aceras, tipo e intensidad del tráfico, proximidad y tipo de construcciones aledañas, existencia de redes o infraestructuras aéreas y subterráneas, flujo peatonal y tipo y disponibilidad de suelo o sustrato, en profundidad y en superficie) limitan la aptitud de una u otra especie para su establecimiento en esos sitios. Incluso, es pertinente admitir, siguiendo a EIN Consultoría y Gestión (2005), que no en todos los casos se podrán plantar árboles; es probable que en un alto porcentaje de estos espacios lineales en Medellín y el Valle de Aburrá sea más adecuado el establecimiento de árboles de talla mediana y de arbustos.

Adicionalmente, a la cuestión del tamaño de los espacios y de las especies, la disposición del arbolado callejero debe considerar que no todas las plantas presentan el mismo grado de resistencia frente a la polución atmosférica, un aspecto para tener en cuenta en los espacios verdes de zonas industriales o de vías de alto tránsito vehicular; así mismo, algunas especies poseen características físicas o fisiológicas que pueden restringir su establecimiento en determinados espacios y usos sociales o urbanos (existencia de espinas relativamente peligrosas, producción de frutos grandes o tóxicos, sustancias manchosas, resbaladizas o irritantes, emisión de polen alergógeno, malos olores, etc.) (Sánchez, 2005).

El diseño de senderos verdes o el establecimiento de hileras de arbustos densos y podados a lo largo de las aceras, a modo de setos o pantallas vegetales, debe ser previamente evaluado en cuanto a sus posibles implicaciones en términos de visibilidad y seguridad de los usuarios, como una condición de funcionalidad social (Vélez, 2009). En efecto, la impermeabilidad visual y el ocultamiento que tales setos producen respecto al entorno, incrementan las condiciones de inseguridad

para el peatón y reduce su percepción de seguridad, lo cual le genera una experiencia negativa de aislamiento, pues tales cerramientos eliminan las opciones u oportunidades para libre movimiento o escape en caso de amenaza (Luymes & Tamminga, 1995) (Figura 10).



Figura 10.
Alineación de arbustos densos a modo de seto o pantallas vegetales continuas: efecto negativo de cerramiento, ocultamiento y aislamiento del peatón.

A diferencia del arbolado situado en torno a construcciones, aceras y ejes viales en general, los elementos vegetales existentes en parques, cerros y otras áreas verdes relativamente amplias están sometidos a menor presión (en suelo y copa). Esta aparente mayor disponibilidad de área permite en muchos casos que los individuos arbóreos alcancen un mayor desarrollo, mejores características de forma y menor perturbación por podas, tránsito y estacionamiento (Iguíñiz, 2013).

Lo anterior sugiere que es en este tipo de espacios donde tienen mayor viabilidad las especies vegetales de gran tamaño, al igual que mayores densidades de plantación o agrupaciones como arboledas y bosques urbanos. Entre tales tipos de espacios están los eco-parques de cerro y de quebrada, parques recreativos pasivos, así como otras áreas de la estructura ecológica principal: áreas protegidas metropolitanas, áreas de interés recreativo y paisajístico (Club Campestre, Club

El Rodeo, Jardín Botánico, etc.) y otros grandes nodos de la red ecológica, en el caso de Medellín y el Valle de Aburrá.

La cuestión de la densidad, ya indicada arriba, se convierte también, en estos espacios, en un reto clave para el desarrollo completo de los árboles y del diseño paisajístico. Un reto cuya resolución no es tarea sencilla, debido a la tradición de manejo del árbol urbano como individuo, no como parte de una "comunidad", agrupación, conjunto o tipo de paisaje.

Desde el punto de vista técnico, el control de la densidad en las agrupaciones de árboles en dichas áreas supone la definición de una cierta distancia de plantación, al igual que la intervención paulatina de los individuos arbóreos (prácticas silviculturales y manejo, lo cual se describe en el capítulo 5 de este libro). Así mismo, más que un incremento de la diversidad *per se*, se busca la generación de comunidades de plantas compatibles ecológicamente y funcionales o adaptadas a las condiciones físicas y bióticas del lugar.

En sentido cualitativo, el manejo de la densidad de los elementos vegetales en el diseño del verde urbano está asociado a la función ecológica y a los propósitos sociales (estancia, circulación, contemplación, recreación activa, recreación pasiva, conservación) planteados para los distintos espacios o para las distintas áreas dentro de un mismo espacio. Así por ejemplo, la Figura 11 esquematiza distintos arreglos espaciales posibles de los elementos vegetales en el diseño de espacios verdes.

Las áreas con predominio de pastos o césped y algunos árboles dispersos (como praderas y sabanas urbanas) admiten o sugieren un mayor uso social y recreativo; mientras que áreas o fragmentos de arboledas densas con o sin "sotobosque" diseñado (bosques urbanos), al igual que fragmentos de vegetación no manejada (rastros altos y bajos), posibilitan la recreación pasiva, la educación ambiental y propósitos específicos de conservación. En este sentido, la Figura 12 muestra diferentes opciones o paisajes verdes al interior de un parque metropolitano (Parque Metropolitano Simón Bolívar, Bogotá), los cuales conllevan distintos niveles de densidad del componente arbóreo y diferentes ofertas ambientales y recreativas a los usuarios.

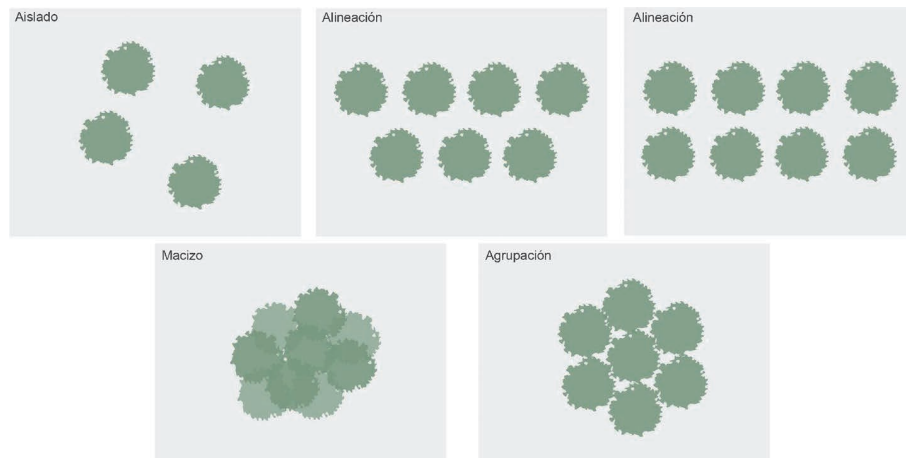


Figura 11. Posibles disposiciones o arreglos espaciales horizontales de los elementos vegetales en los espacios verdes.

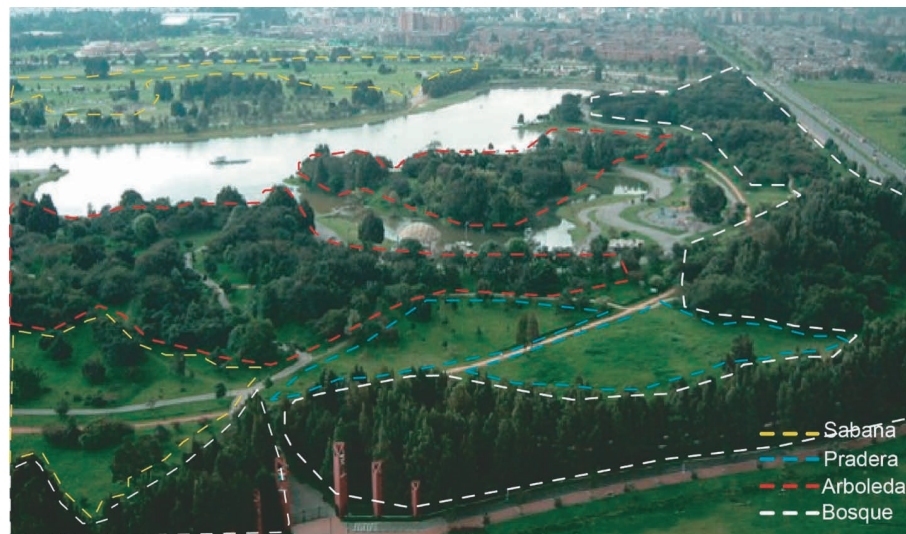


Figura 12. Conceptualización y configuración de paisajes verdes en los parques, a partir del manejo de la densidad o la disposición espacial de los elementos vegetales: ambientes de praderas, sabanas, arboledas, bosques. Espacios con distintas funciones ecológicas y sociales. Parque Simón Bolívar, Bogotá.
Fuente: <http://portel.bogota.gov.co/vis/public%20simon%20bolivar/parque%20simon%20bolivar.html>

Los jardines o macizos de herbáceas con fines ornamentales (cubresuelos o tapizantes), dentro o fuera de las anteriores áreas, pueden complementar funciones de protección del suelo y de la biodiversidad, además de enriquecer visual y paisajísticamente las áreas verdes y la ciudad en general (Figura 13).



Figura 13. Herbáceas ornamentales de sombra, a modo de "sotobosque" o tapizante en arboledas urbanas. Protección del suelo y más posibilidades de hábitat para la fauna urbana.

Finalmente, es importante hacer referencia a las glorietas o rotondas, las cuales tradicionalmente no han sido consideradas como espacios para ser usados por peatones, dada su localización como cruce de vías importantes. Esa ubicación sugiere, por lo general, mantener condiciones adecuadas de visibilidad a través de ellas desde y hacia su entorno inmediato, con lo cual su vegetación debería ser fundamentalmente de herbáceas ornamentales, atendiendo a criterios de una jardinería ecológica sin especies altamente demandantes de manejo o que presenten riesgo potencial fitosanitario o de invasión [EIN Consultoría y Gestión, 2005; Vélez & Herrera, 2015]. En algunos casos, pueden establecerse árboles o palmas, cuyas características morfológicas posibiliten una adecuada visibilidad y no supongan un riesgo para la movilidad vehicular. Ello teniendo en cuenta, además, que se trata de espacios de carácter provisional, que probablemente serán sustituidos en el mediano plazo por viaductos o pasos deprimidos.

Otras zonas verdes de los intercambios viales, como las denominadas "orejas" de puentes, complementarias al sistema vial, tampoco suelen diseñarse para acoger público, por su carácter intersticial o residual; pero son más estables o duraderas que las glorietas en cuanto a su permanencia a través del tiempo; por lo tanto admiten un arbolado más denso, al menos en su área central o interior, con especies de mayor magnitud respecto al arbolado callejero.

Por otra parte, los grandes espacios verdes urbanos ameritan una mayor naturalidad en la estructura y composición de su vegetación (Kendle & Forbes, 1997). Se trata especialmente de los ecoparques, áreas protegidas, nodos y enlaces de red, áreas de interés recreativo y paisajístico, etc.; es decir, parques regionales, metropolitanos, ambientales, parques de borde, áreas protegidas, cerros tutelares, jardines botánicos, clubes campestres, áreas verdes de instituciones educativas y algunos lotes sin urbanizar con potencial de conservación o de espacio público. En ellos la gestión del verde debe ante todo reconocerlos como ecosistemas urbanos de gran funcionalidad y velar por mantener importantes fragmentos de vegetación boscosa o arbustiva, puesto que además se constituyen en áreas para la educación y el contacto ciudadano con la naturaleza en la ciudad. Sin embargo, todos los espacios verdes en la ciudad, incluidas las zonas verdes del sistema vial, de las urbanizaciones, al igual que los parques barriales deben contribuir en alguna medida a los objetivos de la sustentabilidad urbana.

1.6. REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2005). *Plan Maestro de Espacio Público de Bogotá D.C.: Documento técnico de soporte*. Departamento Administrativo de Planeación Distrital.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). *Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Belli, P. E. (2004a). El componente vegetal del diseño. En P. E. Belli & A. H. Benassi (Eds.), *Planeamiento paisajista y medio ambiente*. Tomo I (pp. 123- 148). Buenos Aires: Belli & Benassi Editores.
- Belli, P. E. (2004b). Génesis del diseño paisajista. En P. E. Belli & A. H. Benassi (Eds.), *Planeamiento paisajista y medio ambiente*. Tomo I (pp. 14-28). Buenos Aires: Belli & Benassi Editores.
- Belli, P. E. (2004c). El césped, área del diseño. En P. E. Belli & A. H. Benassi (Eds.), *Planeamiento paisajista y medio ambiente*. Tomo III (pp. 21-61). Buenos Aires: Belli & Benassi Editores.
- Brandáriz, G. (2013). *Espacios verdes urbanos*. Buenos Aires: Universidad del Salvador.
- Colombia, Congreso de la República. Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989 y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones.
- Colombia, Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2012). *Proceso metodológico y aplicación para la definición de la estructura ecológica nacional: Énfasis en servicios ecosistémicos - escala 1:500.000. Documento síntesis*. Bogotá: IDEAM.
- Colombia, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Decreto 3600 de 2007. Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.
- Colombia, Presidencia de la República. Decreto 1504 de 1998. Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los Planes de Ordenamiento Territorial.
- Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda. (2005). *Diseño de áreas verdes en desarrollos habitacionales*. México: Conafovi.
- Cranz, G., & Boland, M. (2004). Defining the Sustainable Park: A Fifth Model for Urban Parks. *Landscape Journal*, 23(2), 102-120. doi:10.3368/lj.23.2.102
- Dramstad, W., Olson, J. D., & Forman, R. (1996). *Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning*. Washington: Island Press.
- EIN Consultoría y Gestión. (2005). *Guía para la elaboración y el diseño de criterios de jardinería sostenible en los municipios de la Red NELS*. Tudela: Gobierno de Navarra.
- Falcón, A. (2007). *Espacios verdes para una ciudad sostenible: planificación, proyecto, mantenimiento y gestión*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Forman, R. T. T. (1995). *Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad*. Barcelona: Gustavo Gili.

- Hoyos, C. H. (2010). Gestión del paisaje en el Valle de Aburrá: hacia la conservación de la naturaleza en la ciudad. En M. Hermelin, A. Echeverri, & J. Giraldo (Eds.), *Medellín: medio ambiente, urbanismo y sociedad* (pp. 74-94). Medellín: Fondo Editorial Universidad Eafit.
- Iguñiz, G. (2013). *Conocer para cuidar: árboles en la ciudad*. Segovia: Ayuntamiento de Segovia.
- Kendle, T., & Forbes, S. (1997). *Urban nature conservation: Landscape management in the urban countryside*. London: Chapman & Hall.
- Lawrence, H. W. (1995). Changing forms and persistent values: Historical Perspectives on the urban forest. En G. A. Bradley (Ed.), *Urban forest landscapes: Integrating multidisciplinary perspectives* (pp. 17-40). Seattle: University of Washington Press.
- Livingston, M., Shaw, W. W., & Harris, L. K. (2003). A Model for assessing wildlife habitats in urban landscapes of Eastern Pima County, Arizona (USA). *Landscape and Urban Planning*, 64(3), 131-144. doi:10.1016/S0169-2046(02)00217-7
- Luyms, D. T., & Tamminga, K. (1995). Integrating public safety and use into planning urban greenways *Landscape and Urban Planning*, 33(1-3), 391-400.
- Martínez, A. (1999). *El papel ecológico de los corredores en la planificación territorial* (Tesis de grado Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma de Madrid).
- Municipio de Medellín. Plan de Ordenamiento Territorial, Acuerdo 48 de 2014. Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias.
- Pérez, R., & Talavera, R. (2008). "Verde urbano" y calidad ambiental: claves para una intervención más sostenible en el espacio urbano. En *XI Congreso Nacional del Medio Ambiente: Cumbre del Desarrollo Sostenible*. Madrid: Fundación Conama.
- Platt, R. H. (1994). From commons to commons: Evolving concepts of open space in north american cities. En R. H. Platt, R. A. Rowntree, & P. C. Muick (Eds.), *The ecological city: Preserving and restoring urban biodiversity* (pp. 21-40). Amherst: University of Massachusetts Press.
- Restrepo, M. M. (2009). *Análisis multiexperto para la intervención de corredores verdes urbanos: caso de estudio en un área pública asociada a un corredor de influencia hídrica en la ciudad de Medellín-Colombia* (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia).
- Reyes, I., & Gutiérrez, J. J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera*, 12(1), 96-102.
- Rivas, D. (2005). *Planeación, Espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal* (Tesis de doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana).
- Sánchez, J. M. (2005). *Criterios de selección de la flora ornamental de áreas verdes*. Recuperado de <http://www.arbolesornamentales.es/criteriosseleccion.htm>
- Tella, G., & Potocko, A. (2009). Los espacios verdes públicos: una delicada articulación entre demanda y posibilidades efectivas. *Mercado & Empresas*, 55, 40-55.
- Terradas, J. (2001). *Ecología urbana*. Barcelona: Rubes.
- Uribe, E. (1998). Enverdecimiento urbano en Colombia. En L. Krishnamurthy & J. R. Nascimento (Eds.), *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe* (pp. 253-304). Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo.
- Vélez, L. A. (2007). La conservación de la naturaleza urbana: un nuevo reto en la gestión ambiental de las ciudades para el siglo XXI. *Bitácora*, 11(1), 20-27.
- Vélez, L. A. (2009). Del parque urbano al parque sostenible: bases conceptuales y analíticas para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbanos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43, 31-49.
- Vélez, L. A., & Herrera, M. (2015). Jardines ornamentales urbanos contemporáneos: transnacionalización, paisajismo y biodiversidad. Un estudio exploratorio en Medellín, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 68(1), 7557-7568.



Tangara rastrojera (*Tangara vitriolina*)



2. CONECTIVIDAD ECOLÓGICA COMO ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN PAISAJES METROPOLITANOS

Claudia Helena Hoyos

Área Metropolitana del Valle de Aburrá
claudia.hoyos@metropol.gov.co

Luis Aníbal Vélez


Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
lavelez@unal.edu.co

José Fernando Navarro

Universidad de Antioquia
jfnavarrop@yahoo.com.mx

Cristian David Ramírez

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
davidsord2015@gmail.com


*la naturaleza
también está
presente en las
ciudades, la noción
de ecosistema es
necesaria para su
gestión*

2.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo recopila algunos conceptos y elementos relacionados con la fragmentación del paisaje en áreas urbanas, la cual se ha convertido en una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en muchos otros ecosistemas terrestres. Así

las ciudades como los ecosistemas están delimitadas por ambientes de entrada y salida y por relaciones ecológicas con el entorno natural

mismo, se presentan estrategias para la identificación y gestión de las redes ecológicas urbanas como parte de la solución a los problemas ambientales asociados a la expansión de las ciudades y a la fragmentación del verde, toda vez que posibilitan que los hábitats amenazados y las poblaciones naturales puedan sobrevivir en un ambiente hostil como el urbano. Finalmente, se aborda la integración de criterios de conectividad ecológica en los instrumentos de planificación ambiental y ordenamiento territorial, con el objeto de mejorar la articulación y eficacia de las políticas y acciones en torno a la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en la ciudad.

En Colombia, los centros urbanos ya establecidos se hacen cada vez más grandes y complejos, lo que implica que las ciudades están teniendo más contacto (e impacto) con las zonas periurbanas y rurales y sus ecosistemas naturales, los cuales terminan transformándose, aislándose unos de otros o fusionándose al tejido urbano. Puesto que la naturaleza también está presente en las ciudades, la noción de ecosistema es necesaria para su gestión; en consecuencia, las ciudades como los ecosistemas están delimitadas por ambientes de entrada y salida y por relaciones ecológicas con el entorno natural que existe más allá de lo urbano, por lo cual trascienden sus límites.

La gestión activa de los espacios verdes ha cobrado una importancia vital para la conservación de los remanentes de biodiversidad en las ciudades, así como para el mantenimiento de áreas que aportan múltiples servicios ecosistémicos a sus habitantes. En este contexto, las redes ecológicas pueden proporcionar una solución a los problemas de intensificación de usos del suelo y a la fragmentación del paisaje. Por lo anterior, es cada vez mayor el énfasis que se otorga a medidas como el establecimiento o restauración de corredores biológicos y otros elementos conectores, los cuales permiten la permeabilización del territorio y la mitigación del efecto barrera que generan las construcciones, vías, redes de servicios e infraestructura en general sobre la fauna silvestre. La gestión de redes ecológicas en áreas urbanas ha estado ligada, por lo general, al problema de la conectividad de los espacios verdes entre sí y de estos con los ecosistemas naturales o de protección en las áreas periurbanas y rurales, no solo como una estrategia de reducción de la fragmentación, sino también para orientar la expansión urbana hacia formas de menor impacto en la biodiversidad y mayor sustentabilidad del paisaje.

Además de las redes funcionales, tanto a nivel espacial como ecológico, se requiere la combinación de aspectos ambientales y sociales para propiciar no solo el bienestar humano, sino también los valores asociados a la biodiversidad de especies locales. Ello

requiere que los planificadores del territorio, los científicos y profesionales del campo de la conservación participen conjuntamente en la formulación de estrategias de manejo y reducción de los impactos negativos del uso de la tierra. Esto significa que la planificación y el diseño de redes o corredores verdes están necesariamente enmarcados en los ámbitos de la gestión ambiental, la ordenación territorial y la planeación urbana. Su proyección e implementación requieren procesos técnicos y transformaciones urbanísticas o de usos del suelo, cuya materialización demanda el concurso de entidades públicas, privadas y, por supuesto, de las comunidades.

En síntesis, la conectividad ecológica del verde en el paisaje metropolitano constituye no solo un propósito para la biodiversidad en sí misma, sino una estrategia de planificación urbana y territorial en la perspectiva ambiental: un referente conceptual y técnico del enverdecimiento del paisaje urbano; un criterio de regulación del proyecto de ciudad compacta; y una infraestructura verde frente a la variabilidad y cambio climático.

2.2. LA FRAGMENTACIÓN DE LOS ESPACIOS VERDES URBANOS COMO LIMITANTE DE SU FUNCIÓN ECOLÓGICA Y SOCIAL

Tal como se anotó en el capítulo 1, entre los problemas ambientales de los espacios verdes urbanos en términos de artificialidad o esterilidad ecológica, contaminación y déficit cuantitativo, hay que hacer referencia a la fragmentación y aislamiento que caracteriza a buena parte de ellos en las ciudades.

Fragmentación es un término utilizado por diversos autores para referirse a la pérdida y aislamiento de un hábitat debido al uso humano del paisaje. En otras palabras, es el resultado de los procesos de ocupación de la tierra y modificación de las coberturas vegetales naturales por causa de las actividades productivas y la construcción de infraestructuras. En efecto, la deforestación de tierras para cultivos y pastizales, así como la construcción de vías, equipamientos y asentamientos humanos han modificado los grandes paisajes, hábitats o áreas boscosas naturales en paisajes configurados por fragmentos de distinto tipo (bosques, cultivos, pastos, etc.). En ese contexto de transformación, las áreas boscosas quedaron, por lo general, como piezas o fragmentos pequeños, inmersos o embebidos en un nuevo hábitat o cobertura, que domina cuantitativa y cualitativamente el paisaje: usualmente, una matriz formada por pastos, cultivos, rastrojos, urbanizaciones

y corredores hídricos, viales o de otro tipo de infraestructura (Forman & Godron, 1986; Lindenmayer & Fischer, 2006; García, 2011).

Así, los bosques o hábitats naturales no solo suelen quedar reducidos en su tamaño, sino aislados entre sí (McGarigal & Marks, 1995). Desde la perspectiva de la ecología del paisaje, esos cambios en la estructura espacial y en su composición conllevan cambios en el funcionamiento ecológico (Forman, 1995). En primer lugar, disminuyen espacialmente los hábitats, con lo cual simplifican y homogenizan la composición de especies; así mismo, desregulan los sistemas hidrológicos, modifican los flujos de energía y los ciclos de nutrientes (Alberti et al., 2003), alteran el microclima y la calidad del aire al afectar la permeabilidad del suelo y generar grandes cantidades de calor (Arnold & Gibbons, 1996; Paul & Meyer, 2001). La estructura espacial de los paisajes fragmentados puede ser interpretada como un mosaico de usos del suelo (secuencia de fragmentos o parches de distinto uso o cobertura), o como un determinado patrón espacial de elementos tipo parche o fragmento-corredor-matriz (Forman, 1995), en el cual los parches y corredores pueden ser de diferente cobertura (Figura 1).

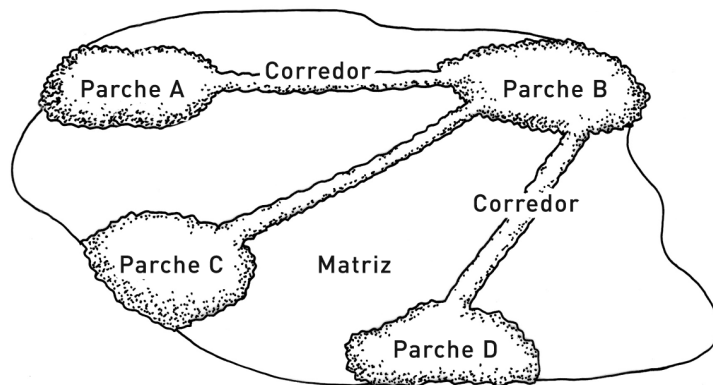


Figura 1. Representación de un paisaje compuesto por una matriz (la característica dominante), los parches o fragmentos y los corredores que los conectan. Fuente: elaborado con base en Barnes (2008).

Los fragmentos o parches son superficies no lineales que varían en forma, tamaño y tipo, en los cuales es posible diferenciar un área de interior y un borde o franja de transición (ecotono) como

su porción más externa. A su vez, los corredores se conciben como estrechas fajas de hábitats diferentes al entorno, a través de las cuales fluyen especies animales y vegetales, recursos hídricos, minerales, sedimentos, etc.; son de longitud variable y atraviesan la matriz circundante, pudiendo aparecer aislados en el paisaje o bien como conectores entre otros componentes (Forman & Godron, 1986); cumplen un papel fundamental en la calidad del paisaje y en el mantenimiento de la conectividad (Anderson & Danielson, 1997; Burel & Baudry, 1995) y pueden ser de tipo u origen natural o creados por el hombre (Etter, 1991). Por su parte, la matriz se considera el elemento espacial dominante más extenso e interconectado en el que quedan embebidos el resto de componentes y el que, por lo tanto, controla en mayor grado la dinámica del paisaje (Etter, 1991; Forman, 1995; Forman y Godron, 1986) (Figura 2).

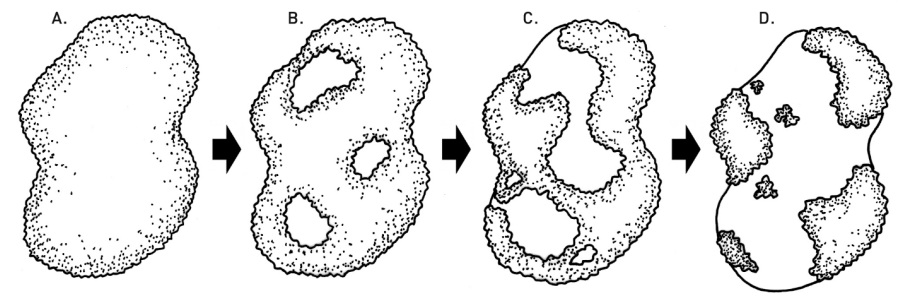


Figura 2. Estados de creciente fragmentación del paisaje: a menor tamaño de los fragmentos, mayor área de borde.

De manera análoga, el paisaje urbano es el resultado de procesos de ocupación y transformación de la tierra; más específicamente de la urbanización, a través de la cual los espacios verdes de la ciudad (incluyendo los lotes no construidos) fueron quedando como pequeños fragmentos dispersos y aislados. En consecuencia, la ciudad no solo constituye un gran factor de fragmentación de paisajes a nivel regional debido a sus dinámicas de expansión urbana, sino que es en su interior, un paisaje fragmentado. En tal sentido, el paisaje urbano ha sido definido como una matriz antrópica conformada fundamentalmente por bloques de edificaciones y corredores o líneas, en la cual está inmerso un conjunto de fragmentos verdes, dispersos como islas en un océano de cemento de varios kilómetros de extensión (Forman, 1995) (Figura 3).



Figura 3.
Componentes del paisaje en la ciudad: parches o fragmentos y corredores inmersos en una matriz urbana

La ciudad actual contiene una gran variedad de especies animales que habitan o hacen uso del espacio

Esta característica de aislamiento de los espacios verdes urbanos, unida a sus condiciones de menor tamaño y formas inadecuadas, en muchos casos, se convierte en un limitante para su funcionalidad ecológica y social. En relación con lo primero, hay que anotar que la fragmentación, entendida como aislamiento y reducción del tamaño de los parches, afecta las relaciones entre hábitats (o áreas verdes en este caso); es decir, impide los flujos bióticos y abióticos que deben darse en el paisaje (movimiento de especies, materia y energía entre los parches o fragmentos de vegetación). Esa limitación constituye en última instancia una amenaza para la biodiversidad en la ciudad y su periferia, especialmente para la fauna urbana no doméstica, integrada por especies de aves, reptiles, pequeños mamíferos, insectos, etc., que no obstante la hostilidad de la matriz urbana, sobreviven y cumplen funciones ecológicas en el paisaje, para lo cual requieren conectividad, flujos e intercambios.

Pese a su artificialidad, la ciudad actual contiene una gran variedad de especies animales que habitan o hacen uso del espacio; se trata de fauna adaptada a estas condiciones adversas, pero que requiere de hábitats y posibilidades de obtención de alimento y refugio. De hecho, la gran biodiversidad registrada en los ecosistemas naturales rurales y periurbanos que existen en el Valle de Aburrá (Tabla 1) y en Medellín, pone de manifiesto no solo su gran resiliencia ante las perturbaciones y las presiones asociadas al

desarrollo urbano, sino su importante valor ecológico como parte de la naturaleza en la ciudad y como fuente de servicios ambientales para los pobladores (Parque Explora - Alcaldía de Medellín, 2015).

Tabla 1.
Biodiversidad registrada en Medellín y el Valle de Aburrá
Fuente: Parque Explora - Alcaldía de Medellín (2015).

Grupo taxonómico	Valle de Aburrá		Municipio de Medellín	
	Registros	Número de especies	Registros	Número de especies
Aves	5629	853	2333	485
Mamíferos	1304	100	665	76
Anfibios y reptiles	2167	44	1144	74
Insectos	12305	1751	5920	1346
Plantas vasculares		2388*	8200	2603

*El total de especies para el Valle de Aburrá es menor que el registrado para Medellín, ya que no incluye el censo del arbolado urbano. Comunicación personal con Álvaro Cogollo, Jardín Botánico de Medellín

La fauna silvestre que sobrevive en la ciudad ha tenido que adaptarse a determinados cambios en sus hábitats, y depende, por tanto, de sus estrategias y oportunidades para conseguir el alimento; incluso termina modificando radicalmente sus hábitos alimenticios. Así, la capacidad de adaptación se convierte en una estrategia para la supervivencia de muchas especies en un medio ambiente profundamente transformado (Sierra, 2011). En esencia, el éxito de las especies de fauna nativa en ambientes urbanos depende principalmente de tres importantes factores: 1) su habilidad de adaptarse a un nuevo hábitat compuesto de especies de plantas en mayor proporción foráneas, el cual constituye una restricción en la oferta de alimento y de refugio; 2) su resistencia a las enfermedades diseminadas por las especies introducidas y 3) la posibilidad de que sus poblaciones puedan enfrentar la competencia por recursos con animales domésticos y seres humanos o la acción depredadora de ambos (Tarifa et al., 2004).

Así mismo, la sensibilidad de los organismos a la fragmentación depende no solo de su grado de especialización de hábitat y de sus requerimientos ecológicos, sino también de la movilidad que tengan a través del paisaje. Si bien las plantas poseen medios eficaces de dispersión y satisfacen sus necesidades vitales en el área inmediata donde se asientan, para la fauna silvestre la capacidad de desplazamiento a través del territorio es un factor clave

para acceder a los recursos necesarios para sus funciones vitales. Las especies han de ser capaces de realizar movimientos estacionales y extraterritoriales, como es el caso de individuos juveniles que deben acceder a nuevos territorios en los cuales asentarse. Estos movimientos exploratorios de dispersión resultan fundamentales para mantener el intercambio genético entre distintas subpoblaciones y para permitir la colonización o recolonización de sitios disponibles (Gurrutxaga, 2004).

Uno de los impactos generados por la fragmentación asociada a las autopistas y otras infraestructuras lineales en paisajes urbanos, periurbanos y rurales es el atropellamiento de animales por vehículos, o su electrocución con cables aéreos de alta tensión. La reducción de los hábitats, así como la interrupción de los corredores naturales de movilidad para la fauna inducen a los animales a cruzar carreteras, autopistas, avenidas y cables aéreos de energía en busca de alimento e intercambio genético, lo que acarrea la pérdida de individuos y especies, generalmente mamíferos y reptiles.

Tabla 2.

Especies de mamíferos atropellados en el Valle de Aburrá
Fuente: Delgado-Vélez (2007 y 2014).

Taxón	Nombre común
Didelphimorphia	
<i>Didelphis marsupialis</i>	Chucha común
<i>Didelphis pernigra</i>	Chucha de orejas blancas
<i>Chironectes minimus</i>	Chucha de agua
Carnivora	
<i>Nasua olivacea</i>	Cusumbo mocoso
<i>Cerdocyon thous</i>	Zorro perro
<i>Leopardus tigrinus</i>	Tigrillo lanudo
<i>Puma yagouaroundi</i>	Jaguarundi
<i>Mustela frenata</i>	Comadreja
<i>Bassaricyon neblina</i>	Olinguito
<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla
Rodentia	
<i>Coendou rufescens</i>	Puerco espín
Roedores no identificados	
Lagomorpha	
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Liebre

Para el Valle de Aburrá se han registrado casos de atropellamiento en por lo menos 15 especies de mamíferos, entre las cuales se encuentran felinos, zarigüeyas, zorros perros, olingos, comadrejas y ardillas (Tabla 2, Figuras 4 y 5). Algunas de estas especies, como la lechuza (*Tyto alba*), presentan incluso notables tasas de mortalidad (Fajardo, 1990; Illana & Paniagua, 1998). Se asume que más del 50 % de la diversidad de mamíferos del sector suroriental del Valle de Aburrá, muere por colisiones con automóviles (Delgado-Vélez, 2014); estas estadísticas ponen de manifiesto la necesidad de iniciar acciones urgentes para reducir estos impactos.



Figura 4.

Atropellamiento del tigrillo lanudo o peludo (*Leopardus tigrinus*), en vía de conexión urbano-rural (Las Palmas) del municipio de Medellín, en febrero de 2008. Fuente: www.aburranatural.org



Figura 5.

Zorro perro (*Cerdocyon thous*) atropellado en la Avenida Las Vegas, municipio de Envigado (Sur del Valle de Aburrá), en febrero de 2014. Fuente: www.aburranatural.org

Por otra parte, la mortalidad de especies por electrocución tiene características similares a los atropellamientos en las vías, ya

que supone la pérdida de un enorme número de individuos, lo que constituye una de las principales amenazas para su conservación, especialmente de mamíferos arborícolas (primates y ardillas), mamíferos voladores (murciélagos), avifauna y, en menor proporción, reptiles y anfibios (Rowden, Steinhardt & Sheehan, 2008). No obstante, estos impactos son aún pobremente comprendidos y los reportes deben ser considerados como una muestra superficial de la magnitud real del problema, principalmente por las pérdidas económicas asociadas a los cortes de electricidad y la importancia ecológica de las especies afectadas.

Según se mencionó, la fragmentación limita también la funcionalidad social del verde urbano, en la medida en que el menor tamaño de los espacios y su desconexión física dificulta la configuración de un sistema integrado de espacios verdes públicos para los ciudadanos. La estructura espacial de las áreas verdes en la ciudad, caracterizada predominantemente por los “parques isla” y parques lineales inconexos, no previó la configuración de corredores verdes conectores de parques y, menos aún, la generación de circuitos o redes que, además de sus funciones ecológicas, posibilitaran una mayor accesibilidad a los espacios y su uso para la contemplación y el contacto con la naturaleza, así como para el senderismo urbano como estrategia de recreación, educación y gestión ambiental, cuestiones a las que volveremos más adelante (Figura 6).



Figura 6.
Presencia de “parques isla” en el municipio de Bello.
Fuente: Tomado de Google Earth en 2015.

2.3. DE LA FRAGMENTACIÓN A LA CONECTIVIDAD. EL ROL DE LAS REDES ECOLÓGICAS

Desde el punto de vista ecológico, el término conectividad se refiere a la capacidad que tiene un paisaje de mantener el movimiento de organismos, genes, materiales o energía a través de él. Implica el enlace o nexo entre parches o fragmentos de hábitat, así como entre especies, comunidades y procesos ecológicos a diferentes escalas espaciales y temporales (Noss, 1991). La conectividad como objeto de estudio remite a la ecología del paisaje, cuya escala de análisis y consideración esencial son los movimientos y flujos entre ecosistemas; para ello se basa en la hipótesis de que los patrones espaciales influyen las características y procesos ecológicos (Zonneveld, 1995; Forman, 1995). Así, el reconocimiento de relaciones entre ecosistemas o hábitats supone admitir que los hábitats de un territorio no se encuentran espacialmente aislados ni son cerrados, y que, por el contrario, participan en procesos de intercambio y apoyo, y estructuran relaciones productivas de gran complejidad entre ellos (Echániz, 2006). Entender la clave de los flujos y movimientos en el paisaje es, por lo tanto, una base fundamental para planificar o gestionar su configuración espacial óptima en una región o área determinada (Forman, 1995) (Figura 7).



Figura 7.
Componentes del paisaje urbano y periurbano en el sector centro oriental del municipio de Medellín.

La conectividad puede ser reconocida como estructural o funcional. La primera está basada fundamentalmente en las características físico-bióticas del paisaje, especialmente en la existencia de corredores continuos de vegetación entre fragmentos de bosques o hábitats, sin guardar relación directa con atributos de comportamiento de los organismos (Green, 1994; With, Gardner, & Turner, 1997; Metzger & Décamps, 1997; Girvetz & Greco, 2007). Por su parte, la conectividad funcional considera las respuestas del comportamiento de los organismos a los elementos individuales del entorno, como los bordes y los parches, y la configuración espacial del paisaje en su totalidad (Doak, Marino, & Kareiva, 1992; Gustafson & Gardner, 1996; Schumaker, 1996; Pither & Taylor, 1998; Tischendorf & Fahrig, 2000). En ese sentido, las características de la matriz y la manera como permite u obstruye la transitividad para la fauna son factores esenciales para el funcionamiento ecológico del paisaje.

Fariña (1998) hace énfasis en la importancia de diferenciar entre conexión, conectividad y corredores. La conectividad se refiere al grado de unión física entre parches o fragmentos en un paisaje; además se considera un atributo estructural, que puede ser mapeado o espacializado. La conectividad es, en rigor, un atributo funcional, entendido como el proceso por el cual las subpoblaciones de especies están interconectadas en unidades demográficas funcionales, por lo que paisajes con alta conectividad podrían asegurar mayor probabilidad de supervivencia a las poblaciones faunísticas presentes en ellos. Es importante mencionar que no existe necesariamente una relación directa entre conexión y conectividad, puesto que la primera puede ser baja mientras que la segunda puede ser alta en un mismo paisaje, lo cual significaría la existencia de corredores funcionales. Por su parte, los corredores biológicos se definen como hábitats o fajas de tierra lineales que se distinguen de la matriz circundante y se caracterizan por su forma y contexto espacial; por tanto, la conexión de áreas naturales mediante corredores ayuda a mitigar los efectos de la fragmentación de hábitats y conduce al concepto de red ecológica, de modo que los corredores son elementos constituyentes de las redes.

Corredores y redes se plantean en la gestión ambiental urbana y rural como una alternativa para reconstruir procesos ecológicos en paisajes fragmentados. Este planteamiento se basa en un enfoque de ecología del paisaje, de sistemas e interrelaciones, diferente a la conservación "en islas". Las redes ecológicas se pueden definir como sistemas en los cuales los elementos naturales (parches de vegetación) se encuentran mutuamente interconectados, lo cual posibilita flujos, intercambios y procesos ecológicos (Martínez, 1999). La Figura 8 ilustra la configuración

espacial de una red ecológica: áreas núcleo en las cuales la conservación de la biodiversidad tiene importancia primordial, incluso si la zona no está protegida legalmente; corredores que sirven como conectores ambientales mediante el mantenimiento físico (aunque no necesariamente lineal), de los vínculos entre las áreas núcleo; zonas de amortiguamiento (*buffer*), que protegen la red de posibles daños externos y que, esencialmente, son zonas de transición caracterizadas por usos del suelo compatibles; y áreas de uso sostenible en las cuales se permiten actividades productivas al interior de la matriz del paisaje, acordes con el mantenimiento de los servicios ecosistémicos (Bennett y Mulongoy, 2006).

En el contexto de la planificación urbana y territorial, la configuración de redes responde no solo a requerimientos ecológicos, sino también a propósitos de organización del paisaje (Martínez, 1999); por lo tanto, constituyen una estrategia clave para la orientación de los procesos de ocupación y uso del suelo, para el control de la expansión urbana y, a la vez, para la conformación de los sistemas de espacio público verde, aspectos que justifican la importancia y necesidad de crear redes ecológicas en las ciudades, y a los cuales se hace referencia más adelante.

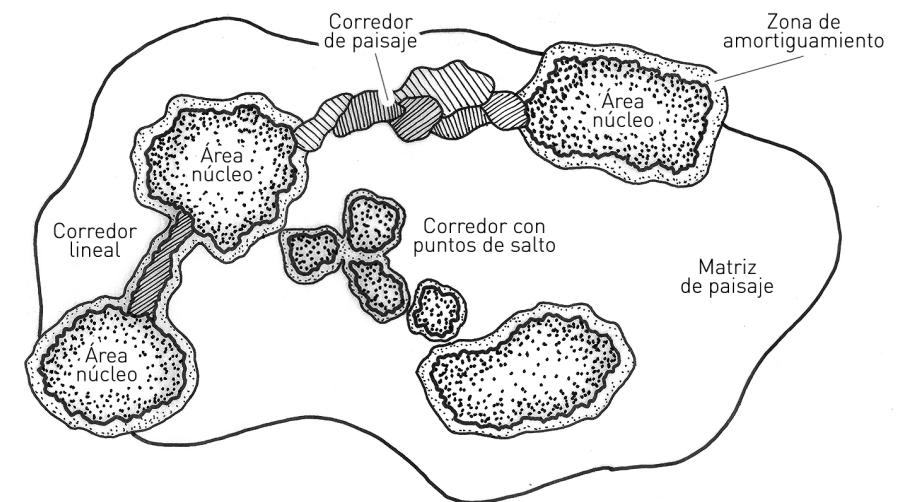


Figura 8. Componentes estructurales de una red ecológica en una matriz de paisaje: áreas núcleo o fragmentos conectados por zonas de amortiguamiento y por corredores de diferente índole: de paisaje, lineal, con puntos de salto o pequeños parches de hábitat. Fuente: elaborado con base en Bennett & Mulongoy (2006).

2.4. LAS REDES ECOLÓGICAS EN LA CIUDAD: OBJETIVOS Y OPCIONES

En los numerales anteriores se hizo referencia a la estructura espacial de los sistemas urbanos desde la perspectiva ecológica de paisaje; también se mencionó su característica de gran matriz antrópica, en la cual los espacios verdes constituyen fragmentos generalmente aislados entre áreas edificadas y corredores de distintos tipos (algunos con vegetación), asociados usualmente a corrientes hídricas y al sistema vial. Así mismo, se indicó que la aplicación de redes ecológicas en áreas urbanas ha estado ligada, por lo general, al problema de conectividad de los espacios verdes entre sí y de estos con los ecosistemas naturales o áreas de protección ambiental en zonas periurbanas y rurales, no solo como una estrategia de reducción de la fragmentación, sino también como recurso para orientar la expansión urbana hacia formas de menor impacto sobre la biodiversidad y mayor sustentabilidad del paisaje. En la porción densa y continua de la ciudad, el verde urbano suele estar conformado por numerosos fragmentos residuales, intersticiales, de menor tamaño, al igual que por corredores estrechos e inconexos, de gran artificialidad o menor funcionalidad ecológica (Figura 9).



Figura 9.
Paisaje urbano continuo en la localidad de Tunjuelito de la ciudad de Bogotá.
Fuente: Tomado de Google Earth en 2015.

Sin embargo, hacia la periferia la densidad constructiva se reduce, lo cual pone en evidencia el carácter expansivo de la ciudad actual: el modelo de ciudad dispersa, consumidora de territorio y de recursos. Es el panorama de las áreas metropolitanas o de las megaciudades, caracterizado por sus grandes extensiones de suburbios de baja densidad, diseminados en el territorio, en un proceso de urbanización del campo que genera impactos ambientales y culturales significativos sobre el territorio rural cercano. Estas áreas o paisajes suburbanos son, como lo señalan Forman (1995) y Rueda (1998), los espacios más dinámicos actualmente en relación con la urbanización; son en gran medida protagónicos de las problemáticas de urbanización, transformación de usos del suelo y fragmentación. También en este contexto suburbano, los parches de vegetación boscosa remanentes de la expansión se van reduciendo en tamaño y van quedando diseminados en una matriz o mosaico paisajístico conformado predominantemente por pastos, cultivos, rastrojos, agroindustrias, centros recreativos, urbanizaciones, equipamientos y redes viales, en un proceso progresivo de ocupación del paisaje.

Tal como lo señala el Plan BIO 2030 (Universidad Eafit, Municipio de Medellín, & Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011), en la región metropolitana del Valle de Aburrá la diversidad de áreas verdes ha representado uno de sus principales patrimonios; no obstante, históricamente esta base natural no ha cumplido un rol estructurante en el ordenamiento y ocupación del territorio urbano. Por el contrario, su presencia se reduce cada vez más a causa de un acelerado proceso de urbanización enmarcado en instrumentos de planificación poco previsivos o ineficaces. El resultado viene siendo la desaparición progresiva de las coberturas vegetales naturales, tanto así que, en la actualidad, su presencia solo se da en las partes altas de las laderas, donde también empiezan a ser alteradas con la implantación de parcelaciones de baja densidad.

En esa dinámica territorial, la creación de redes ecológicas constituye una respuesta a la fragmentación ocasionada por los procesos y formas de ocupación del paisaje; una estrategia para orientar tales procesos y reducir su efecto fragmentador de hábitats y bosques. Así mismo, las redes ecológicas constituyen un elemento clave para acercar la naturaleza a los habitantes en las grandes ciudades y para permitirles un conocimiento más directo y sensible de la biodiversidad como parte de la vida (Ward, 2002; Platt, 1994; Vélez, 2009).

En general, la articulación de objetivos ecológicos y socioespaciales es una condición deseable en la conectividad de áreas verdes en la ciudad; sin embargo, en determinados casos las redes

*la creación de
redes ecológicas
constituye una
respuesta a la
fragmentación
ocasionada por los
procesos y formas
de ocupación del
paisaje*

la configuración de redes ecológicas puede plantearse desde enfoques funcionales y estructurales

pueden orientarse o diseñarse buscando un propósito particular, por ejemplo incrementar y conectar las opciones recreativas y de espacio público para los ciudadanos. En otros casos, los objetivos de los corredores y redes responden fundamentalmente a la conexión de los hábitats para el mantenimiento y conservación de la biodiversidad (Martínez, 1999), al igual que la recuperación de retiros de quebradas o rondas hídricas, la regulación hidrológica y la estabilidad del relieve.

Pese a las limitaciones que presenta la trama urbana como espacio densamente construido, la configuración de redes ecológicas puede plantearse desde enfoques funcionales y estructurales. En el primer caso, los métodos para delimitar las redes (por ejemplo, rutas de mínimo costo de viaje, zonas de mayor permeabilidad de la matriz, entre otros enfoques), se orientan a reconocer y potenciar posibles trayectorias o rutas de desplazamiento de la fauna a través de la matriz construida. En tal sentido, los modelos identifican como corredor una o más secuencias de espacios verdes no continuos, pero ubicados a una distancia mínima entre ellos, con base en los requerimientos de conectividad de los diferentes grupos o especies de fauna silvestre objeto de conservación o intervención. Por su parte, los fragmentos verdes asociados en ese encadenamiento se definen como nodos o enlaces de corredor o de red, según sus características de tamaño, forma y localización.

El impacto de este tipo de corredores y redes en el paisaje urbano es positivo en la medida en que reconoce un carácter estratégico a algunos espacios verdes identificados como nodos o enlaces de conectividad funcional (ubicados a determinados intervalos). Tal reconocimiento es una condición que puede favorecer la conservación de las áreas frente a procesos de transformación del uso del suelo en el marco de la ordenación territorial. Sin embargo, su impacto suele ser reducido en tanto la existencia de esos corredores generalmente no es percibida por parte de los ciudadanos, dada su discontinuidad física; por lo que, no constituyen una opción socioespacial de conexión de espacios públicos, recreación y paisajismo.

De otro lado, los enfoques estructurales para la delimitación de las redes ecológicas (es decir, aquellas configuradas mediante corredores espacialmente continuos) posibilitan de una manera más directa funciones ecológicas y sociales. En primer lugar, facilitan el flujo de pequeños mamíferos y reptiles existentes en las áreas verdes de la ciudad, pues incrementan sus recursos de hábitat, a la vez que contribuyen al control de sedimentación, cuando están asociados a fuentes hídricas; además, su mantenimiento en áreas de media y alta pendiente ayuda a reducir los riesgos de erosión

o deslizamientos, además actúan como articuladores potenciales del paisaje urbano con el entorno rural.

En segundo lugar, aportan una gran riqueza paisajística y habitabilidad, ya que se convierten en corredores o senderos verdes, visibles en el paisaje, y pueden ser usados socialmente a modo de parques lineales o circuitos peatonales en la ciudad. Así mismo, su función urbanística es importante como estructuradores del espacio urbano, orientadores de la ocupación y amortiguadores de las altas densidades constructivas (Figura 10).

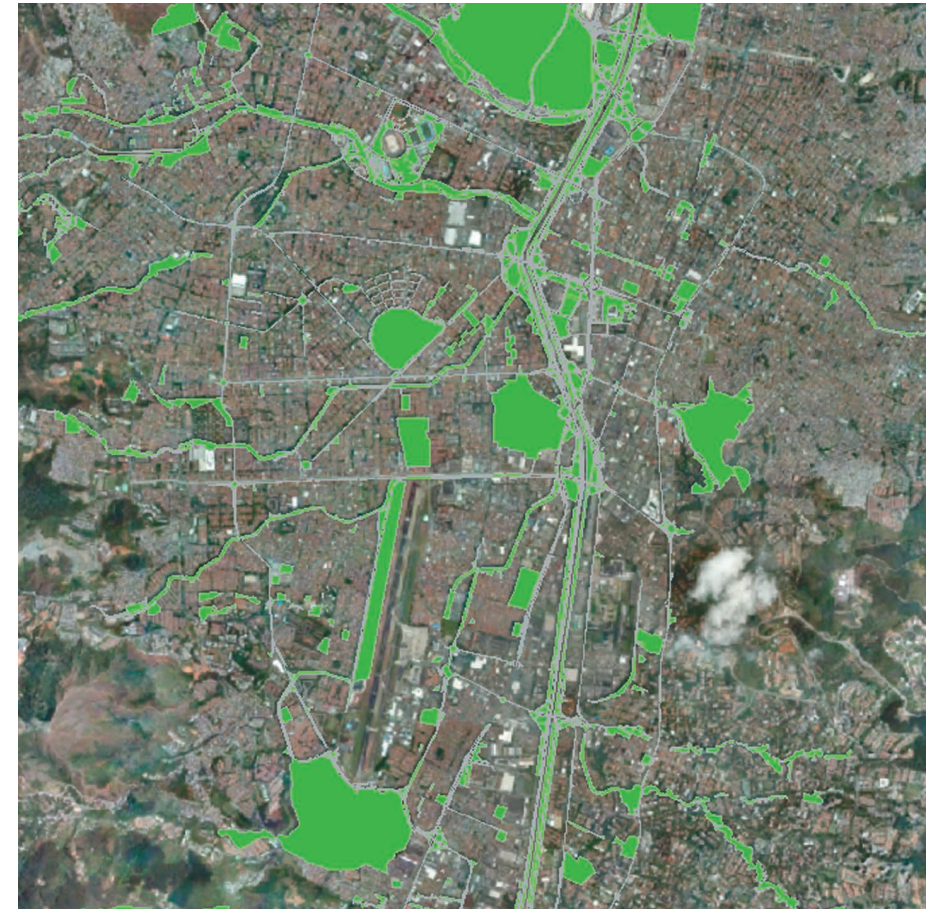


Figura 10. Red de corredores ecológicos continuos en el municipio de Medellín. Fuente: SIG Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Probablemente la configuración de este tipo de corredores en la ciudad sea, aparentemente, un proceso más complejo, si se tiene

en cuenta que ya existe una trama urbana en gran parte edificada. No obstante, las ciudades tienen a su vez interesantes oportunidades para consolidar allí redes y corredores verdes continuos como parte de sus procesos de ordenación territorial y urbana. Tal es el caso de 43 redes ecológicas identificadas para el Valle de Aburrá [Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007], donde, a pesar de las limitaciones de la ciudad construida para incorporar corredores extensos o continuos, se desarrolló una aproximación funcional mediante la búsqueda de aquellas zonas de mayor permeabilidad o menor resistencia al movimiento de la avifauna registrada en el paisaje urbano.

Además de los espacios verdes formalmente reconocidos (referidos ya en el capítulo 1 en términos de parques, ecoparques de quebrada y de cerro, zonas verdes del sistema vial, áreas de la estructura ecológica, suelos de protección, áreas de importancia ambiental, etc.), existe también un gran número de espacios verdes "informales" o privados, muchos de ellos denominados lotes vacíos, sin urbanizar aún (vacíos urbanos, lotes enrastrados o boscosos), al igual que terrenos y zonas verdes de las industrias e instituciones públicas y privadas, así como numerosas manzanas de baja densidad que constituyen en conjunto un significativo potencial para el incremento y conectividad del verde a través de los barrios y comunas de la ciudad (Figura 11). En ese contexto, los corredores hídricos adquieren, a su vez, gran relevancia como ejes de conectividad o de redes ecológicas. Su recuperación a modo de corredores verdes continuos no solo constituye una prioridad en la gestión urbana, sino un elemento estratégico desde el punto de vista de la minimización de riesgos, la funcionalidad ecológica y la accesibilidad socioespacial del verde (Figura 12).

No solo se trata de generar posibilidades de conexión en las periferias metropolitanas o en los paisajes suburbanos de las ciudades, sino, ante todo, de la responsabilidad y necesidad de ordenar los procesos de ocupación y expansión urbana con criterios de menor fragmentación y mayor conectividad de los bosques y rastrojos existentes. Como se sabe, las ciudades colombianas son especialmente dinámicas y seguirán creciendo demográficamente en cientos de miles o millones de personas en los próximos veinte años, y lo harán a costa de una mayor densificación interior y, en gran medida, a partir de la expansión hacia los paisajes suburbanos y rurales de su entorno. Por ello, incorporar principios de ecología de paisajes (conectividad y naturalidad del verde) en la localización y diseño urbano de los nuevos asentamientos humanos (polígonos de vivienda, parcelaciones de baja densidad, industrias y equipamientos), es un imperativo ambiental en la perspectiva de ciudades sostenibles.

*los corredores
hídricos adquieren
gran relevancia
como ejes de
conectividad o de
redes ecológicas*



Figura 11. Lotes vacíos y manzanas de baja densidad en los bordes del cerro Nutibara, en el municipio de Medellín, que representan oportunidades para ampliar o fortalecer las redes ecológicas actuales.
Fuente: Tomado de Google Earth en 2015.



Figura 12. Presencia de corredores hídricos que actúan como redes ecológicas potenciales, en el sector sur-oriental del municipio de Medellín.
Fuente: SIG Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

2.5. LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN LA GESTIÓN AMBIENTAL Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La integración de criterios de conectividad en la planificación de entornos urbanos y periurbanos implica el reconocimiento de las funciones ecológicas, sociales y territoriales que cumplen tanto las áreas verdes como los espacios abiertos no construidos; estos poseen un importante potencial no solo para la integración armónica del tejido urbano con el entorno circundante, sino también para la conservación de la biodiversidad. Por ello, es cada vez más notoria la toma de conciencia sobre las consecuencias de los procesos de reducción y fragmentación de los sistemas naturales y del paisaje en general, situación que ha incidido en un creciente número de planes y proyectos que tienen por objeto reducir o mitigar los impactos ambientales asociados. Especialmente, el diseño de las redes ecológicas permite la inclusión de áreas conectoras en la toma de decisiones sobre el territorio. Ello es posible mediante diversas estrategias, entre ellas su integración en los planes de ordenación, su valoración en los procesos de evaluación de impacto ambiental de los proyectos que les puedan afectar, o mediante la promoción y aplicación de la legislación necesaria para su protección y conservación (Gurrutxaga, 2004).

En esa perspectiva, diversos estudios que desde la década anterior se preguntan por la conservación y potenciación de la biodiversidad frente a las dinámicas socioespaciales del Valle de Aburrá, han planteado una adecuada relación ecología del paisaje-planificación territorial a escala de región. Un denominador común en dichos estudios es, por una parte, el reconocimiento de la problemática ambiental asociada a la expansión urbana y suburbana; y, por otra, el planteamiento de conceptos espaciales para la ciudad compacta y para el funcionamiento ecológico del paisaje: la definición de ámbitos de manejo, la planificación ambiental del territorio y la configuración de corredores y redes ecológicas en una perspectiva multiescalar, desde lo urbano a lo rural y viceversa.

En efecto, en las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial (AMVA, 2005), se hace referencia explícita a tres elementos o niveles de actuación u ordenación en tal sentido: i) los bordes de protección ambiental como estrategia para contener la expansión urbana hacia las laderas del Valle de Aburrá, a partir de la conformación de un sistema local y regional de áreas protegidas; ii) el río Aburrá-Medellín como estructurante natural del territorio a través de su revaloración y conservación de las ca-

racterísticas naturales sobre los sistemas de movilidad y espacio público; y iii) los ejes de conexión transversal a partir de los retiros hídricos, los cuales aportan sustancialmente a la red ecológica urbana metropolitana. Para este último se propone identificar y reglamentar una malla verde urbana que potencie no solamente la conectividad ecológica entre las áreas verdes, sino también su articulación con el río, con los bordes de protección y con los ecosistemas estratégicos rurales.

Así mismo, el Plan Director BIO 2030 (Universidad Eafit, Municipio de Medellín, & Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011), elabora un planteamiento de planificación fundamentado en la ecología del paisaje y en el reconocimiento de los estructurantes naturales o geográficos del valle, como pauta para la organización de la ocupación humana. Por lo tanto, propone la conformación de una red de corredores ecológicos metropolitanos a partir de la integración de las áreas de protección en el suelo rural con los espacios públicos verdes urbanos. Los corredores ecológicos marcan ritmos de ocupación y protección articulados al espacio público, que condicionan la ocupación urbana, suburbana y rural. Específicamente para el área urbana, propone un sistema de corredores transversales y longitudinales asociados al sistema hídrico, como base para la conectividad ecológica, la estructura urbana y el sistema de espacio público (Figura 13).

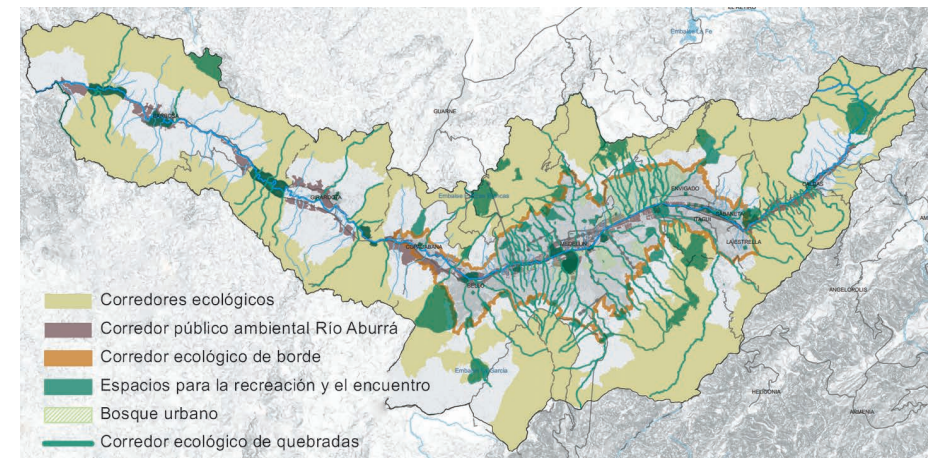


Figura 13. Corredores ecológicos estructurantes del Valle de Aburrá. Fuente: Universidad Eafit, Municipio de Medellín, & Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2011).

De manera complementaria, el Cinturón Verde Metropolitano del Valle de Aburrá – CVMVA (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia, 2014) es una iniciativa para ordenar de forma equilibrada los efectos territoriales de la expansión urbana metropolitana y para orientar la consolidación de una estructura básica de protección en áreas prestadoras de servicios ecosistémicos críticos en el Valle de Aburrá. El CVMVA se compone de tres ámbitos territoriales bien diferenciados e interconectados: i) un cinturón externo que representa una estructura de protección para la regulación hidrológica, y cuya continuidad espacial le imprime funciones como corredor biológico regional; ii) un sistema de transición urbano-rural que pretende armonizar las áreas con tendencia a la expansión urbana (formal e informal), a partir de la preservación de sitios que proveen servicios ecosistémicos vinculados con la recreación tradicional de los habitantes; y iii) una estructura de conexión ecológica a través de intervenciones territoriales que permiten enlazar los dos primeros ámbitos descritos, principalmente por medio de franjas o corredores de vegetación ribereña (Figura 14).

Uno de los principales instrumentos de planificación y gestión para el incremento y mejoramiento de las áreas verdes urbanas en el Valle de Aburrá y su articulación con los ecosistemas naturales periféricos es el Plan maestro de espacios públicos verdes urbanos de la región metropolitana del Valle de Aburrá-PMEPVU (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007), el cual específicamente, identifica una red ecológica urbana compuesta por 2.404 elementos (102 nodos, 824 fragmentos y 1.478 enlaces), que a su vez conforman 43 corredores biológicos, 17 de los cuales están asociados directamente al sistema hídrico, 13 al sistema de movilidad y 13 al sistema artificial y construido. Dichos elementos abarcan cerca de 1.600 hectáreas que representan el 74 % de la superficie total de espacio público verde urbano registrado para la región (Figura 15). Esta es una extensión importante de la cual se han perdido cerca de 84 hectáreas en el periodo 2006-2011 (4 % del área total de red), debido al desarrollo de nuevas construcciones, tal como se registró en una actualización reciente (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia, 2015).

Así mismo, se encontró que la mayor parte del paisaje de la red ecológica urbana está dominado por enlaces y en menor medida, por nodos y fragmentos. Especialmente los nodos cuentan con una mayor superficie de área núcleo y mayor tamaño promedio de parche (4,22 ha/parche). Esta información es de suma importancia para la identificación e implementación de medidas que pro-

muevan la generación de nodos y fragmentos y el mejoramiento ambiental de los componentes actuales, en especial los enlaces existentes.

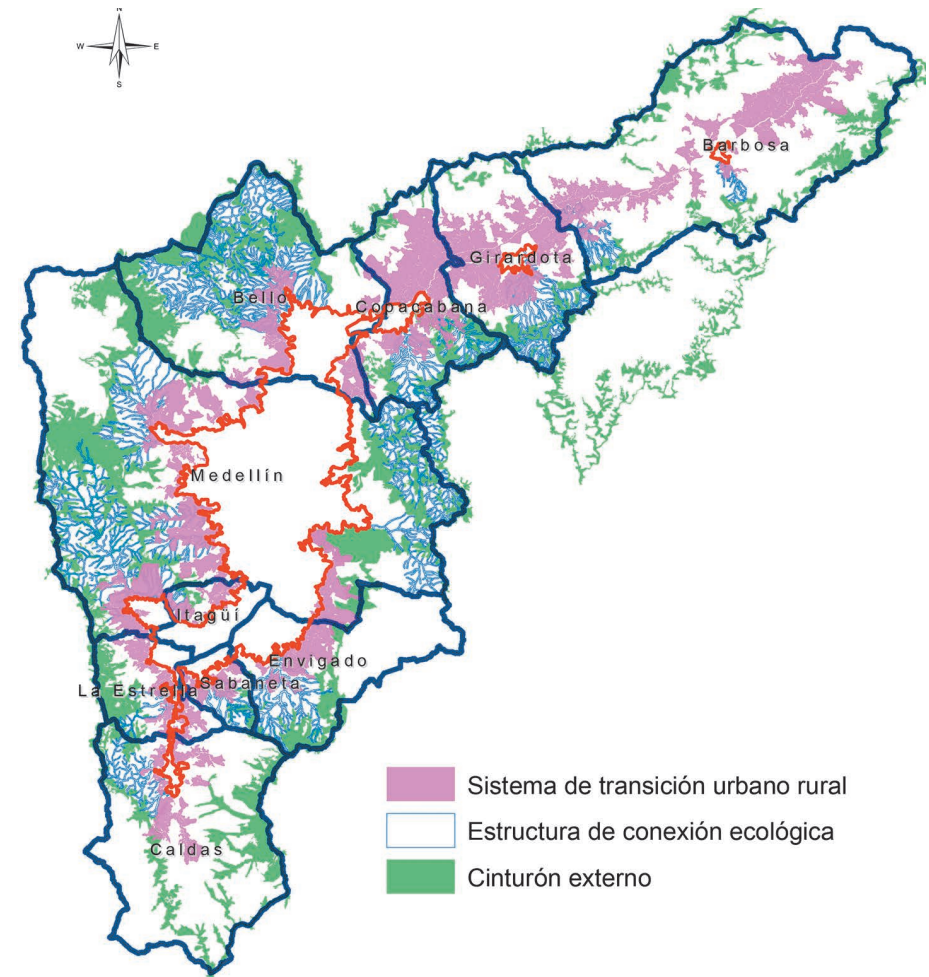


Figura 14. Ámbitos de planificación del Cinturón Verde Metropolitano del Valle de Aburrá

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia (2014).

En el área de influencia de las redes ecológicas se identificaron cerca de 584 hectáreas que poseen cobertura verde en áreas de derecho público y uso público, por lo que se consideran espacios potenciales para su fortalecimiento. Adicionalmente, se identifi-

El cumplimiento de las obligaciones urbanísticas por parte de los constructores, está llamado a desempeñar un papel fundamental en la búsqueda de un mayor enverdecimiento urbano con funcionalidad ecológica

caron 76 hectáreas con cobertura verde, pero de derecho y uso diferentes al público, cuyo estado actual es necesario evaluar en campo para determinar si es pertinente gestionar los predios en los que se encuentran, siempre y cuando aporten elementos importantes para la funcionalidad de las redes adyacentes. El análisis de la red ecológica puso en evidencia justamente el carácter fragmentario del verde urbano en el Valle de Aburrá, pues de las 1.600 hectáreas indicadas, solo 470 correspondieron a grandes espacios verdes o nodos de la red, muchos de ellos representados por los cerros tutelares y espacios privados (clubes Campestre y Rodeo, y Jardín Botánico), y no por parques públicos.

En ese contexto, es importante reconocer que buena parte de los espacios categorizados por los POT de los municipios del Valle de Aburrá como áreas de importancia paisajística y ambiental, suelos de protección o componentes de la estructura ecológica, así como corredores biológicos, son a su vez elementos de las redes del PMEPUVU y del Sistema Metropolitano de Áreas Protegidas, SIMAP (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad de Antioquia, 2009).

Este último identifica 36 corredores naturales y seminaturales cuya funcionalidad está directamente relacionada con: a) intercambio entre áreas ubicadas en el sector oriental y occidental del Valle de Aburrá, b) flujo entre ecosistemas urbanos y rurales, c) zonas o terrenos que integran espacios verdes de carácter público o privado con la red ecológica del PMEPUVU, d) áreas seminaturales importantes para el disfrute y la recreación de la población y e) cuerpos de agua con potencialidad de conservación.

No obstante, la realidad es que la creación de estas infraestructuras verdes en las ciudades (redes o corredores) requiere una mayor incorporación de hectáreas de suelo de origen público y privado. Con ese propósito, el PMEPUVU identificó cerca de 500 hectáreas potenciales para la vinculación a las redes en las áreas urbanas, constituidas principalmente por los lotes vacíos y espacios verdes de derecho privado ya indicados. Una cantidad que es, sin embargo, insuficiente ante el enorme déficit que existe en el Área Metropolitana, donde muchos de los nuevos espacios públicos siguen caracterizados por la residualidad, fragmentación y artificialidad del verde.

Por consiguiente, el cumplimiento de las obligaciones urbanísticas (cesión de áreas libres o verdes) por parte de los constructores, está también llamado a desempeñar un papel fundamental en la búsqueda de un mayor enverdecimiento urbano con funcionalidad ecológica. Por tanto, los nuevos espacios públicos verdes producidos por la urbanización, no deben responder solo a una consideración meramente cuantitativa, es decir, a la cesión de un

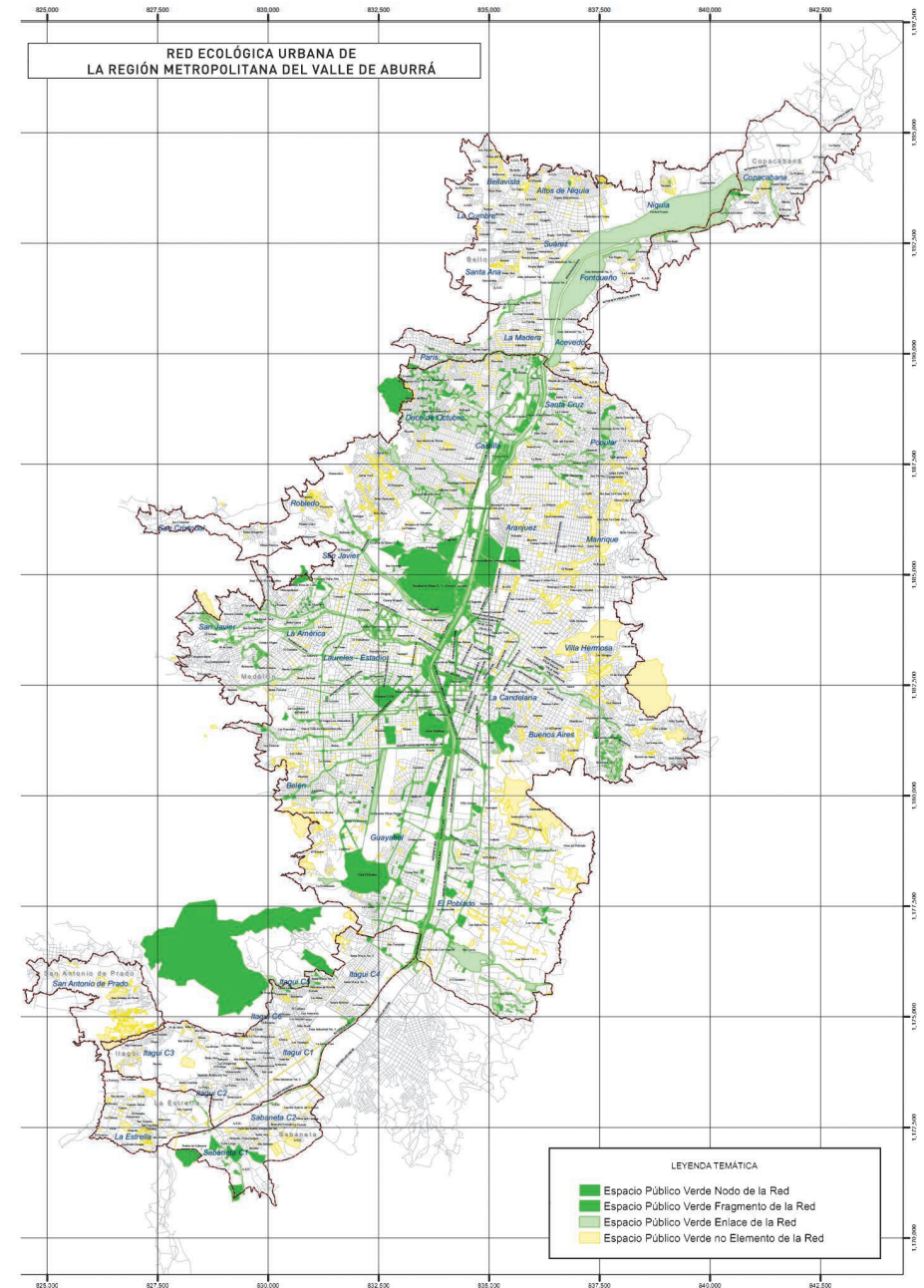


Figura 15. Redes de conectividad ecológica en las áreas urbanas del Valle de Aburrá.
Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM (2007).

determinado porcentaje reglamentario de área. Tradicionalmente, el espacio verde producto de cesiones se ha desplegado en un conjunto de residuos o fragmentos verdes dispersos entre las áreas construidas, a la manera de vacíos inmobiliarios. Más allá de los porcentajes, se trata de inducir en los nuevos polígonos de paisajes residenciales e industriales, otras formas de crecimiento urbano donde el componente verde, más compacto y conectado, sea un estructurante ecológico y de ciudad.

Específicamente, en el POT de Medellín (Acuerdo 48 de 2014) se vislumbra un importante reconocimiento del concepto de red ecológica, la cual se integra de forma armónica no solamente a la estructura ecológica, sino también a los sistemas de espacio público, movilidad y patrimonio; así mismo, articula los espacios y corredores específicos mencionados previamente a escala metropolitana.





También se definen allí una serie de criterios de manejo e instrumentos de gestión, entre los cuales se identifica la necesaria vinculación de predios privados a la EEP, no solamente a través de mecanismos de gestión del suelo, sino también de incentivos a la conservación (exención de impuestos, pago por servicios ambientales, etc.).

En consecuencia, para promover una mayor conectividad y funcionalidad ecológica en el paisaje urbano metropolitano, es necesario conservar los espacios públicos verdes existentes e incorporar de manera formal los espacios privados incluidos en la red ecológica urbana del Valle de Aburrá, garantizando su permanencia como espacio público y en esencia verde. Es así como, la ordenación territorial y el diseño urbano tienen un papel fundamental en la identificación de soluciones espaciales y como instrumentos de gestión para una orientación de los procesos de urbanización hacia proyectos menos fragmentadores del paisaje.

2.6. RETOS Y PERSPECTIVAS PARA LA GESTIÓN DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN ÁREAS URBANAS Y PERIURBANAS

En Medellín y el Valle de Aburrá se han llevado a cabo algunos procesos en torno a la planeación, diseño y ejecución de proyectos y acciones que permitan una mayor permeabilidad del paisaje, mayor conexión entre los componentes del verde urbano y mejor articulación con ecosistemas periurbanos y rurales. Con base en estas experiencias, a continuación se relacionan una serie de

estudios, proyectos y acciones requeridos para avanzar no solo en el análisis físico-biótico del verde urbano y los correspondientes requerimientos estructurales y espaciales de conectividad o desfragmentación, sino también para la consolidación de una región ambientalmente sostenible, resiliente e incluyente.

-  En relación con los espacios públicos verdes señalados como nodos en la red ecológica urbana del PMEUVU, se sugiere considerar su posible declaratoria como suelo de protección, a fin de asegurar un mayor énfasis ecológico en su manejo, e incluso como área protegida, para garantizar su conservación *per-se*. Esta iniciativa debiera también priorizarse para los retiros no canalizados de las quebradas afluentes del río Aburrá - Medellín, dada la importancia de estas áreas como hábitats para la fauna silvestre y por sus funciones reguladoras de procesos hidrológicos.
-  Dada la gran dinámica de los procesos de urbanización en el Valle de Aburrá, es fundamental la actuación oportuna desde las entidades públicas relacionadas directamente con la gestión ambiental, la planificación y el ordenamiento territorial, para conservar como áreas verdes buena parte de los terrenos o lotes existentes sin urbanizar (lotes vacíos en la ciudad, espacios verdes de fábricas e instituciones y manzanas construidas de baja densidad), ubicados en los corredores verdes potenciales o en el trayecto de los corredores hídricos. Se reitera la importancia de que estos sean una prioridad en la gestión urbano-ambiental de las ciudades, en la perspectiva de configurar sistemas de espacio público integrado con funcionalidad ecológica.
-  Es necesario someter a evaluación ambiental aquellos planes y proyectos que puedan afectar negativamente el paisaje, los remanentes de hábitats naturales y las áreas verdes urbanas. En este sentido, la evaluación de planes y programas con incidencia en el ordenamiento del territorio se constituye en un instrumento fundamental para la integración de las redes ecológicas a diferentes escalas. La aplicación de este instrumento requiere la adopción de nuevas metodologías que incorporen criterios integrados de evaluación de los impactos de los planes o proyectos que puedan afectar la conectividad ecológica.
-  Se requiere la creación de métodos para predecir y evaluar los efectos de las transformaciones de los usos del suelo sobre la conectividad ecológica del territorio, especialmente frente a grandes obras de infraestructura. En este sentido, la evaluación de escenarios mediante el diagnóstico de la conectividad del paisaje se presenta como una

Es necesario someter a evaluación ambiental aquellos planes y proyectos que puedan afectar negativamente el paisaje

herramienta de gran relevancia en la toma de decisiones, dada su capacidad de identificar las implicaciones de posibles planes de desarrollo sobre la integridad ecológica del territorio.

- En cuanto a la prevención del efecto barrera sobre la biodiversidad en los proyectos constructivos de infraestructura vial, resultaría de gran importancia la exigencia por parte de las autoridades ambientales, del diseño e instalación de pasos de fauna. Para ello, se deben precisar las especificaciones técnicas que permitan la adopción de medidas que favorezcan la permeabilidad transversal de las infraestructuras para los diferentes grupos de fauna afectados, así como el seguimiento de su efectividad a través de monitoreos periódicos.
- Complementario a lo anterior, se propone promover medidas o acciones tendientes a la desfragmentación de infraestructuras lineales, especialmente en vías y redes aéreas de energía. Para esto se requiere, en primer lugar, identificar con claridad los puntos de conflicto (sitios con alta incidencia de mortalidad por atropello o electrocución de determinadas especies) en aquellos tramos de intersección de vías o redes con hábitats utilizados por la fauna silvestre. Tales medidas podrían basarse en:

 - a) la construcción de nuevas estructuras, como viaductos o falsos túneles que son estructuras subterráneas que se recubren con vegetación en su parte superior para permitir el paso de la fauna (Figura 16).
 - b) la construcción de ecoductos o puentes verdes, que son pasos superiores sobre vías acondicionados con vegetación para permitir la conexión de hábitats adyacentes (Figuras 17 y 18).
 - c) la construcción de pasos subterráneos (Figuras 17 y 18) y de pasos aéreos artificiales para facilitar la movilidad de mamíferos pequeños, tal como se vienen implementado en los últimos años en la ciudad de Medellín, asociados a proyectos de infraestructura vial (Figura 19).

Un componente fundamental es el fortalecimiento de la educación, la sensibilización y los procesos de participación de las comunidades, para la conservación, mejoramiento y mantenimiento del espacio público de importancia ambiental en los corredores ecológicos identificados a escala municipal y local.

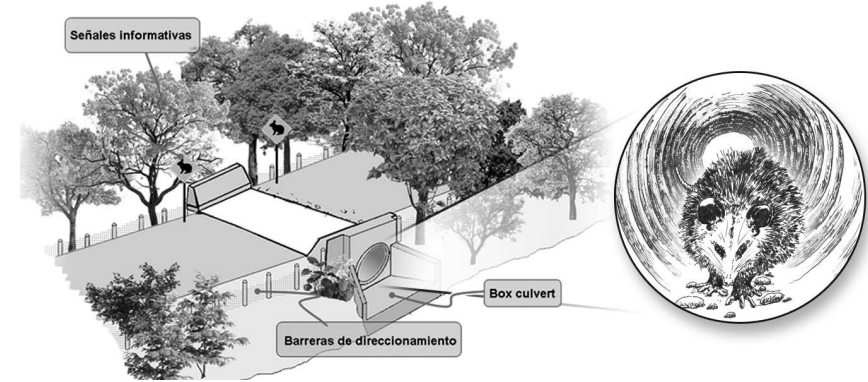


Figura 16. Intervención integral para el paso subterráneo de mamíferos pequeños en áreas urbanas.

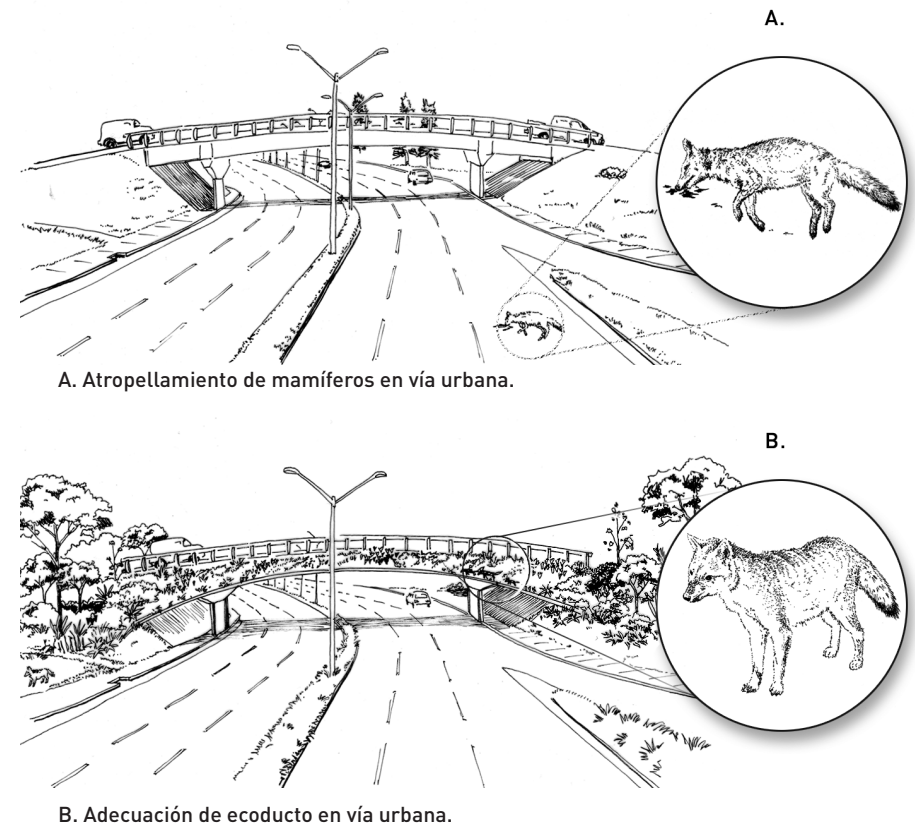


Figura 17. Construcción de pasos aéreos para facilitar el tránsito de mamíferos en vías urbanas.

- Otro aspecto no menos importante tiene que ver con el creciente y decidido apoyo requerido por parte de las instituciones públicas y privadas para fortalecer la investigación, en términos de estudios y diseños sobre impacto o desfragmentación de infraestructuras lineales (vías y redes aéreas de energía), ecología espacial de las especies (abundancia y requerimientos de hábitat, patrones de dispersión, dominios vitales, capacidad de desplazamiento, hábitos alimenticios, etc.), monitoreo de las especies más afectadas por colisiones con vehículos (dónde ocurren, cuáles son las épocas del año más frecuentes, cómo son las circunstancias de los atropellamientos, sitios y horas de las afectaciones, etc.), el efecto de la urbanización sobre la comunidad de mamíferos y la tolerancia que estos presentan, entre otros.

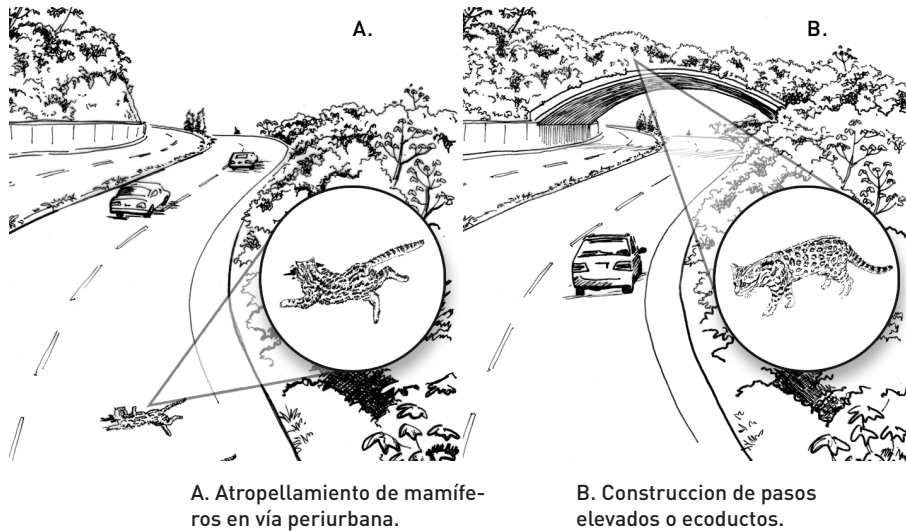


Figura 18. Construcción de pasos aéreos para facilitar el tránsito de mamíferos en vías periurbanas.

Por lo visto, consolidar las redes actuales y avanzar hacia la configuración de corredores y circuitos verdes continuos en las áreas urbanas y rurales del Valle de Aburrá, es un propósito cuyos retos son tanto técnicos y de investigación, como de gestión y coordinación de la planeación ambiental y el ordenamiento territorial en su conjunto. Una labor fundamental si se tiene en cuenta que también, a mediano plazo, la funcionalidad ecológica del corredor verde a lo largo del río, estará condicionada no solo a su conte-

nido biótico, sino a su articulación con los grandes proyectos de ciudad (Parques del Río), con los corredores verdes asociados a las quebradas afluentes, con los grandes nodos como los cerros tutelares, con el cinturón verde metropolitano y, en general, con las áreas que conforman la estructura ecológica principal.

En síntesis, para garantizar un paisaje verde en el Valle de Aburrá es necesario concebir el espacio público verde como integrador y conector de lo urbano con lo rural, de lo público con lo privado; por ello, es primordial identificar y aplicar mecanismos ágiles y efectivos que permitan el incremento, conservación y manejo de las áreas verdes y los ecosistemas naturales asociados, y la consolidación de un sistema de espacio público que integre lo natural y lo construido con unidades y redes de conectividad ecológica que tengan funciones ambientales definidas. Todo ello representa no solo un reto, sino una oportunidad para la ciudad-región, para sus habitantes y en especial para los gobernantes y planificadores.

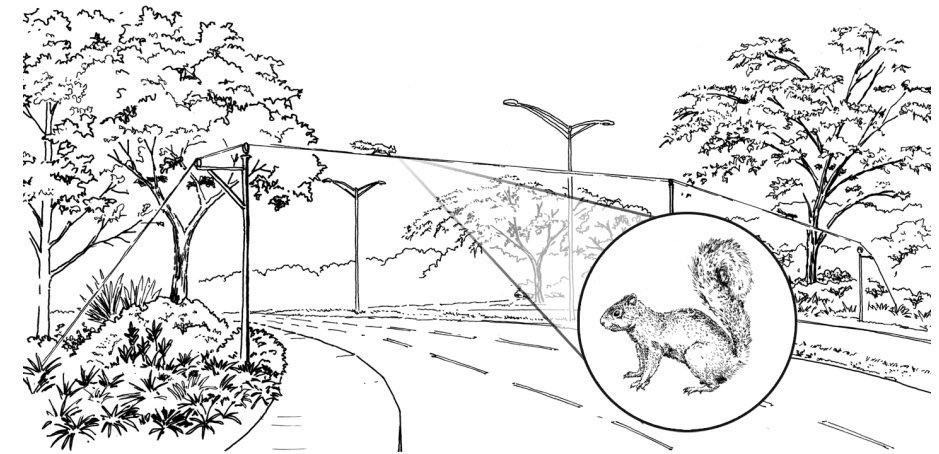


Figura 19. Instalación de pasos aéreos para la movilidad de mamíferos pequeños en vías urbanas.

2.7. REFERENCIAS

Alberti, M., J. Marzluff, E. Shulenberger, G. Bradley, C. Ryan, and C. Zumbrunnen. (2003). Integrating humans into ecology: Opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *Bioscience*, 53(12), 1169-79.

- Anderson, G. & Danielson, B. (1997). The effects of landscape composition and physiognomy on metapopulation size: the role of corridors. *Landscape Ecology*, 12, 261-271.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). (2005). *Directrices metropolitanas de ordenamiento territorial*. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/Planeacion/Paginas/Directrices.aspx>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Consultoría Colombiana - CONCOL, & Arredondo y Madrid - AIM. (2007). *Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín*. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/ZonasVerdes/Paginas/Publicaciones.aspx>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia (2009). *Caracterización biótica, valoración social y económica de las áreas verdes asociadas a una red de conectividad ecológica, como base para el manejo y gestión de la red ecológica en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Convenio No. 207 de 2007. Recuperado de: [http://www.metropol.gov.co/ZonasVerdes/Documents/Caracterizaci%C3%B3n%20Bi%C3%B3tica,%20Valoraci%C3%B3n%20Social%20y%20Econ%C3%B3mica%20de%20las%20%C3%81reas%20Verdes/IF_Convenio207_VersionFinal_Junio\(Preliminares\).pdf](http://www.metropol.gov.co/ZonasVerdes/Documents/Caracterizaci%C3%B3n%20Bi%C3%B3tica,%20Valoraci%C3%B3n%20Social%20y%20Econ%C3%B3mica%20de%20las%20%C3%81reas%20Verdes/IF_Convenio207_VersionFinal_Junio(Preliminares).pdf)
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad de Antioquia. (2009). *Generar los soportes conceptual y metodológico del Sistema Metropolitano de Áreas Protegidas, para avanzar en su promoción y desarrollo*. Convenio No. 520 de 2006. Recuperado de http://www.metropol.gov.co/Planeacion/Paginas/Areas_Protegidas.aspx
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia (2014). *Cinturón verde metropolitano del Valle de Aburrá*. Contrato 440 de 2012.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia (2015). *Aunar esfuerzos técnicos y económicos para el desarrollo e implementación de un plan de manejo integral del arbolado urbano en el Valle de Aburrá – Fase III*. Convenio 346 de 2014.
- Arnold, C. & Gibbons, C. (1996). Impervious surface coverage: Emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62, 243-58.
- Barnes, Th. (2008). *Landscape ecology and ecosystems management. University of Kentucky*. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/06/29/95731>
- Bennett, G. & Mulongoy, K. (2006). *Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Technical Series No. 23. Canadá.
- Burel, F. & Baudry, J. (2002). *Ecología del paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Delgado-Vélez, C. (2007). Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 29(87), 235-239.
- Delgado-Vélez, C. (2014). Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Revista EIA*, 22, 147-153.
- Doak, D., Marino, P., & Kareiva P. (1992). Spatial scale mediates the influence of habitat fragmentation on dispersal success: implications for conservation. *Theor. Popul. Biol.*, 41, 315-336.
- Echániz, I. (2006). *Manual de ecología del paisaje: aplicada a la planificación urbana y de infraestructuras*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.
- Etter A. (1991). Introducción a la ecología del paisaje: un marco de introducción para los levantamientos ecológicos. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/0B7dPeC1rpAmhMjEwOTE0NGM-tYtdhNy00MmQ0LTg5MWMtNzdiYWZjNmVhZWRI/view?pli=1>
- Fajardo, I. (1990). Mortalidad de la lechuza común (*Tyto alba*) en España Central. *Ardeola*, 37, 101-106.
- Fariña, J. (1998). *La ciudad y el medio natural*. Madrid: Akal.
- Forman, R. (1995). *Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Forman, R., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20(2-3), 1-10.
- Girvetz, E. & Greco, S. (2007). How to define a patch: a spatial model for hierarchically delineating organism-specific habitat patches. *Landsc. Ecol.*, 22, 1131-1142.
- Green, D. (1994). Connectivity and complexity in landscapes and ecosystems. *Pac. Conservation Biology*, 1, 194-200.
- Gurrutxaga, M. (2004). *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial* (1ª ed., 1ª reimp.). Departamento de Agricultura y Pesca (Informe Técnico N° 103). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Gustafson E. & Gardner R. (1996). The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization. *Ecology*, 77, 94-107.
- Illana, A. & Paniagua, D. (1998). Estudio de los movimientos dispersivos de un joven Búho real (*Bubo bubo*) en el Territorio Histórico de Álava. Diputación Foral de Álava, Dpto. de M. A. Inédito. Vitoria.
- Lindenmayer, D. B., Fischer, J. (2006). *Habitat fragmentation and landscape change*. Washington: Island Press.
- McGarigal, K. & Marks, B. (1995). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. PNW-351.

- Martínez, A. C. (1999). El papel ecológico de los corredores en la planificación territorial (memoria proyecto de fin de carrera). Facultad de Biología, Universidad de Alcalá.
- Metzger J. & Décamps, H. (1997). The structural connectivity threshold: An hypothesis in conservation biology at the landscape scale. *Acta Oecol.*, 18, 1-12.
- Municipio de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación. *Plan de Ordenamiento Territorial*, Acuerdo 48 de 2014.
- Noss, R. (1991). Landscape connectivity: different functions at different scales. En *Landscape linkages and biodiversity* (pp. 27-39). Washington: Island Press.
- Parque Explora - Alcaldía de Medellín. (2015). *Propuesta para la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en Medellín: Síntesis del documento técnico de soporte*. Recuperado de www.medellin.gov.co/MapGIS/siamed/documentos/Digital/4600048433%20Libro%20Propuesta%20para%20la%20gesti%20integral%20de%20la%20biodiversidad%20y%20los%20servicios%20ecosistemicos.pdf
- Paul, M. & Meyer, J. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 333-365.
- Platt, R. (1994). From commons to commons: Evolving concepts of open space in north american cities. En R. H. Platt, R. A. Rowntree, & P. C. Muick (Eds.), *The ecological city: Preserving and restoring urban biodiversity* (pp. 21-40). Amherst: University of Massachusetts Press.
- Pither, J. & Taylor, P. (1998). An experimental assessment of landscape connectivity. *Oikos*, 83, 166-174.
- Rowden, P., Steinhardt, A., & Sheehan M. (2008). Road crashes involving animals in Australia. *Accid. Anal. Prevent.*, 40, 1865-71.
- Rueda, S. (1998). Periurbanización y complejidad en los sistemas urbanos. En F. Monclús (Ed.), *La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias* (pp. 83 -110). Centre de Cultura Contemporania de Barcelona.
- Schumaker, N. (1996). Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, 77, 1210-25.
- Sierra, M. (2011). Ciudad y fauna urbana: un estudio de caso orientado al reconocimiento de la relación hombre, fauna y hábitat urbano en Medellín. (Tesis de grado, Maestría en Estudios Urbano-Regionales). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Tarifa, T. et al. (2004). Vizcachas (*Lagidium viscacia*, *Chinchillidae*) en hábitats fragmentados en la ciudad de La Paz y sus alrededores: bases para su conservación. *Ecología en Bolivia*, 39(1), 53-74.
- Tischendorf, L. & Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90, 7-19.
- Universidad Eafit, Municipio de Medellín, & Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2011). Plan Director BIO-2030. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/Planeacion/Paginas/PlanDirector.aspx>
- Vélez, L. A. (2009). Del parque urbano al parque sostenible: bases conceptuales y analíticas para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbanos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43, 31-49.
- Ward, T. (2002). Urban open space in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 60, 59-72.
- With, K., Gardner, R., & Turner M. (1997). Landscape connectivity and population distributions in heterogeneous landscapes. *Oikos*, 78, 151-169.
- Zonneveld, I. (1995). *Land ecology: an introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. Amsterdam: SPB Academic Publishing.



Plántulas en germinador



3. PRODUCCIÓN DE MATERIAL VEGETAL EN VIVERO PARA ÁREAS URBANAS

M. Claudia Díez

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
mcdiez@unal.edu.co

Flavio Moreno

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
fhmoreno@unal.edu.co

Alberto Ramírez

Ingeniero Forestal, Patólogo Forestal
patologiaforestal@gmail.com

3.1. INTRODUCCIÓN

En la producción de material vegetal de especies leñosas para áreas urbanas se deben adoptar criterios particulares, distintos a los usados en los viveros forestales tradicionales, pues en estos se produce gran cantidad de plantas de tamaño pequeño, de una o pocas especies. Normalmente los ciclos de tales viveros están determinados por las demandas de las plantaciones comerciales, cuyos turnos son generalmente cortos (Evans, 1992). Por el contrario, los árboles requeridos para ambientes urbanos generalmente son de mayor tamaño e idealmente deben cumplir turnos largos; así que obtener árboles sanos, con buena forma y

Los árboles que se establecen en ambientes urbanos generalmente deben enfrentar condiciones mucho más restrictivas que en áreas rurales

estables durante varias décadas requiere cuidados aún mayores, especialmente durante las etapas de vivero y plantación inicial. Además, un vivero enfocado en la producción de árboles para áreas urbanas debe manejar simultáneamente una gran variedad de especies, puesto que se considera deseable que las ciudades posean una alta biodiversidad en sus zonas verdes, preferencialmente de especies nativas, lo cual permite además fortalecer su identidad y funcionalidad ecológica (Moro & Castro, 2014; Parker, 2014).

Los árboles que se establecen en ambientes urbanos generalmente deben enfrentar condiciones mucho más restrictivas y adversas que en áreas rurales; por lo tanto, es necesario que estén mejor acondicionados para tolerar el estrés. Tales condiciones surgen no solo por los conflictos con la infraestructura urbana y los altos niveles de contaminación atmosférica, sino también por la variabilidad climática y los efectos de la isla de calor, producto del incremento en la temperatura del aire por causa de las grandes superficies impermeables de concreto y otros materiales similares (Oke, 1994; Sieghardt et al., 2005).

Así mismo, la escorrentía de agua lluvia puede producir inundaciones localizadas y limitar procesos biológicos fundamentales, como el intercambio de gases del suelo y el reciclaje de nutrientes. En otros casos, los suelos pueden estar contaminados y compactados, o presentar otras condiciones que impiden el ingreso de agua, lo cual reduce su microbiota, limita su capacidad de ofrecer una nutrición adecuada a las plantas y puede generar estrés hídrico para la vegetación (Meuser, 2010). Finalmente, los suelos de los ambientes urbanos suelen ser altamente heterogéneos y su calidad para el desarrollo y anclaje de las raíces puede cambiar radicalmente en distancias cortas (Pouyat, Szlavetz, Yesilonis, Groffman, & Schwarz, 2010); incluso en muchos sitios, el suelo está conformado básicamente por escombros.

Las limitaciones mencionadas pueden tener consecuencias nefastas sobre la salud del arbolado. En consecuencia, la propagación de material vegetal para áreas urbanas tiene el compromiso de producir árboles fuertes, vigorosos y sanos, con características de calidad que los haga capaces de crecer adecuadamente en los ambientes adversos de las ciudades. Para lograrlo se deben tener en cuenta ciertos elementos críticos en el sistema productivo, los cuales se describen en las secciones siguientes, además de los otros aspectos rutinarios de los viveros forestales tradicionales.

En Colombia los viveros dedicados a la producción y comercialización de plántulas de especies forestales, deben estar registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y cumplir los requisitos que se establecen en la Resolución 2457 de 2010. Sin

embargo, esta norma no es específica para la producción de plántulas de árboles y palmas para silvicultura urbana, que tiene sus particularidades, como se explica en este capítulo.

En la primera parte de este capítulo se describen los factores críticos de la producción de material vegetal para las ciudades; en la segunda parte se presenta una primera aproximación para la definición de estándares de calidad de las plantas que serán utilizadas en silvicultura urbana. Ambas buscan brindar lineamientos técnicos útiles que orienten el trabajo de los viveros. Estos lineamientos se elaboraron con base en la experiencia de los autores, las aproximaciones e investigaciones en otros países, la consulta y talleres con expertos y profesionales dedicados a la producción de material vegetal para silvicultura urbana en la región, así como las lecciones aprendidas de las investigaciones realizadas recientemente sobre el arbolado urbano en el Valle de Aburrá.



Los tutores son útiles para mantener la forma de las plantas en vivero

3.2. FACTORES CRÍTICOS DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIAL VEGETAL EN VIVERO PARA SILVICULTURA URBANA

3.2.1. Calidad y procedencia del material de propagación

Los sistemas de propagación utilizados en la producción de material vegetal son la sexual (mediante semillas) y la asexual (empleo de estacas, injertos, acodos, esquejes y cultivo de tejidos). En la propagación sexual ocurre intercambio de material genético de un árbol padre (que aporta el polen) y de un árbol madre (que aporta el óvulo). Por ello, tanto la semilla (resultante de la fecundación) como la nueva planta que se origina a partir de ella tienen la información genética de los árboles madre y padre (Schmidt, 2000). No obstante, generalmente solo se conocen las características del

La propagación de material vegetal para áreas urbanas tiene el compromiso de producir árboles vigorosos y sanos, capaces de crecer adecuadamente en los ambientes adversos de las ciudades

árbol madre del cual se colectaron las semillas; por lo tanto, la información genética de la nueva planta es parcialmente incierta.

En la propagación asexual, la nueva planta tiene la misma información genética que el árbol del cual fue obtenida y, por lo tanto, podemos seleccionar directamente las características deseables que tendrá el nuevo individuo (Finkeldey & Hattemer, 2007); además, el material de propagación se puede colectar permanentemente, a diferencia de lo que sucede con las semillas, cuya cosecha depende de las épocas de fructificación de cada especie.

A pesar de las ventajas mencionadas de la reproducción asexual para la silvicultura urbana, esta también tiene algunos problemas para su implementación: i) el riesgo derivado de la uniformidad genética, máxime si el genotipo que se propaga no está adaptado a los factores de estrés actuales de las ciudades, o a los que puedan presentarse en el futuro por causa de la variabilidad y el cambio climático (Johnston & Hirons, 2014); ii) no todas las especies forestales tropicales se han podido propagar mediante este sistema (Finkeldey & Hattemer, 2007); y iii) las plantas resultantes por lo general desarrollan un sistema radical superficial, sin una raíz pivotante principal (Leakey, 1985); esta característica afecta su anclaje al suelo y puede generar graves consecuencias de inestabilidad cuando el individuo esté adulto, así como representar riesgo para la infraestructura y las personas. No obstante, la propagación vegetativa sí puede utilizarse sin riesgos significativos en arbustos y otras plantas de menor porte que también conforman la vegetación de las áreas verdes urbanas.

Por lo anterior, se hace evidente la necesidad de desarrollar técnicas para mejorar la estructura y morfología de la raíz en árboles propagados vegetativamente. Por ejemplo, con los métodos de reproducción por microestaquillas se han obtenido buenos resultados (Dias, Xavier, Oliveira, Paiva, & Correia, 2012; Gimenes et al., 2015), los cuales sería necesario validar con los árboles de interés para silvicultura urbana. Mientras tanto, va a ser necesario que la propagación se continúe realizando por semillas.

Mientras no se tengan resultados de un programa de mejoramiento genético de las especies de interés, la recolección de semillas se debe realizar preferiblemente en poblaciones naturales cercanas a la ciudad donde se esperan plantar los árboles, o que provengan de condiciones climáticas y ambientales similares o más restrictivas que las del sitio de plantación (McKay, Christian, Harrison, & Rice, 2005). Esta última recomendación tiene su fundamento en las características ambientales de las ciudades, las cuales suelen ser más adversas que las de zonas rurales de condiciones ecológicas similares.

Se sugiere que los árboles semilleros se seleccionen en sitios inhóspitos y con ambientes extremos (como pendientes fuertes, suelos poco profundos, baja precipitación, drenaje excesivo, altas temperaturas, etc.), pues se espera que los genotipos allí estén adaptados a las condiciones de estrés que van a experimentar en muchos sitios urbanos. En las poblaciones donde se colecte semilla debería existir un número grande de individuos de la especie, lo cual garantiza mayor variabilidad genética (Ware, 1994; Paganová & Jureková, 2012; Sjöman, Gunnarsson, Pauleit, & Bothmer, 2012).

Sin embargo, el principal problema asociado a la colección de semillas es que no se tiene certeza de su calidad genética, lo cual origina varios riesgos potenciales. En primer lugar, es posible que las semillas provengan de individuos cercanamente emparentados (cuando ocurre autofertilización por aislamiento espacial o temporal, o cruces entre medios-hermanos). El resultado de tales cruzamientos se conoce como "depresión endogámica", cuyas consecuencias pueden ser semillas con baja germinación, plántulas débiles con alta mortalidad o árboles juveniles y adultos con lento crecimiento; susceptibles a plagas, enfermedades y muerte prematura, entre otros (Finkeldey & Hattemer, 2007). En segundo lugar, existe el riesgo que las plántulas no tengan la forma, tasa de crecimiento y capacidad de adaptación a las condiciones locales esperadas cuando se seleccionó el árbol madre, debido a la herencia transmitida por el árbol padre, cuyas características se desconocen.

Es común que se colecten semillas de árboles que están creciendo en la ciudad, lo cual no es deseable; no obstante, en casos extremos si tales colectas se van a realizar, deberían cumplir al menos tres requisitos para disminuir los riesgos derivados de la mala calidad genética del material colectado. En primer lugar, los árboles semilleros deben lucir sanos, vigorosos, con floración y fructificación abundante; tal condición es un indicio de que están bien adaptados a las condiciones locales de crecimiento. Con esto se garantiza que al menos las características que transmitirá el árbol madre a su descendencia son deseables. En segundo lugar, es necesario seleccionar solamente individuos que estén plantados en grupos de su misma especie o que los tengan cerca, de manera que pueda haber cruzamiento entre ellos, lo cual busca evitar los riesgos de autopolinización por causa del aislamiento mencionados atrás.

En tercer lugar, la colecta debería realizarse solamente en árboles madre cuya procedencia sea conocida y que no estén emparentados; esta recomendación es de gran importancia, toda vez que el principal riesgo de colectar semilla en la ciudad

Es común que se colecten semillas de árboles que están creciendo en la ciudad, lo cual no es deseable

La calidad del sistema de raíces tiene un gran efecto en el establecimiento exitoso de las plantas usadas en silvicultura urbana y, por lo tanto, el manejo en el vivero debe garantizarla

es que generalmente no se conoce la procedencia de los árboles semilleros. Aun colectando semillas de grupos de árboles, estas pueden ser endogámicas (resultado de cruces entre individuos con un parentesco cercano), puesto que comúnmente los individuos provienen de un mismo árbol madre, lo que significa que son por lo menos medios-hermanos. Por ello, no se deberían utilizar semillas comerciales cuyo origen es desconocido (Ware, 1994); no obstante, esta es una práctica generalizada en viveros forestales.

Es recomendable iniciar un programa de selección de árboles semilleros y otro de mejoramiento genético para las especies que se plantan en Medellín y el Valle de Aburrá. Para ambos casos, el trabajo se orientaría a la selección de genotipos aptos para la silvicultura urbana, de acuerdo con las características que se deseen seleccionar y priorizar para los diferentes tipos de áreas verdes urbanas. Es importante definir las características relacionadas con la apariencia del individuo, como forma de la copa, densidad del follaje o intensidad de la floración, así como la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Sæbø, Benedikz, & Randrup, 2003). Los beneficios del mejoramiento genético de árboles, arbustos y palmas seleccionados para las áreas verdes urbanas se podrían evaluar en términos de mejor desempeño y establecimiento de los individuos, menos problemas de plagas y enfermedades, reducción en los costos de manejo, mejores cualidades estéticas y ciclos de vida más largos. Sin embargo, desarrollar un programa de mejoramiento genético de esta naturaleza requiere tiempo y recursos financieros importantes, más aún si se debe desarrollar con la amplia diversidad de especies que normalmente se planta en las ciudades colombianas.

3.2.2. El sustrato de crecimiento de las plantas

La calidad del sistema de raíces tiene un gran efecto en el establecimiento exitoso de las plantas usadas en silvicultura urbana y, por lo tanto, el manejo en el vivero debe garantizarla. Si la planta tiene un sistema de raíces sano y extenso, que le permita anclarse rápida y fuertemente, además de tomar los nutrientes y el agua que necesita para su crecimiento, podrá sobrevivir mejor en las condiciones comúnmente desfavorables del sitio de plantación en los ambientes urbanos. A su vez, el adecuado desarrollo del sistema de raíces de las plantas en vivero depende en gran parte del sustrato de crecimiento utilizado.

Un sustrato cumple cuatro funciones básicas: i) proporcionar soporte a las plantas, ii) suministrar agua, iii) aportar nutrientes y iv) permitir el intercambio de gases desde y hacia las raíces. Desafortunadamente, en la selección de sustratos generalmente no se le da suficiente importancia a esta última función, y por esto

es común encontrar en los viveros plantas jóvenes creciendo en sustratos con exceso de humedad, lo cual inhibe el desarrollo y la formación de la raíz y aumenta la incidencia de plagas y enfermedades.

Por lo anterior, las propiedades físicas del sustrato son las más importantes, ya que si estas no son adecuadas desde el comienzo, difícilmente se podrán corregir en etapas posteriores de la producción en vivero, por lo que tendrá un efecto significativo en la calidad del sistema de raíces de las plantas (Ansorena, 1994). El sustrato debe proporcionar un balance entre la capacidad de retención de agua y el drenaje, por lo cual se debe seleccionar una mezcla de materiales que aporten estas características.

La utilización de suelo orgánico es una práctica muy común en los viveros forestales, pero no es una actividad sostenible desde el punto de vista ambiental, porque implica agotar las capas superficiales del suelo en las áreas de donde se extrae; además, generalmente presenta mal drenaje. Por esto, es recomendable realizar mezclas de materiales orgánicos con inorgánicos que aportan porosidad, y contribuyen a mejorar las condiciones de sanidad de las raíces; además disminuye el peso de los contenedores y, por lo tanto, facilita su manejo en el vivero y posterior transporte al sitio definitivo de siembra (Figura 1). Los materiales que se utilizan en estas mezclas idealmente deben ser de bajo costo y fácil consecución en la zona. Algunos de los materiales más utilizados en los viveros del Área Metropolitana del Valle de Aburrá para preparar los sustratos son: arena, cascarilla de arroz, fibra de coco molida, corteza de pino molida, capa orgánica del suelo (horizontes O y A) y compost de residuos animales y vegetales.

Cuando se usan dos o más componentes, las mezclas generalmente se realizan con base en volumen. Puesto que las propiedades químicas y físicas de la mezcla son diferentes a las de los componentes individuales, se recomienda analizarla. Algunos de los parámetros físicos y químicos críticos que se deben evaluar para determinar la calidad del sustrato y la mezcla de materiales que lo conforman, son:

Porosidad total, porosidad de aireación y retención de agua

Todas las células vivas, incluyendo las de las raíces de las plantas, necesitan oxígeno para los procesos de respiración y crecimiento, y estas a su vez producen CO₂, por lo cual el sustrato debe garantizar el intercambio gaseoso con la atmósfera; además, debe suplir las necesidades de agua de la planta. El tamaño de los poros determina el volumen de aire y agua que permanece en un contenedor una vez

El sustrato debe proporcionar un balance entre la capacidad de retención de agua y el drenaje

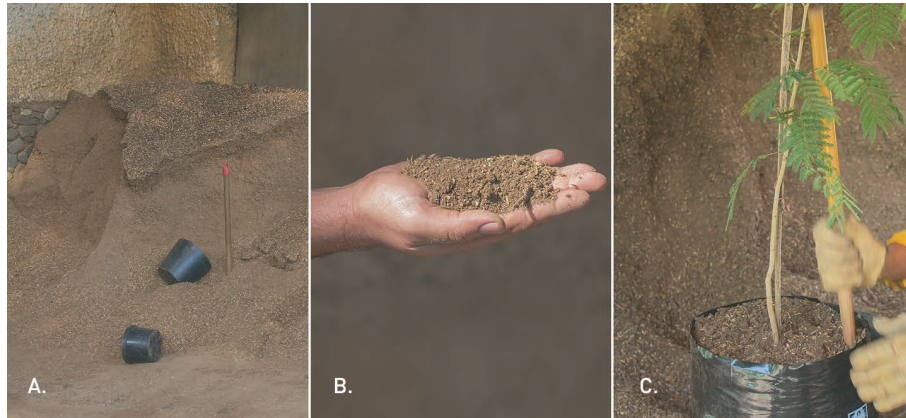


Figura 1. Sustratos utilizados en la producción de árboles urbanos en vivero. **A.** Para la obtención de un buen sustrato de siembra se utiliza una mezcla de materiales que le confieren diferentes propiedades deseables. **B.** Se recomienda tomar una muestra de sustrato (mezcla de materiales) para analizar parámetros físicos y químicos críticos en el desarrollo de las plántulas. **C.** El sustrato debe llenar completamente el contenedor, evitando la formación de bolsas de aire.

que ha escurrido el excedente después de un riego; los poros pequeños retienen agua y los grandes retienen aire. Una buena porosidad se consigue con un balance entre poros grandes y pequeños, pues permite que tanto el aire como el agua estén en contacto con las raíces, además de prevenir la pudrición; en general, la porosidad total debería estar por encima del 50 % (Tabla 1) (Mathers, Lowe, Scagel, Struve, & Case, 2007). Un sustrato con alta capacidad de retención de agua no requiere riego frecuente, lo cual aparentemente es deseable; sin embargo, generalmente es contraproducente porque la alta humedad puede inhibir el desarrollo de las raíces al crear condiciones de insuficiencia o falta total de oxígeno y aumentar los riesgos de enfermedades, según se explica en detalle en el numeral 2.5. Por ello, son preferibles los sustratos bien drenados.

Peso del sustrato

En silvicultura urbana, con frecuencia se requiere producir plantas jóvenes de mayor tamaño del que normalmente se usa en los viveros forestales convencionales; por esto se recomienda utilizar un sustrato liviano que facilite la movilización de los individuos hasta el sitio de plantación (Tabla 1).

Tabla 1. Valores recomendados de algunos parámetros físicos y químicos de los sustratos de crecimiento en vivero con perspectivas de utilización en la silvicultura urbana.

Porosidad total	Porosidad de aire	Retención de agua	Peso húmedo	pH	Conductividad eléctrica
Porcentaje en relación al volumen total de sustrato (%)			Kg l ⁻¹		milimhos/cm
50 a 85	20 a 30	20 a 25	1,0 a 1,5	5,5 a 6,5	< 4

Fuente: adaptado de Mathers et al. (2007) y Cabrera (2002).

Contenido inicial de nutrientes, salinidad y pH

Una vez los componentes del sustrato se han mezclado bien, se debe tomar una muestra para realizar un análisis químico completo. Las cantidades de algunos nutrientes pueden ser deficientes y las de otros, excesivas, lo cual puede ocasionar problemas de toxicidad, en cuyo caso es necesario realizar correctivos o enmiendas antes de su utilización. Para determinar el tipo y cantidad de fertilizante más adecuado es necesaria una interpretación de los resultados del análisis del sustrato; sin embargo, no es posible generalizar sobre el tipo y la dosis de fertilizante a aplicar, debido a la gran cantidad de variables que pueden actuar para cada caso; por ejemplo, se presentan diferencias en los requerimientos nutricionales entre las especies forestales, máxime cuando se trata de producir una variedad alta de especies para cumplir con las demandas para los espacios verdes urbanos.

Es importante mantener el pH del sustrato en valores que sean adecuados para las especies forestales, los cuales están entre 5,5 y 6,5 (ver Tabla 1). Cuando el medio de cultivo presenta valores muy alejados de este rango, por debajo o por encima, pueden presentarse algunos problemas fisiológicos con manifestación de síntomas, pues en estas condiciones ciertos elementos no son utilizables por las plantas (por ejemplo, la mayoría de micronutrientes a pH altos) y otros se solubilizan hasta el punto de ser tóxicos (hierro, sales de aluminio y manganeso a valores de pH muy bajos) (Argo & Fisher, 2002); además se puede afectar la asimilación de otros nutrientes. El control del pH en el sustrato de vivero debe hacerse de manera periódica y, según los resultados, se establecen los correctivos a que hubiere lugar, ya sea de acidificación (por ejemplo con ácido sulfúrico diluido o con azufre), o de basificación (por ejemplo con cal apagada o cal dolomítica) (Colombia,

La alta humedad del sustrato puede inhibir el desarrollo de las raíces por falta de oxígeno y riesgos de enfermedades.

Por ello, son preferibles aquellos bien drenados

Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, 1992). También es importante determinar si hay problemas de salinidad, pues cuando esta es muy alta (valores de CE –conductividad eléctrica– por encima de 4 milimhos/cm) (Tabla 1) se restringe el desarrollo de la mayoría de las especies (Salamanca, 1995).

Desinfestación

Finalmente, un sustrato de buena calidad debe estar libre de patógenos, insectos y otros organismos que puedan afectar el desarrollo saludable de las plantas. Se pueden emplear diversas técnicas para realizar su esterilización. Generalmente no se requiere la utilización de métodos de desinfestación química del sustrato de crecimiento, aunque sí es común que se empleen en los germinadores donde los riesgos de aparición de enfermedades como *damping-off* son altos. Las técnicas más utilizadas para purificar los medios de crecimiento son las físicas, que se fundamentan en el incremento sustancial de la temperatura, de tal modo que se inactiven o mueran los microorganismos presentes en él. Para ello se requiere alcanzar temperaturas altas (50 a 70°C durante un cierto período), lo cual se logra mediante aplicación de agua caliente, vapor de agua o solarización (Ramírez, 2003). Estos métodos tienen como principal problema su elevado costo de aplicación, por la cantidad de mano de obra necesaria y en algunos casos por su alta demanda energética.

También tiene potencial la utilización de métodos biológicos de desinfestación, con los cuales se ha logrado algún éxito a nivel experimental para el control de ciertos hongos específicos, pero aún no se han obtenido avances que se puedan implementar en operaciones comerciales de gran volumen; además, no son eficientes para varios tipos de patógenos. Un caso importante es el uso del hongo *Trichoderma viride* que actúa antagónicamente con *Rhizoctonia solani*, pues inactiva su desarrollo. Por otra parte, las incorporaciones orgánicas con alta relación C:N pueden controlar los ataques de los hongos *Fusarium solani f. phaseoli*, *Thielaviopsis basicola* y *Ophiobolus graminis*, pero con el gran inconveniente de que los efectos de estas enmiendas son de corta duración (Jauch, 1976).

Una técnica que se está empezando a introducir en la desinfestación de sustratos y otros materiales del vivero es la utilización de ozono (Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario, 2011; Takayama et al., 2006). Esta es una sustancia de rápida biodegradación, cuya acción biocida

se basa en su alto poder como oxidante protoplasmático general que destruye bacterias, virus, así como esporas y quistes resistentes de bacterias y hongos. Se recomienda ensayar esta técnica en los viveros del Valle de Aburrá por su eficacia e inocuidad ambiental.

Con base en lo anteriormente presentado, es clara la importancia de la calidad del sustrato para la producción de material vegetal destinado a ambientes urbanos; de ahí la necesidad de ser muy exigentes y meticulosos en su preparación; así mismo, se recomienda evaluar los sustratos que se están utilizando actualmente en los viveros que producen material vegetal para el Valle de Aburrá. Esta sola medida preventiva haría una gran contribución para mejorar la calidad del arbolado urbano, pues de acuerdo con la recomendación de expertos, se presentan algunos problemas relacionados con el medio de crecimiento de las plantas, entre ellos la excesiva humedad en la zona de raíces, la que puede conducir a deformaciones y problemas fitosanitarios.

3.2.3. Los contenedores

Las plantas no crecen naturalmente en contenedores, por lo cual este ambiente artificial afecta la morfología y el funcionamiento del sistema de raíces (Gilman & Beeson, 1996; Mathers et al., 2007). Por esto, en algunos viveros se utiliza una técnica de producción de árboles para silvicultura urbana que consiste en sembrarlos directamente en el suelo, donde pueden desarrollar un sistema de raíces sano y bien formado (Figura 2). Cuando los árboles se requieren para plantación, se cava una zanja alrededor (prepiloneo), varias semanas o meses antes de su traslado al sitio definitivo; luego se termina el piloneo y el balón de raíces se envuelve en una lona antes de transportar el árbol hasta el sitio de plantación (en inglés este procedimiento se conoce como *balled and burlaped*). Esta técnica incluye actividades similares a las que se realizan para el trasplante de árboles y palmas de gran tamaño (capítulo 6).

Al parecer, la utilización de este sistema en algunas especies, principalmente en palmas, permite mejor anclaje, mayor sobrevivencia y crecimiento de los individuos después de plantados en el sitio definitivo (Ferrini, Nicese, Mancuso, & Giuntoli, 2000). Sin embargo, la aplicación de esta técnica debe realizarse con cuidado y de manera gradual para que el árbol tenga tiempo de recuperarse del estrés producido; uno de los eventos más traumáticos es la pérdida de raíces finas durante la excavación, manipulación y amarre del cepellón, las cuales se dejan en el suelo o se mueren. Las raíces finas, que son cerca del 30 % del volumen total, son las responsables de la absorción de nutrientes y agua, por lo cual

Un sustrato de buena calidad debe estar libre de patógenos, insectos y otros organismos que puedan afectar el desarrollo saludable de las plantas

El ambiente artificial de los contenedores afecta la morfología y el funcionamiento del sistema de raíces de la planta

cuando se dañan o pierden, la planta se torna más susceptible a estrés hídrico y puede morir después del trasplante (Harris & Gilman, 1991). Así mismo, el embalaje, transporte y plantación del árbol en el sitio definitivo debe seguir protocolos rigurosos de protección y manejo.

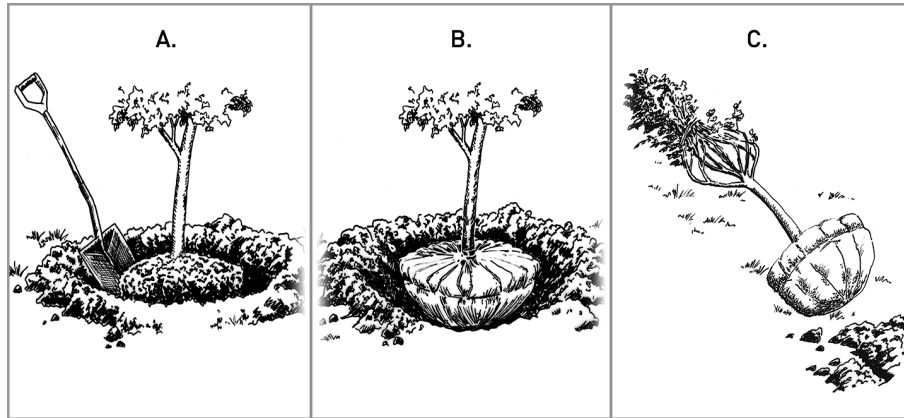


Figura 2. Actividades para el traslado de árboles de gran tamaño producidos mediante siembra directa en el suelo. A. Prepiloneo, que se realiza unos meses antes de traslado. B. Envoltura del balón de raíces con una tela de fibra biodegradable. C. Preparación para el transporte hasta el sitio de siembra.

Cuando la producción se realiza en contenedores, lo primero que se debe tener en cuenta son sus características deseables para la producción de árboles destinados a la silvicultura urbana: liviano pero resistente y de larga duración (el material debe aguantar la manipulación y el transporte, no se debe rasgar o descomponer rápidamente), debe promover la formación de un sistema de raíces sano, ser fácil de almacenar, proporcionar buen drenaje, tener un precio razonable (compatible con los costos de producción esperados por planta) y permitir su reutilización, y cuando esto ya no es posible, que al desecharlo no se genere contaminación (biodegradable) (O'Connor, 2014).

La ventaja de utilizar contenedores es que en ellos el sistema de raíces se conserva intacto durante la producción, transporte y trasplante, lo cual aumenta la probabilidad de sobrevivencia. Sin embargo, existen peligros asociados a la malformación de las raíces cuando chocan contra las paredes y se desvían hacia arriba, hacia abajo o empiezan a crecer alrededor de estas; en consecuencia se forman raíces compactadas, espiraladas o retorcidas, con graves efectos sobre la estabilidad del individuo

adulto, según se explicará más adelante (Zahreddine, Struve, & Quigley, 2004). Este inconveniente es particularmente crítico en la producción de árboles para silvicultura urbana, puesto que para alcanzar el tamaño de plantación requerido, estos generalmente deben permanecer largos períodos de tiempo en los contenedores; además es común que las fechas de plantación se retrasen, por lo cual permanecen en vivero más tiempo de lo programado.

El diseño de los contenedores debe promover la producción de un sistema de raíces denso, ramificado y simétrico alrededor del tallo (con raíces rectas que crecen radialmente), que se desarrolle hacia abajo, alrededor de la raíz principal, con ramificaciones múltiples de raicillas secundarias que ocupen la zona central y todo el cepellón de manera uniforme (Ferrini et al., 2000). El tamaño del contenedor tendrá gran efecto sobre el crecimiento de la planta y especialmente sobre el sistema de raíces. Por esto, la deformación de estas puede ser más pronunciada en contenedores pequeños, los cuales también suelen inducir estrés hídrico en las plántulas (NeSmith & Duval, 1998); sus dimensiones deben determinarse por el tamaño de las plantas que se desean producir, según se verá en las secciones siguientes de este capítulo.

El tamaño, color y material del contenedor afectan la temperatura dentro del sustrato. El crecimiento óptimo de las raíces ocurre entre 20 y 30 °C (Larcher, 2003); temperaturas por encima de 30 °C lo inhiben y por encima de 39 °C producen daños irreversibles (Johnson e Ingram, 1984). Esto es especialmente crítico en los contenedores de plástico negro, que actúan como sumideros de calor por su alta capacidad de absorber radiación y reflejar muy poca cuando se exponen a luz solar intensa (Ruter, 1999); además, la naturaleza no porosa del plástico evita el enfriamiento por evaporación desde los lados del contenedor (Beattie, Berghage, Puri, & Biddinger, 1987; Ruter, 1999). Es posible entonces que recipientes de un color claro o fabricados de telas o fibras permitan más reflexión y menos absorción de la radiación; además, posibilitan el enfriamiento evaporativo e intercambio de gases a través de las paredes en todo su perímetro (Ruter, 1999). Así mismo, contenedores de paredes porosas pueden ayudar a disminuir malformaciones de las raíces, por el efecto de la poda natural que se produce cuando estas lo traspasan y entran en contacto con el ambiente externo (Ortega et al., 2006) (Figura 3).

Otra técnica que se ha empleado en el diseño de contenedores para lograr que las raíces no se desvíen cuando entren en contacto con sus paredes, sino que paren el crecimiento y se ramifiquen, es impregnar su superficie interior con compuestos de cobre, los cuales producen un efecto de poda de la zona de crecimiento de la raíz (Pardos, Pardos, & Montero, 2001). Esta técnica tiene la

El diseño de los contenedores debe promover la producción de un sistema de raíces denso, ramificado y simétrico alrededor del tallo y de la raíz principal, con ramificaciones múltiples de raicillas secundarias

desventaja de que las sustancias utilizadas son tóxicas y contaminantes.

En Colombia no se producen comercialmente contenedores que faciliten la poda de las raíces y que eviten las altas temperaturas en el sustrato, pero en otros países existen marcas registradas como Air-pot®, Smart Pot Pruner®, Accelerator®, Air Root Pruning System®, Light Pot®, Superoots®, Ellepot system®, Fanntum®, Smart Pot®, entre otros. Algunos de estos se han evaluado en la producción de árboles relativamente grandes requeridos para silvicultura urbana (Levinsson, Sæbø, & Fransson, 2014; Tauer & Cole, 2009). La dificultad en la utilización de tales sistemas radica en los altos costos de estos productos importados.



Figura 3. Algunos contenedores utilizados en los viveros del Área Metropolitana del Valle de Aburrá para la producción de material vegetal para silvicultura urbana. A. Bolsas de plástico. B. Recipientes plásticos flexibles con agujeros en las paredes. C. Recipientes rígidos de plástico para árboles de gran tamaño. D. Bolsas de fibra porosa.

Existen otros métodos de producción que combinan las ventajas de varios sistemas (Neal & Lass, 2014). Uno de ellos consiste en sembrar los arbolitos en bolsas grandes de tela o fibra y enterrarlas en el suelo, lo cual permite el paso de agua, nutrientes y aire, a la vez que previene la malformación de las raíces y las mantiene dentro de la bolsa. Este sistema se ha ensayado a escala experimental en la producción de árboles para el Valle de Aburrá, los cuales se plantaron en costales de fibra que se enterraron en el suelo. En estas condiciones, el costal puede durar unos dos años sin deteriorarse, tiempo suficiente para que el árbol alcance de 3 a 4 m de altura y 10 cm de diámetro, dependiendo de la especie (Figura 4).



Figura 4. Sistema de producción de árboles para silvicultura urbana plantados en costales de fibra sintética enterrados. A. Perforación de los hoyos en el suelo utilizando una hoyadora mecánica. B. Vista de los hoyos distribuidos uniformemente en el terreno. C. El árbol sembrado en un costal de fibra sintética se entierra en el hoyo. D. Los lados de la bolsa y la parte superior se cubren con suelo. E. En algunos casos es necesario utilizar una vara tutora para mantener el fuste recto en los estados iniciales de crecimiento. F. Lote con árboles de mayor tamaño donde se puede observar un sistema de riego por goteo instalado para garantizar el suministro adecuado de agua.

Otros métodos conocidos como *pot-in-pot* usan un recipiente plástico rígido al cual se le inserta un contenedor de fibra del mismo tamaño que contiene la planta; de esta manera las raíces se mantienen dentro del recipiente, pero a la vez se protegen de altas temperaturas (Figura 5).

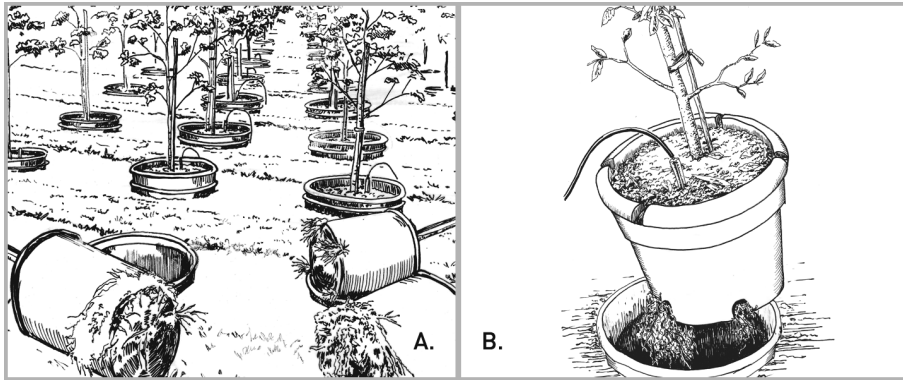


Figura 5. Sistema de contenedores conocidos como *pot-in-pot*
A. Vista general de un lote con filas de contenedores *pot-in-pot*; cada contenedor tiene riego individual. **B.** Detalle de un contenedor de fibra en el cual está sembrada la planta, que se inserta en un recipiente plástico rígido enterrado en el suelo

Para la producción de árboles destinados a los espacios urbanos, los contenedores que se usan hoy en el Valle de Aburrá son principalmente bolsas plásticas negras y, en unos pocos casos, recipientes plásticos rígidos o contenedores de fibra o geotextil (Figura 3). Uno de los factores que más afecta hoy la calidad de las plantas que se producen para silvicultura urbana en el Valle de Aburrá es el uso de contenedores muy pequeños (bolsas, con o sin fondo, y otros), lo cual genera muy baja masa radicular, deformaciones y estructura aérea incipiente. Por ello, y en concordancia con los lineamientos técnicos presentados en esta sección, es urgente evaluar otros tipos de contenedores, así como la eficacia en nuestro medio de la técnica de siembra directa en el suelo y continuar con los ensayos de siembra en costales en el suelo.

3.2.4. La nutrición de las plantas

Es claro que una nutrición deficiente de las plantas de vivero es uno de los factores que más limita su desarrollo posterior en el sitio de plantación, pues estas deficiencias generan altas tasas de mortalidad y crecimientos lentos en sus primeras fases (Oliet, Planelles, Artero, & Jacobs, 2005). El estado nutricional será

determinante cuando el árbol se establezca en las áreas verdes urbanas, muchas de las cuales presentan suelos con condiciones de fertilidad muy restrictivas.

En teoría, los problemas de nutrición desbalanceada en plantas de vivero se pueden diagnosticar mediante la realización de análisis químicos foliares; no obstante, en la práctica suele ser difícil determinar la relación específica de desórdenes (por insuficiencia o exceso de nutrientes) en plantas jóvenes, máxime en viveros enfocados hacia la silvicultura urbana, los cuales deben manejar una amplia diversidad de especies, con gran variabilidad de requerimientos entre ellas. De ahí la imposibilidad de generalizar con respecto a los esquemas de fertilización para árboles, que incluyen tipo, cantidad y periodicidad de aplicación de fertilizantes.

La realidad es que en nuestro medio no existen guías que permitan cuantificar y caracterizar las necesidades nutricionales particulares de los árboles en distintos estados de desarrollo, ni protocolos para la fertilización durante la fase de vivero de especies forestales nativas. Infortunadamente, se han realizado muy pocos estudios con especies que se plantan en programas de silvicultura urbana en el Valle de Aburrá, pero con los datos disponibles hasta ahora se evidencian diferencias en los requerimientos nutricionales, específicamente con la aplicación de nitrógeno y azufre, por lo cual sería necesario ajustar las fórmulas nutricionales que se utilizan en vivero de acuerdo con las especies que se producen (Herrera et al., 2014). Esta falta de información dificulta el manejo de la fertilización en estos primeros estados de desarrollo de las plantas, porque se pueden estar aplicando formulaciones incompletas y dosis de nutrientes por encima o por debajo de sus requerimientos, lo que afecta el crecimiento, salud y sobrevivencia de las especies, así como la eficiencia económica de los viveros.

Los fertilizantes de liberación lenta se están empezando a utilizar en la producción en viveros de árboles tropicales con el fin de disminuir la pérdida de nutrientes por lixiviación y reducir la mortalidad en la fase de plantación (Behling, Perrando, Bamberg, Sanquetta, & Nakajima, 2013; Lang et al., 2011). La ventaja de este tipo de fertilizantes es que los nutrientes se hacen disponibles de manera gradual para que puedan ser tomados por el sistema de raíces; así mismo, su liberación depende de la temperatura y la humedad del suelo, con lo cual la mayor disponibilidad coincide con el período de crecimiento más activo de las plantas (Tomaszewska, Jarosiewicz, & Karakulski, 2002); con esto se disminuye el efecto de salinización y se promueve la distribución homogénea de los nutrientes (Scivittaro, Oliveira, & Radmann, 2004). Algunas de las marcas comerciales más utilizadas en la

El estado de nutrición del árbol que sale del vivero será determinante cuando este se establezca en las áreas verdes urbanas, muchas de las cuales presentan suelos con condiciones de fertilidad muy restrictivas

producción de árboles en vivero son Basacote®, Osmocote®, Ekote®, Plantacote®, entre otras. La principal dificultad en su aplicación generalizada en viveros radica en los altos costos de estos productos, ya que son importados.

Existen métodos de aplicación de fertilizantes que permiten hacer un uso más eficiente de estos productos, como es el caso de la fertilización exponencial, que ajusta el suministro de nutrientes a la tasa de crecimiento de las plantas, la cual tiende a ser exponencial cuando no existen limitaciones ambientales (Rubio, Zhu, & Lynch, 2003). Este enfoque busca sincronizar la cantidad de fertilizante aplicado con las demandas de las plantas de acuerdo con su tamaño; por ello, mejora la absorción de los nutrientes y su uso más eficiente en comparación con la fertilización convencional, mediante la cual se aplican cantidades iguales a intervalos de tiempo regulares. La aplicación en cantidades constantes puede crear una sobreoferta de nutrientes al principio, cuando las plantas son jóvenes y pequeñas, por lo cual tienen una baja demanda de nutrientes; pero al mismo tiempo, ser insuficiente y producir deficiencias al final, cuando los árboles alcanzan un mayor tamaño (Imo & Timmer, 1992). La técnica de fertilización exponencial ya se ha ensayado con algunas especies forestales nativas de Colombia, con resultados diferenciales según la tasa de crecimiento (Gómez, 2012), pero sería necesario ampliar el número de especies que se evalúan para corroborar estos resultados preliminares.

3.2.5. El suministro de agua

Hay dos aspectos que son importantes en el suministro de agua para las plantas: la cantidad/periodicidad y su calidad. Esto es, por un lado, se debe garantizar el balance hídrico adecuado para que puedan alcanzar rápido crecimiento en todos sus estados de desarrollo; y, de otro lado, que el agua esté libre de contaminantes, patógenos y sustancias tóxicas que puedan poner en riesgo la sanidad de las plantas.

El principal efecto del exceso de agua en el suelo, producto de un drenaje lento o impedido, es que disminuye o impide la adecuada aireación radicular y por lo tanto crea condiciones hipóxicas (con niveles de oxígeno muy reducidos). Por esta causa y eventualmente debido a niveles extremadamente bajos de O₂ (anoxia) se desarrolla en la planta un tipo de tejido denominado aerénquima, el cual presenta espacios aéreos grandes que ayudan a una difusión más rápida de O₂ hacia las raíces (facilitan su respiración). Pero la causa real para que se forme este tipo de tejido es el etileno, el cual provoca que las células se expandan y sinteticen celulosa, enzima que hidroliza la celulosa, y que en gran medida es responsable de la degradación de las paredes celulares. El etileno

también induce mayor grosor basal del fuste, de forma irregular (esto podría explicar el déficit de convexidad tan pronunciado en algunas especies, que se puede confundir con una deformación anatómica de origen genético). Muchas especies forestales finalmente mueren cuando se plantan en suelos con mal drenaje o encharcables.


Cuando hay agua en exceso, aparecen otros factores que contribuyen al daño de las plantas, entre ellos, incremento de microorganismos anaeróbicos que dan origen a sustancias tóxicas y promueven la aparición de parásitos y patógenos (Walker, 1973). El exceso de agua también está implicado en disturbios nutricionales, no solo por lixiviación y pérdida de capacidad para la absorción de algunos nutrientes, sino también por cambios en el pH y concentración de sales.

El exceso de agua en el sustrato también disminuye la transpiración, la cual limita severamente la movilidad de calcio y boro en los tejidos. Por otra parte, en las células de tejidos deteriorados, tanto de la albura como del duramen, se almacena almidón, que luego de ser hidrolizado se convierte en sacarosa. Pocos granos de almidón producen grandes cantidades de sacarosa, la cual se concentra en la zona del cambium; este es un atractivo especial para multitud de parásitos, en especial insectos perforadores o barrenadores de la madera (Ramírez, 2011; Salisbury & Ross, 1992).

De otro lado, un sustrato con humedad muy baja no solo acarrea un proceso de deshidratación (déficit hídrico), sino que conduce al suministro inadecuado de nutrientes, con disminución del crecimiento y la manifestación de síntomas característicos (generalmente la deficiencia de potasio es la primera en presentarse). En casos críticos pueden presentarse daños como necrosis foliares, secamiento total de yemas, corteza reventada, secamientos de la raíz y finalmente la muerte de la planta.

La cantidad de agua necesaria por planta para la producción en un vivero forestal es muy variable, ya que depende de las condiciones climáticas de la zona. En climas cálidos y secos se va a requerir mayor cantidad de agua que en los húmedos o fríos. La capacidad de retención de humedad del sustrato utilizado también tiene un gran efecto. Se debe considerar además la eficiencia de la aplicación, la cual está influenciada por el sistema y la frecuencia de riego (todas las plantas deben recibir igual cantidad, debidamente dispersada en microgotas, de tal modo que no impacten con fuerza las hojas, y todas deben recibirla con la misma frecuencia).

La instalación de un sistema de riego aéreo (elevado a ± 2 m de altura), con boquillas tipo nebulizador de baja presión, distribuidas



Se debe garantizar que el agua utilizada en el vivero esté libre de contaminantes, patógenos y sustancias tóxicas

de tal modo que permitan un cubrimiento homogéneo de todas las plantas, es, en general, el sistema más indicado, económico y seguro en viveros forestales (Davey, 1984; Sánchez-Díaz & Aguirreolea, 1993). El riego siempre debe realizarse muy temprano en las mañanas, o en las últimas horas de la tarde; debe evitarse bajo plena radiación solar, ya que el cubrimiento de los limbos foliares con una película de agua actúa como una lente o lupa ante la radiación, que causa lesiones necróticas en los tejidos de la hoja, daño conocido comúnmente como "golpe de sol". Así mismo, deben realizarse monitoreos permanentes para ajustar la duración, cantidad y frecuencia del riego, con el objeto de evitar la aplicación de agua en exceso.

Por otra parte, la calidad del agua de riego para viveros juega un papel muy importante en el desarrollo de las plantas. Se requiere el uso de aguas limpias, libres de contaminantes, con bajos índices de carbonato de sodio y un pH adecuado (Figura 6); aunque el pH óptimo es de 5,5, generalmente se pueden utilizar aguas con pH entre 4,5 y 7,0. El agua con pH por encima de 8,0 no debe ser utilizada, a menos que su contenido de Na sea bajo y se pueda acidificar (Davey, 1984); debe evitarse el agua que tenga un porcentaje elevado de Na, máxime si el sustrato contiene alta proporción de Na reemplazable. Las plantas afectadas por problemas de salinidad pueden presentar enanismo, con hojas y tallos más pequeños de lo normal; así mismo, las hojas adquieren un color verdeazulado (Hansen & Israelsen, 1980).

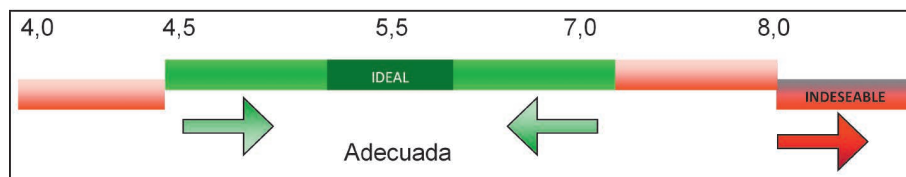


Figura 6.
Rangos adecuados de pH del agua para viveros (Davey, 1984).

También se debe cuidar el contenido de otros elementos químicos, en particular boro y cobre, porque aun concentraciones relativamente bajas pueden ser tóxicas; por ejemplo, aguas con un contenido de boro superior a 2 ppm no son recomendables para riego en vivero (Davey, 1984). Obviamente, el agua con la que se riega no debe tener contaminante químico u orgánico alguno, por lo cual su grado de turbidez debe ser bajo.

3.2.6. El ambiente lumínico

La luz juega un papel muy importante en la fisiología de los árboles, palmas y arbustos; en general, según sus requerimientos lumínicos, las plantas se dividen en heliófitas o de plena exposición (aquellas especies que requieren alta luminosidad), y en umbrófilas, esciófitas o tolerantes a la sombra (las que requieren baja luminosidad) (Bazzaz & Pickett, 1980). Algunas especies tienen mayor rango de aclimatación a ambas condiciones, pero, en general, el rango lumínico adecuado para la mayoría es limitado, por lo menos en alguna de sus etapas de crecimiento. Las características de la luz que tienen influencia sobre el crecimiento de las plantas son: la intensidad, la calidad o composición espectral y las variaciones fotoperiódicas (Mejía, 1988); no obstante, las dos últimas no tienen gran relevancia para el manejo de viveros en la región tropical, por lo cual solo nos referiremos a la intensidad lumínica.

La baja intensidad lumínica en un vivero puede ocurrir debido a factores climáticos como la nubosidad, pero también por causa del manejo, como la aglomeración de plantas jóvenes en eras de crecimiento y el cubrimiento excesivo de los cobertizos techo-sombra. En condiciones de baja luminosidad se estimula la formación de entrenudos más largos, así como el desarrollo de tejidos suculentos y parenquimatosos en perjuicio de la suberificación y lignificación, lo que trae como consecuencia reducción de las membranas celulósicas, fragilidad estructural física y debilitamiento de la resistencia normal al ataque de agentes patógenos. Este fenómeno, conocido como etiolación, es una situación patológica resultante del mantenimiento prolongado de las plantas en condiciones de oscuridad o en niveles muy bajos de radiación (Salisbury & Ross, 1992).

También cuando la intensidad de luz es baja, la relación carbono/nitrógeno se altera a favor de un aumento de nitrógeno. La mayor susceptibilidad al ataque de hongos, y muchas veces de artrópodos, podría ser causada por la proporción más alta de nitrógeno que se forma en las plantas expuestas a menor luminosidad. La escasez de luz hace que las plantas sean más susceptibles al ataque de patógenos facultativos, no así al de parásitos absolutos u obligados (Jauch, 1976). Las condiciones de sombra también traen consigo menor temperatura ambiental en comparación con espacios abiertos y, por tanto, aumento en la humedad relativa, lo cual contribuye también a reducir las tasas de evapotranspiración y crea condiciones más favorables para la proliferación de hongos y otros patógenos; por ello, es importante garantizar la libre circulación del aire en las áreas del vivero cubiertas con techo-sombra. En general deben evitarse condiciones de muy baja iluminación

relativa, inferiores a 20 %, aun cuando se estén produciendo especies tolerantes a la sombra.

Por el contrario, la exposición a la alta radiación puede producir estrés lumínico y fotoinhibición en las plantas jóvenes de muchas especies (Krause et al., 2006); cuando esta se presenta, ocurren daños en los cloroplastos, lo que reduce la capacidad fotosintética y el crecimiento de las plantas, y también puede producir albinismo, e incluso conducir las a la muerte (Mejía, 1988; Salisbury & Ross, 1992). Por ello, en la mayoría de los casos es conveniente que el vivero cuente con protección de techo-sombra, pues un sombreado leve (deseablemente con filtro ultravioleta), por ejemplo el que produce una iluminación relativa del 70-80 %, suele ser conveniente para la mayoría de las especies, aun las muy heliófitas, ya que evita el estrés por exceso de luz (Figura 7).



Figura 7.
Umbráculos para protección de alta radiación y golpe de sol.

El manejo de la luz, junto con el riego, son herramientas poderosas para acelerar o frenar el crecimiento de los árboles, pues es común que la programación de la producción del vivero deba modificarse según los retrasos o urgencias de las demandas externas. Así mismo, el manejo de ambos factores de crecimiento es fundamental durante el período de rustificación, previo a la salida del material para el campo.

3.2.7. Las asociaciones con microorganismos del suelo

Micorrizas: son asociaciones simbióticas generalmente mutualistas entre un hongo y la raíz de una planta, en la cual la planta

hospedera recibe recursos del suelo (nutrientes minerales y agua) y el hongo recibe compuestos orgánicos producto de la fotosíntesis. La función más importante de las micorrizas es la nutricional, pues con el micelio externo del hongo, las raíces micorrizadas exploran un mayor volumen de sustrato para la absorción de agua y nutrientes, principalmente de elementos poco móviles en el suelo como fósforo, zinc y cobre (Hernández & Salas, 2009; Osorio, 2012).

En las especies forestales, los tipos más importantes son las micorrizas arbusculares (MA) y las ectomicorrizas (EM) (Brundrett, Bougher, Dell, Grove, & Malajczuk, 1995). Las MA se forman en casi todos los tipos de plantas vasculares (cerca del 90 % de las familias de plantas terrestres), incluyendo la gran mayoría de árboles, arbustos y palmas tropicales, con hongos que pertenecen al Phylum Glomeromycota (Redecker et al., 2013). Por su parte, son menos las especies leñosas que forman EM con hongos de los Phylum Basidiomycota y algunos Ascomycota, pero su importancia global es muy grande debido a que se utilizan masivamente en la industria mundial de madera y pulpa, como Pinaceae, Fagaceae, Myrtaceae y Dipterocarpaceae. Al contrario de las MA, las raíces con EM se pueden distinguir a simple vista de las raíces no micorrizadas, pues la colonización induce su ramificación, engrosamiento y cambio de coloración (Brundrett et al., 1995).

Bacterias fijadoras de nitrógeno y otros microorganismos: la fijación biológica es un proceso mediado por algunas bacterias que poseen la enzima nitrogenasa, por lo que son capaces de hacer la conversión bioquímica del N_2 gaseoso de la atmósfera a NH_3^+ (amonio), el cual se incorpora a sus células. Los grupos más importantes que forman asociaciones con las raíces de las especies forestales son los actinomicetos del género *Frankia*, que se asocian con algunas familias de árboles como las Betulaceae y las bacterias *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* con las leguminosas (Myrold, Ruess, & Klug, 1999).

Otros microorganismos que tienen potencial de contribuir a la nutrición, sanidad y adaptación de las especies forestales son los microorganismos solubilizadores de fósforo y los promotores de crecimiento vegetal, que ya han mostrado resultados importantes en plantas jóvenes de vivero (Alarcón & Ferrera-Cerrato, 2000; Osorio, 2007).

Es clara la importancia que tiene la inoculación efectiva del material vegetal leñoso desde la fase de vivero, pues los microorganismos benéficos del suelo contribuyen a una mayor sobrevivencia y mejor crecimiento inicial de los árboles en las zonas verdes urbanas, a través de las asociaciones y otras interacciones ya descritas; de esta manera, también contribuyen a disminuir

La función más importante de las micorrizas es la nutricional, pues las raíces micorrizadas exploran un mayor volumen de suelo para la absorción de agua y nutrientes

los costos de manejo en el sitio de plantación, representados principalmente en aplicación de fertilizantes, riego y atención de problemas fitosanitarios.

3.2.8. El manejo de la sanidad de las plantas en el vivero

Es muy importante que los individuos que van a ser plantados en las ciudades estén libres de patógenos y plagas, debido a que estarán sometidos a condiciones de alto estrés, que pueden incrementar estos problemas. En gran parte, la sanidad de las plantas depende de estrategias integrales de manejo, que se pueden resumir en los siguientes principios:

Evitabilidad

Consiste fundamentalmente en evitar, en lo posible, que patógenos y plagas conocidos y ya establecidos en una zona puedan afectar a las plantas jóvenes. Esto se puede lograr mediante la selección de especies leñosas resistentes, o sitios donde el riesgo de ataque sea bajo; este factor se debería tener en cuenta en la selección de especies para silvicultura urbana. Las prácticas de manejo del vivero también deberían aplicar este principio, por ejemplo con el control de la densidad de los árboles durante su desarrollo (Figura 8).



Figura 8. Manejo inadecuado de plantas en vivero que contradice el principio de evitabilidad. A. Exceso de densidad en las eras de crecimiento. B. Heterogeneidad de especies por era de crecimiento y enmalezamiento.

Exclusión

Son medidas orientadas a prevenir la diseminación de enfermedades y plagas que se puede generar durante el movimiento del material vegetal. La manera de hacer efectivo este principio es mediante la legislación a escala nacional e internacional, con medidas como la inspección fitosanitaria, la expedición de certificaciones para su movilización, las cuarentenas y, a veces, la prohibición de importación o movilización dentro de un país. En el campo forestal en Colombia es poco lo que se ha hecho para la aplicación de este principio a nivel general; particularmente, para la producción de plantas para silvicultura urbana debe obtenerse del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) la certificación ambiental y sanitaria (ver Capítulo 7 sobre normatividad).

Erradicación

Se refiere a la eliminación del material afectado (semillas, sustratos o material vegetal) en el área del vivero, bien sea con productos químicos o medios físicos (ej. con aplicación de calor). Esta es una buena práctica de erradicación, siempre y cuando se haga poco tiempo después de detectar los síntomas, lo cual solamente se logra mediante un programa de supervisión permanente.

Protección

Consiste en la prevención de la enfermedad, ya sea por medio de un tratamiento químico tóxico al posible agente asociado, el desarrollo de biotipos del hospedero resistentes a la enfermedad o por modificación especial de las condiciones ambientales del vivero.

El uso de productos químicos para prevenir el ataque de enfermedades que comúnmente se realiza en la agricultura no es recomendable para la producción de árboles que se utilizarán en silvicultura urbana. Esta sugerencia se fundamenta en varias razones: el alto costo de algunos productos químicos, su elevada toxicidad, efectos residuales y posible generación de resistencias; por ello, para su utilización se requiere un conocimiento especializado y aplicación cuidadosa. Además, el uso de algunos componentes tiene restricciones legales. Por esta razón, deben aplicarse en casos muy puntuales, solo cuando hay alta probabilidad de ataque de una plaga o patógeno, o cuando el ataque se haya producido (Benedikz, Ferrini, García-Valdecantos, & Tello, 2005; Ramírez, 2003).

La inoculación efectiva del material vegetal desde la fase de vivero es importante, porque los microorganismos benéficos del suelo contribuyen a una mayor sobrevivencia y mejor crecimiento inicial de los árboles en las zonas verdes urbanas

3.2.9. Podas en vivero

Las podas de los árboles urbanos en vivero constituyen un factor crítico de manejo, porque si no se realizan adecuadamente, se puede modificar completamente la arquitectura del árbol y causar daños permanentes en su forma, los cuales tendrán consecuencias en su estabilidad y seguridad en el sitio de plantación. En silvicultura urbana suelen preferirse árboles que tengan un único tallo líder, más alto y más grueso que las ramas, porque el individuo con estas características es más resistente a vientos fuertes y otros factores de daño mecánico.

En árboles con tallos ramificados o bifurcados es mayor el riesgo de desprendimientos o rupturas, los cuales pueden ocasionar accidentes cuando crecen cerca de construcciones, calles, aceras o caminos peatonales. En este tipo de espacios urbanos (con alto riesgo de daños) se deberían seleccionar especies y genotipos con dominancia marcada de un tallo líder. El manejo en vivero de tales árboles debería garantizar que se forme un tallo dominante (que crezca más alto) sobre el resto de la copa del individuo (ramas permanentes). Estas ramas deben tener un diámetro menor que el del tallo líder y crecer por debajo de este para evitar que pierda su dominancia (Gilman, 2011).

Por debajo de la copa de ramas permanentes crecen otras más delgadas, que con el tiempo se caerán naturalmente o que deberán ser removidas en el sitio donde se plante el árbol (ramas temporales). Estas últimas no se deben podar en el vivero, porque el hacerlo tiene varias consecuencias: en primer lugar, promueve el crecimiento excesivo en altura del individuo, lo cual genera un tallo elongado, delgado y débil que tiende a inclinarse; en segundo lugar, aumenta el espacio libre en el fuste y se promueve la distribución más esparcida de las ramas permanentes. Por el contrario, cuando se conservan en vivero las temporales, se disminuye la elongación excesiva en altura, se logra un mayor incremento en el diámetro (esto hace que el individuo sea más resistente) y se favorece la formación de una copa permanente más densa (Gilman, Anderson, & Harchick, 2006; Gilman, 2011).

En consecuencia, las podas en vivero deberán evitarse; solamente cuando el desarrollo del árbol se aleje de la descripción anterior, se debe intervenir con podas, entre las cuales se pueden mencionar: i) poda de las puntas de las ramas permanentes cuando su altura empieza a sobrepasar al tallo líder; ii) poda de las puntas de las ramas temporales que tengan una elongación excesiva; iii) eliminación de ramas que crecen juntas; iv) reemplazo del tallo líder (si se detiene su crecimiento debido a daños mecánicos o

bióticos) por una rama permanente cercana, cuyo crecimiento se dirige hacia arriba con la ayuda de un tutor (Figura 9).

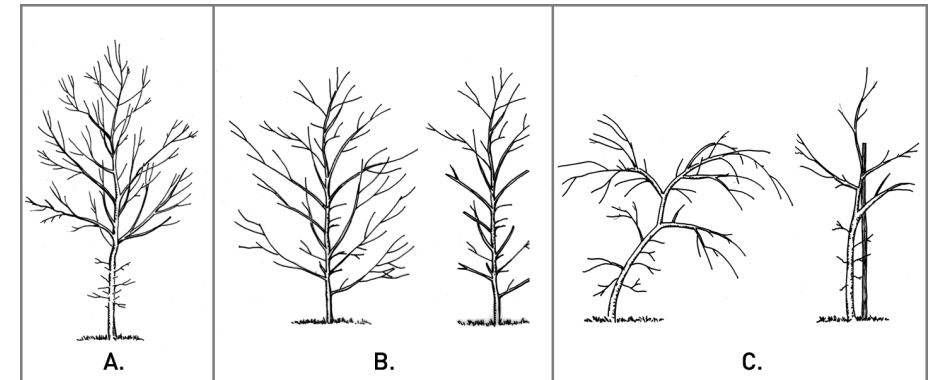


Figura 9.

A. Forma ideal del árbol al salir del vivero: copa balanceada que tiene ramas permanentes bien distribuidas a lo largo de la porción superior de un único tallo dominante y ramas temporales en el tramo inferior. **B.** Podas que se pueden hacer en vivero para lograr la forma ideal del árbol: despunte de las ramas permanentes cuando compiten con el tallo líder, corte apical de las ramas temporales que tengan una elongación excesiva y eliminación en toda la copa de ramas que crecen juntas. **C.** Reemplazo del tallo líder cuando ocurren daños mecánicos o bióticos (Adaptado de Gilman, 2011).

Si bien la poda puede ser recomendable en árboles que presenten problemas de bifurcación o proliferación de troncos, en muchas especies de árboles tropicales también son comunes la forma o arquitectura de la copa que no tienen un único tallo líder; en tales casos no se debería forzar mediante podas el ajuste al modelo de tallo monopódico. No obstante, su plantación debe realizarse solamente en sitios que no representen riesgos.

3.2.10. Rustificación o endurecimiento

Como ya se ha mencionado, los sitios donde se plantan los árboles en las ciudades tienen muchas restricciones para el crecimiento vegetal; por ello, es necesario que al final del período de vivero se lleven a cabo una serie de procedimientos que los preparen para crecer en estos ambientes adversos, lo cual ha recibido diferentes denominaciones, entre ellas: rustificación, endurecimiento o acondicionamiento. Este proceso se realiza con el fin de: i) modificar la morfología de las plantas e inducir latencia en algunos

Es necesario que al final del período de vivero se lleven a cabo procedimientos de endurecimiento que preparen a los árboles para crecer en los ambientes urbanos adversos

tejidos, ii) aclimatar las plantas a las condiciones ambientales del sitio de plantación, iii) desarrollar mecanismos de resistencia al estrés y iv) mejorar la supervivencia y el crecimiento después de la plantación (Landis, 1999).

El riesgo más alto para la sobrevivencia de las especies leñosas en las zonas verdes urbanas es la deshidratación (Whitlow & Bassuk, 1987), la cual se presenta generalmente desde el momento mismo de la plantación a causa del "shock de trasplante" asociado al estrés hídrico producido por la falta de contacto entre las raíces del cepellón y el suelo circundante, y se supera cuando se extiende el sistema radical con el crecimiento de nuevas raíces. Por esto, un objetivo importante de la fase de vivero debería ser producir plantas resistentes al estrés hídrico, y para esto es fundamental tanto la escogencia de genotipos tolerantes a ambientes secos y estresantes, como su adecuación a los mismos (un sistema radical vigoroso y denso es determinante), que se logra mediante la rustificación (Bussotti, Desotgiu, Pollastrini, & Cascio, 2010).

La aclimatación de las plantas a la sequía es el resultado de un proceso de exposición a condiciones de estrés moderado que inducen ajustes morfológicos y fisiológicos asociados con un incremento en la tolerancia a la baja disponibilidad de agua (Guarnaschelli, Garau, & Lemcoff, 2012). Por lo tanto, una actividad corriente al final de la fase de vivero es reducir la frecuencia del riego, sometiendo a las plántulas a condiciones progresivas de estrés hídrico. En general, los niveles medios de sequía tienen mejores efectos que las condiciones de sequía baja o extrema; estas últimas pueden dañar las plantas de manera irreversible por pérdida de la conductividad del xilema debido a procesos de cavitación (interrupción de la columna de agua en los tejidos conductores de la planta por burbujas de aire) (Vilagrosa, Cortina, Gil-Pelegrín, & Bellot, 2003; Villar-Salvador et al., 2004).

La duración del período de acondicionamiento de las plantas a la sequía es diferente según las especies, pero en general los períodos largos (de 3 a 6 meses) producen mejores resultados que los cortos (Chirino et al., 2009). Pero no solamente es importante el nivel de estrés hídrico, sino también la velocidad de desecación; en general, una baja velocidad de desecación tiene un efecto muy positivo sobre el endurecimiento de las plantas, mientras que una alta velocidad lo inhibe (Vilagrosa, Villar-Salvador, & Puértolas, 2006). Al final de este período, inmediatamente antes de que las plantas se lleven al sitio de plantación, se deben regar hasta que el sustrato alcance capacidad de campo, de manera que se asegure un buen estado hídrico de las plantas (Chirino et al., 2009).

Las características funcionales de cada especie pueden condicionar el efecto del endurecimiento, pues un mismo nivel de sequía

puede afectar de forma diferente a distintas especies (Vilagrosa et al., 2003). En general, los mecanismos que contribuyen a evitar el estrés hídrico durante la rustificación son, de un lado, la disminución de la transpiración cuticular (difusión directa de vapor a través de la cutícula de la hoja) y cierre estomático (los estomas son pequeñas aberturas que comunican los espacios intercelulares y el medio externo y son responsables hasta del 90 % de la transpiración), lo cual ayuda a mantener la economía hídrica de las plantas. De otro lado, la reducción de la biomasa aérea y aumento de la de raíces permite activar rápidamente los mecanismos de toma de agua del suelo en el sitio de plantación (Chirino et al., 2009). Estas especificidades se deberán evaluar en el material producido para silvicultura urbana, mediante el seguimiento de la humedad del sustrato con equipos apropiados, así como del nivel hídrico de las plantas y sus respuestas fisiológicas y morfológicas.

Así mismo, las prácticas de rustificación comprenden el aumento del espaciamiento entre las plantas en la etapa final de vivero aunque como norma, siempre debe evitarse su apiñamiento), con actividades de rotación periódica y reducción gradual de la sombra (Jaenicke, 1999). Esto permite que gradualmente incida una mayor cantidad de la radiación solar, con lo cual se consigue que las nuevas hojas que se vayan formando estén aclimatadas a estas condiciones de alta iluminación, similares a las del sitio de plantación; este procedimiento además busca evitar procesos de fotoinhibición que disminuyan considerablemente las tasas de fotosíntesis y por lo tanto el crecimiento de las plantas en el campo (Salisbury & Ross, 1992). También, con la mayor radiación y espaciamiento se aumenta la lignificación de los tallos, lo cual los hace más resistentes a los factores climáticos y a los daños mecánicos producidos por el transporte y el viento, entre otros.

La relación entre la nutrición de las plantas y los procesos de rustificación es controversial. De un lado, se sostiene que durante este período se debería cambiar el régimen de fertilización hacia formulaciones bajas en nitrógeno y altas en potasio (Chirino et al., 2009). Esto se debe a que el nitrógeno estimula el rápido crecimiento de biomasa aérea con tejidos suculentos más sensibles a la desecación, lo cual afectaría negativamente el balance hídrico de las plantas; de otro lado, el aumento en el suministro de potasio promueve la formación de tejidos más leñosos, incrementa la absorción de agua y disminuye las pérdidas por transpiración, con lo que mejora el crecimiento después de la plantación (Garau, Guarnaschelli, Mema, & Lemcoff, 2004). Sin embargo, no hay resultados claros de la ventaja que representa esta técnica para las especies leñosas (Chirino et al., 2009), pues el incremento potencial en el endurecimiento inducido por el recorte y desbalance de

los nutrientes no siempre compensa el efecto negativo del menor tamaño y pobre estado nutricional de las plantas (Vilagrosa et al., 2006), más aún para las plantas que deben crecer en ambientes urbanos hostiles.

Por otra parte, se considera que para mejorar la sobrevivencia y el desarrollo inicial los árboles deben estar en un estado óptimo de nutrición y, más aún, deberían llevar una reserva de nutrientes que les permita sobrevivir mientras que se desarrollan las nuevas raíces y empiezan a tomar los nutrientes del suelo. Para esto sería necesario aplicar la técnica de sobrecarga de nutrientes durante el período de rustificación. Esta técnica se basa en la curva de crecimiento de las plantas como respuesta al incremento en la adición de nutrientes, la cual se divide en tres regiones que corresponden a zonas de deficiencia, consumo suntuario y toxicidad (Figura 10).

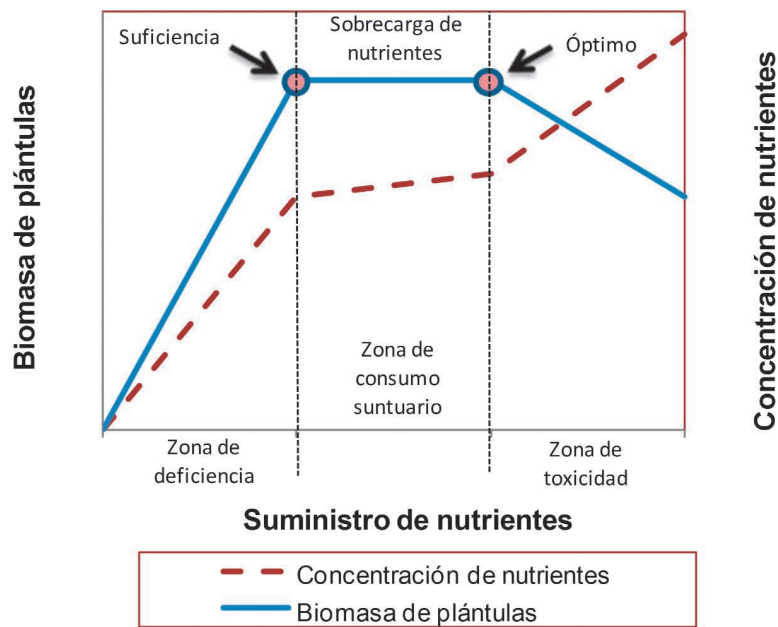


Figura 10. Curva de crecimiento de las plantas como respuesta al incremento en la adición de nutrientes.

Tradicionalmente se ha considerado que el nivel óptimo de fertilización de una planta se encuentra en la región de suficiencia (Figura 10), sin embargo, de acuerdo con el concepto de sobrecarga de nutrientes, el nivel óptimo de aplicación de fertilizante se encuentra justo por debajo del nivel de toxicidad, pues una vez alcanzan la asíntota de máximo crecimiento, los árboles jóvenes toman nutrientes adicionales al nivel de consumo suntuario y son capaces de almacenarlos como reservas en los tejidos de sus tallos y raíces para utilizarlos posteriormente, una vez se hayan plantado en el sitio definitivo (Timmer, 1997); por ello, los árboles que se han manejado con sobrecarga de nutrientes se desempeñan y sobreviven mejor, aun en suelos degradados (Salifu, Jacobs, & Birge, 2009) o cuando se plantan en ambientes de baja fertilidad, comunes en las áreas urbanas; esta estrategia además disminuiría los costos asociados a la fertilización después de la plantación.

Se recomienda evaluar la utilidad de esta técnica para aumentar la sobrevivencia y crecimiento inicial de las especies leñosas en las zonas verdes urbanas; para ello será necesario desarrollar ensayos con diferentes dosis, composición y cantidades de fertilizante.







3.3. HACIA EL DESARROLLO DE ESTÁNDARES DE CALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN EN VIVERO DE PLANTAS QUE SERÁN UTILIZADAS EN SILVICULTURA URBANA

La probabilidad de sobrevivencia del arbolado urbano durante la fase de plantación es mayor cuando el material de vivero es de alta calidad; además, las plantas se establecen con mayor rapidez y son más longevas. Puesto que los defectos en el fuste y en la estructura de las ramas son más fáciles de corregir que los defectos en el sistema de raíces, la evaluación de los parámetros de calidad asociados a esta estructura van a ser los más determinantes para el desarrollo futuro de los individuos.

Un vivero especializado en la producción de árboles, arbustos y palmas que se van a establecer en diferentes ambientes y espacios de la ciudad debe enfocarse en obtener plantas que cumplan con las siguientes características (Johnston & Hirons, 2014):

- 🌿 **Identificación certificada:** donde conste que la planta corresponda a la especie, procedencia o variedad que se requiere.

La probabilidad de sobrevivencia de árboles, palmas y arbustos en la fase de plantación en la ciudad es mayor cuando el material de vivero es de alta calidad

-  **Sanidad:** que la planta tenga un aspecto saludable, con buena vitalidad, libre de plagas, enfermedades, estrés abiótico y daños mecánicos.
-  **Forma de la copa:** debe ser la típica de un individuo joven de cada especie en particular; debe ser simétrica y sin deformaciones por efecto de viento, podas, plagas, enfermedades y otros factores.
-  **Hojas:** el tamaño, color y apariencia deben ser los típicos de la especie y edad del individuo. Las hojas no deben tener una apariencia atrofiada o deforme y no estar rotas, descoloridas (clorótica o necrótica) o presentar cualquier forma de anomalía.
-  **Ramas:** su crecimiento (longitud y diámetro) debe ser el típico de la especie y edad de la planta. No debe tener ramas muertas, enfermas, quebradas o deformadas; debe tener buena fijación al tallo y disponerse en una estructura balanceada, con una adecuada cicatrización de las heridas ocasionadas por podas de formación, en caso de que las presente.
-  **Fuste:** debe ser rígido, recto, de un grosor suficiente que garantice el autosoporte; libre de heridas sin adecuada cicatrización, de zonas quemadas por el sol, de cuerpos fructíferos de hongos, de grietas en la madera, orificios de insectos barrenadores, agallas, chancros, pedazos de corteza desprendida, etc.
-  **Raíces:** su desarrollo debe ser el típico de la especie, con distribución uniforme y simétrica en el sustrato (en todas las direcciones) y alta ocupación del contenedor. Deben presentar un crecimiento adecuado con el sistema de raíces extenso, denso y fibroso; estar libres de malformaciones (por ejemplo raíces espiraladas), de daños bióticos (insectos, patógenos, etc.) y aquellos ocasionados por agentes abióticos (toxicidad por herbicidas, daños por salinidad, exceso de irrigación, etc.).

Estos estándares de calidad no se han definido en nuestro medio, por ello, a continuación se presenta una primera aproximación, la cual es producto de un esfuerzo de síntesis por parte de los autores de información dispersa en una gran cantidad de fuentes, consulta de expertos y de la propia experiencia. Se debe iniciar, por lo tanto, un trabajo a mediano y largo plazo con el fin de desarrollar estos parámetros para nuestras especies y las condiciones ambientales locales.

3.3.1. El tamaño de la planta al momento de la plantación

En general, en el Valle de Aburrá se considera que el tamaño mínimo de los árboles para la silvicultura urbana debe ser de 1,5 m de altura, mas no se ha definido un tamaño máximo de las plantas, el cual debe estar en un rango que permita una rápida adaptación y establecimiento en el sitio de plantación, lo cual significa que el sistema de raíces alcance un balance con el área de la copa en los primeros 6 a 12 meses de crecimiento. En principio, no debería existir un límite máximo de tamaño, no obstante, debido a las dificultades técnicas y logísticas, riesgos y costos implícitos en la plantación de árboles muy grandes, con el nivel de desarrollo tecnológico actual que posee la región, probablemente el tamaño máximo no logre superar los 4 a 5 m de altura.

3.3.2. El equilibrio entre los diferentes componentes de las plantas

La proporción ente la altura y el diámetro de la planta es un parámetro fundamental para evaluar su calidad cuando salen del vivero. Esta se mide con un calibrador a 15 cm por encima del cuello de la raíz si es menor de 10 cm; si por el contrario es mayor de 10 cm, la medida se toma a 30 cm de altura. Si el tallo es circular, basta una medida, pero si es irregular, se calcula el promedio de dos medidas tomadas en el eje mayor y menor.

Tabla 2. Relación entre diámetro, volumen mínimo del contenedor y altura del árbol (AHIA, 2014).

Diámetro (cm)	Volumen mínimo del contenedor (galones)	Rangos de altura (m)
2,5	5	1,80 - 3,0
5,0	20	3,0 - 4,2
7,5	45	3,6 - 4,8
10,0	95	4,2 - 5,4

A pesar de que con la información disponible actualmente sobre las especies plantadas en las zonas verdes urbanas del Valle de Aburrá es difícil definir las proporciones óptimas entre altura y diámetro de las plantas, se propone una primera aproximación (Tabla 2) con base en los estándares de producción desarrollados para otros países (American Horticulture Industry Association, 2014), que será necesario validar, ajustar y especificar con mayor

La proporción entre la altura y el diámetro de la planta es un parámetro fundamental para evaluar su calidad en el momento en que salen del vivero

detalle cuando se tengan datos de los diferentes tipos arquitectónicos de árboles, palmas y arbustos que se plantan en las áreas verdes urbanas en el Valle de Aburrá.

Existen otras características que están relacionadas con la arquitectura de la especie y que son determinantes en la calidad de los árboles, y sobre las cuales es necesario desarrollar la investigación aplicada que permita definir estándares según formas de crecimiento (arbustos, árboles y palmas) y tipos arquitectónicos de copa, por ejemplo: aparasolada, compacta, globosa, columnar, cónica, etc. Entre tales características están: número mínimo de ramas y altura de ramificación, así como dimensiones mínimas del contenedor para el material vegetal que se va a plantar.

Otra medición importante es el diámetro en el cuello de la raíz, pues es un indicador indirecto de la resistencia del árbol y del tamaño de su sistema de raíces. La relación entre altura (cm) y diámetro del cuello (mm) se define como índice de esbeltez, cuyo valor debe oscilar en un rango aproximado de 4 a 7. Como se mencionó, sería necesario validar estos rangos con las especies que se utilizan localmente en silvicultura urbana, en función de su sobrevivencia y adaptación en campo (Roller, 1977).

$$\text{Índice de esbeltez} = \frac{\text{Altura de la plántula hasta la yema terminal (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}}$$

Para determinar directamente la proporción de raíces con relación a la parte aérea de la planta se debe calcular la razón de la biomasa aérea (BA) con relación a la biomasa de raíces (BR), lo cual requiere la realización de un muestreo que implica la cosecha y secado en horno de algunos ejemplares. En general, se consideran adecuados valores de la razón BA:BR entre 1 y 2, puesto que una relación balanceada entre la porción que transpira y la que absorbe agua es un indicador de que el estado hídrico potencial del individuo en el sitio de plantación estaría en equilibrio (Grossnickle, 2012; Santelices, Espinoza, Cabrera, Peña-Rojas, & Donoso, 2013). Sin embargo, los rangos adecuados de estos índices para cada especie deben determinarse en el campo, en función de la salud, vigor y sobrevivencia de los individuos, para lo cual no existe investigación local.

$$\text{Razón BA:BR} = \frac{\text{Biomasa de la porción aérea (g)}}{\text{Biomasa de la porción de raíces (g)}}$$

La relación entre la porción aérea y la de raíces también se puede evaluar indirectamente a través del volumen del contenedor, asumiendo que hay una ocupación amplia y uniforme del sustrato

con un sistema de raíces bien formado (Tabla 2). Puesto que el muestreo de la BR es destructivo, sería mejor desarrollar herramientas que permitan estimar los valores de la biomasa de raíces en función del volumen del contenedor u otras variables de fácil medición.

3.3.3. Localización del cuello de la raíz

Si el cuello de la raíz está muy enterrado, la planta puede morir a mediano plazo debido a la falta de oxígeno para la respiración radical, o debido al crecimiento de raíces alrededor del tallo, por encima del cuello. Cuando se ve que el tallo de la planta sale del sustrato (sin raíces a su alrededor), se debe excavar hasta encontrar su cuello. La raíz superior debe estar a menos de 2.5 cm de profundidad. No se debe plantar en campo un arbolito que tiene el cuello enterrado en el sustrato; cuando esto ocurre, antes de plantarlo se deben retirar las raíces y el sustrato localizados por encima del cuello.

3.3.4. Defectos del sistema de raíces

Durante todo el proceso de producción en vivero se debe tener cuidado con la manipulación de las raíces para evitar que se produzcan defectos en su forma, porque una vez se producen, son casi imposibles de corregir; además, esta condición reduce considerablemente la capacidad de sobrevivencia y crecimiento de las plantas en el sitio definitivo de plantación en las áreas verdes urbanas. Adicionalmente, estos problemas son difíciles de diagnosticar porque no se detectan a simple vista.

Los defectos más comunes en las raíces de árboles cultivados en contenedores son formas espiraladas, retorcidas y estranguladoras de tallo (Ferrini et al., 2000). Los individuos con problemas severos de raíces espiraladas no se deben plantar (Figura 11). Si están muy cerca del tallo, pueden hacer que disminuya su crecimiento porque llegan a ahorcarlo al impedir el flujo de agua y nutrientes. Las raíces espiraladas que se forman en la parte exterior son especialmente problemáticas (denominadas raíces confinadas), porque forman una barrera física que impide que las demás raíces se expandan y crezcan hacia el exterior, una vez se ha plantado en el campo. Las nuevas raíces que se forman quedan aprisionadas, lo que hace que la planta sea muy inestable y más susceptible a ser derribada por el viento.

Las raíces espiraladas o circulares se generan cuando los árboles crecen durante períodos prolongados en contenedores, lo cual produce que estas se tuerzan al chocar contra las paredes del

El diámetro en el cuello de la raíz es un indicador indirecto de la resistencia del árbol y del tamaño de su sistema de raíces

contenedor y crezcan en forma circular dentro del mismo. Todas estas raíces se deben cortar en el vivero, cuando los arbolitos se transfieren a un nuevo contenedor más grande y cuando se plantan en el sitio definitivo.

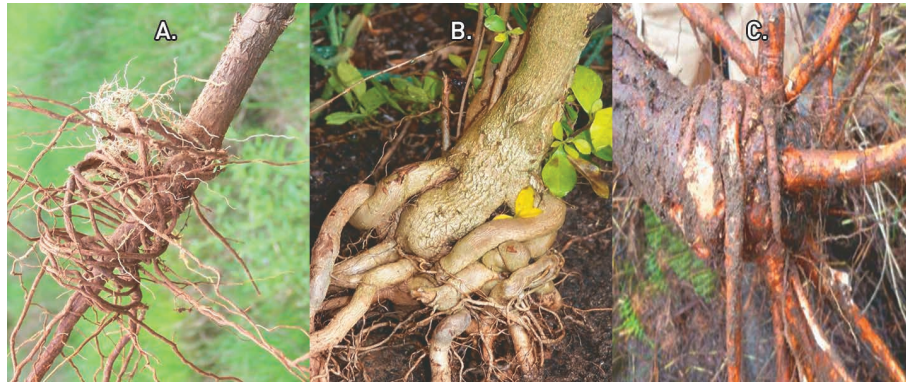


Figura 11. Deformaciones radicales más comunes que se presentan en árboles jóvenes que crecen en contenedores en vivero. A. Raíces espiraladas. B. Raíces retorcidas. C. Raíces estranguladoras del tallo.

Se deben evitar defectos en las raíces, los cuales son casi imposibles de corregir y reducen la sobrevivencia y crecimiento de los árboles en las ciudades

Las raíces retorcidas "cuello de ganso" son aquellas que se han desviado y al crecer han vuelto sobre sí mismas (Figura 11). Esta situación ocurre cuando se doblan en las eras de propagación, o al momento del trasplante al contenedor. Esta condición dificulta el paso de agua, nutrientes y azúcares, además de que no proporcionan un adecuado soporte mecánico al arbolito. Este defecto es más grave en raíces gruesas que en aquellas delgadas. Las raíces retorcidas que se forman en la parte superior y se voltean sobre el tallo se generan cuando las nuevas crecen en forma perpendicular a una que se cortó, o cuando el árbol está creciendo en un contenedor muy largo. A medida que el tallo incrementa el diámetro, estas raíces pueden hacer contacto con él y empiezan a estrangularlo, por lo cual se denominan raíces estranguladoras de tallos; esta situación puede causar pudrición en las raíces y en el tronco, lo que reduce la estabilidad del árbol, principalmente frente a vientos fuertes.

Se puede hacer una prueba rápida para evaluar la calidad del sistema de raíces (Gilman & Sadowski, 2007). Cuando una planta se empuja por el tallo hacia adelante y hacia atrás, aquel que tiene un buen sistema de raíces se doblará a lo largo de su longitud, pero se mantendrá firme en la parte inferior junto al sustrato. El

tallo de una planta que tiene un sistema de raíces con defectos, generalmente tendrá un movimiento pivotante desde la base y se inclinará bastante sobre el sustrato antes de que se doble el tallo, lo cual es evidencia de que tiene raíces espiraladas, que se formaron cuando estaba en un contenedor muy pequeño (Figura 11). Estos resultados no necesariamente eliminan la posibilidad de plantar este árbol, pero es un serio indicio de que existen defectos en las raíces cercanas al tallo.

Un aspecto que también se debe evaluar es la localización de la planta en el centro del contenedor. Cuando una planta crece muy desviada del centro, generalmente las raíces no crecen en forma simétrica alrededor del tallo, sino que tienden a crecer más hacia el lado donde tienen más espacio, lo cual puede tener consecuencias a largo plazo al generar menor estabilidad del árbol en el sitio de plantación. Por ello, se propone aceptar una tolerancia máxima de 10 % de desviación con respecto a la dimensión del diámetro.

3.3.5. Forma del tallo y estructura de las ramas

Cuando se seleccionan plantas jóvenes con buena forma y estructura, se disminuye la necesidad de futuras podas y mantenimiento en general. Aquellas con forma y estructura deficientes van requerir más podas, pues será necesario remover una mayor porción de copa para corregir defectos.

Se considera que los árboles de mayor calidad tienen un solo tallo dominante (Figura 12). La presencia de múltiples tallos líderes representa debilidad, porque puede ocasionar que el árbol se quiebre o reviente a medida que crece. El problema se agrava cuando el árbol tiene doble fuste con corteza incluida (Figura 12). Sin embargo, algunos de las especies de árboles y arbustos que se emplean en silvicultura urbana en nuestras ciudades, por la arquitectura característica de su copa, presentan múltiples tallos de manera natural; obviamente, esta situación no tiene que ser corregida. Se debe cuidar que las ramas, aunque sean curvas, no se crucen o se entrelacen, sino que sigan direcciones más o menos paralelas (Figura 12). El tallo y las ramas principales no se deben podar en el vivero a menos que deba corregirse algún defecto o que ocurra un imprevisto. El diámetro de las ramas debe ser menor a $2/3$ del diámetro del tallo principal. Cuando la especie tiene un solo tallo principal, este debe ser recto, sin curvaturas, y la yema terminal, estar activa y sana; cuando posee múltiples tallos líderes, algunas veces su forma natural tiene curvaturas.

La distribución del follaje en la copa puede ser variable entre diferentes especies. Aunque es deseable que la copa tenga distribución homogénea del follaje, es más importante que tenga un

buen arreglo de las ramas, pues si el árbol tiene una estructura de ramas simétrica y homogénea, las zonas con menos follaje se irán llenando y balanceando a medida que crece.



Figura 12. Deformaciones más comunes en el tallo y estructura de las ramas que se presentan en árboles jóvenes en vivero. A. Bifurcaciones. B. Corteza incluida. C. Curvatura del fuste.

3.3.6. Lignificación

La lignina es un polímero que se forma por la extracción irreversible del agua de los azúcares; puesto que sustituye a la mayor parte del agua de la membrana celular, produce su endurecimiento y aumento de volumen (que forma la pared celular). Se deposita en diversos tipos de células vegetales, principalmente en las paredes del esclerénquima, vasos del xilema y traqueidas, y confiere la resistencia y rigidez típicas de la madera con una cierta pérdida de elasticidad. Cuando los tejidos del tallo del arbolito están adecuadamente lignificados, tienen una coloración verde/bronceada y consistencia leñosa, lo cual le permite quedarse erecto luego de un movimiento de oscilación.

3.3.7. Estado de sanidad de las plantas

La planta sana se caracteriza por la ausencia de síntomas o signos de enfermedades infecciosas, parasitarias y carenciales, y también de daños abióticos. En cuanto a las enfermedades, es necesario considerar que cada una presenta una gama cambiante de síntomas, según su etapa de desarrollo, la etapa de desarrollo del hospedero y los efectos ambientales. Muchos síntomas son bastante característicos, pero otros pueden confundirse fácilmente con desórdenes nutricionales, daños causados por insectos o ácaros, toxicidad por uso de plaguicidas o anomalías

genéticas. Es importante advertir que agentes diferentes pueden ocasionar síntomas similares, o eventualmente presentarse un sinergismo (acción conjunta potenciada). Solo un especialista podría definir la etiología o verdadera causa del problema.

Los factores que se deben considerar para realizar la evaluación de la sanidad de los árboles jóvenes que se van a plantar en las zonas verdes urbanas son los siguientes:

- 🌿 **Heridas en el tallo:** se debe observar con cuidado el tallo, para detectar heridas. Los individuos que tienen heridas muy grandes definitivamente deben descartarse para la plantación (Figura 13).



Figura 13. Problemas más comunes de sanidad en árboles de vivero. A. Pudriciones por exceso de humedad. B. Heridas en el tallo. C. Marchitamiento y defoliación.

- 🌿 **Coloración anormal de tejidos:** alteración en el tono verde de las hojas, amarillamientos, áreas rojizas o bronceadas. Esto puede ocurrir en puntos o en líneas bien definidas, en áreas irregulares o en órganos enteros de la planta. La aparición de áreas cloróticas, amarillentas o de color verde claro, se debe a la destrucción de la clorofila o a la inhibición de formación de la misma. En el caso de ciertas lesiones localizadas, causadas comúnmente por hongos, bacterias, insectos o ácaros, el patógeno o parásito produce toxinas que destruyen la clorofila en áreas más o menos definidas, con frecuencia alrededor de puntos o manchas necróticas. Muchas infecciones virales inhiben la síntesis de clorofila en ciertas zonas del parénquima foliar, aparentemente mediante un desbalance. Por otra parte, las afecciones vasculares o corticales del tallo y de la raíz generalmente

producen clorosis en el follaje, debido a la interferencia en el transporte de elementos químicos nutritivos indispensables para la síntesis de clorofila (Ramírez, 2011). Las causas más comunes en la coloración anormal de tejidos obedecen a uno o más de los siguientes factores: deficiencias nutricionales, fitotoxicidad, disturbios hídricos, ataque de patógenos o parásitos (especialmente áfidos o ácaros).

🌿 **Marchitamiento:** corresponde a una pérdida de turgencia generalizada de las células (Figura 13). Los tipos más conocidos de marchitez son debidos a infecciones vasculares. Ciertas necrosis corticales pueden conducir a una marchitez súbita, que no deben confundirse con aquellas causadas por déficit hídrico severo (sequía) o por fitotoxicidad (p. e., plaguicidas o fertilizantes). Algunos tipos de marchitamiento crónico se deben a lesiones de la raíz que reducen la absorción de agua. Las plantas afectadas pueden permanecer vivas, pero se marchitan en los períodos de altas temperaturas y sequías. Muchos nemátodos, algunos hongos y unas pocas bacterias causan este efecto (Ramírez, 2011).

🌿 **Necrosis o muerte de tejidos:** los tejidos mueren y adquieren una coloración oscura. La muerte de las células puede ser ocasionada por causas directas o indirectas. Son directas cuando las toxinas que posee el patógeno o parásito penetran en la célula e interfieren con los procesos vitales, lo que redundará en su deterioro. Las causas indirectas son las más numerosas. Una de ellas es la muerte de la célula por deshidratación, la cual puede deberse a la disolución de las paredes celulares o a un aumento en la permeabilidad de las membranas. Otra reacción indirecta ocurre cuando las defensas del hospedero consisten en la acumulación de fenoles oxidados que matan las células en áreas definidas, o en las barreras mecánicas que aíslan parte del tejido, el cual muere por falta de agua y nutrientes. Generalmente, la interrupción de la comunicación vascular de cualquier tejido con el resto de la planta conduce a su muerte por falta de agua y nutrientes, aunque ese tejido no esté afectado por el patógeno ni sus metabolitos. Enfermedades con síntomas de esta naturaleza se denominan daños distales. El tejido muerto se oscurece debido a la oxidación de polifenoles, aunque estos no sean la causa primaria de la muerte (Jauch, 1976; Ramírez, 2003).

🌿 **Chancros:** corresponden a áreas necróticas hundidas en fustes o ramas. También se les conoce como “cáncer”. Generalmente son causados por diferentes tipos de hongos.


🌿 **Pudriciones:** los tejidos se ablandan y a veces toman una consistencia acuosa. Generalmente se presenta necrosis o muerte de tejidos. Este síntoma se debe principalmente a la acción de enzimas pectolíticas y celulolíticas producidas por ciertas bacterias, en especial del género *Erwinia*; por diversos hongos como *Pythium*, *Phytophthora* y *Rhizopus*, y por algunos nemátodos. El patógeno invade los espacios intercelulares de los órganos suculentos y libera enzimas que se difunden por el tejido. Este puede suavizarse ligeramente o convertirse en una masa acuosa, lo cual depende del patógeno y del grado de succulencia de los tejidos. Normalmente, diversos hongos y bacterias que se alimentan de materia orgánica muerta invaden el tejido afectado y son los principales causantes de los olores desagradables asociados con las pudriciones (Ferreira, 1989; Jauch, 1976).

🌿 **Defoliación:** las hojas se desprenden prematuramente. Es común que la defoliación ocurra en una etapa avanzada de la enfermedad; frecuentemente es de origen hormonal y normalmente es precedida por otros síntomas. La defoliación también puede ser ocasionada por insectos, los cuales pueden afectar parcial o totalmente los limbos foliares o acículas, de acuerdo con sus hábitos (Jauch, 1976; Ramírez, 2003, 2011).

🌿 **Crecimientos anormales:** pueden presentarse desde pequeños tumores o hinchazones en cualquier parte de la planta hasta deformaciones que involucran todas sus partes. Los crecimientos anómalos pueden afectar desde unas pocas células hasta todo un órgano. A menudo esto se debe a hormonas u otros reguladores producidos por el patógeno, el hospedero, o ambos, que llegan a interferir con el crecimiento balanceado de los tejidos.

El tipo de malformación depende de la reacción celular y del tejido en donde esto ocurra. La elongación excesiva de ciertas células en pecíolos y limbos foliares causa enrollamiento, encrespamiento u otras distorsiones foliares. El aumento del tamaño de las células corticales de raíces y tallos da como resultado la presencia de agallas, tumores o nódulos. La hipertrofia (aumento en el tamaño de las células) e hiperplasia (aumento del número de células) en los tejidos meristemáticos produce hinchazones. La distribución sistemática de niveles altos de auxinas, giberelinas o kinetinas causa gigantismo, desarrollo de raíces adventicias y pérdida de dominancia apical, que pueden deberse a diferentes patógenos, principalmente

Agrobacterium radiobacter p.v. tumefaciens, bacteria que causa "agalla de corona" en varias especies, y *Meloidogyne incognita*, nemátodo que causa agallas y nódulos radiculares en *Tabebuia* spp., *Cordia alliodora*, *Erythrina* spp., y otro numeroso grupo de hospederos (Jauch, 1976; Ramírez, 2013).

 **Enanismo:** la planta crece muy lentamente o deja de crecer del todo. Este es un síntoma directo o indirecto de varias enfermedades, dentro de las cuales se pueden involucrar algunas carenciales, por deficiencias nutricionales, o por otro factor abiótico en particular, sin descartar la acción de nemátodos o insectos radiculares. En algunos casos, el enanismo se debe a la presencia de ciertos inhibidores de crecimiento. No obstante, se deriva indirectamente de causas muy diversas, por ejemplo cualquier limitación metabólica, unida a una respiración acelerada, fundamentalmente en estados juveniles de la planta. Ocasionalmente, el enanismo se limita a porciones de ciertos tallos, donde los entrenudos no se elongan lo suficiente por el efecto de bloqueadores de auxinas u otros inhibidores. La condición anterior se conoce como "roseta" o "arrepollamiento" (Jauch, 1976).

3.3.8. Correcto funcionamiento de la planta

La evaluación del funcionamiento de la planta es un asunto complejo que comprende aspectos de su estado nutricional, capacidad fotosintética, sistema radical activo y respuesta al potencial hídrico, entre otros. Aunque, como se ha mencionado anteriormente, algunas características externas de la planta pueden mostrar síntomas de este funcionamiento en aspectos como el color del follaje, la turgencia de las hojas, etc.

La evaluación de la fisiología de las especies requiere, en muchos casos, la utilización de equipo especializado y la realización de análisis de laboratorio. Una de las variables que puede ser de más fácil medición y que proporciona un buen diagnóstico del estado fisiológico de la planta es la fluorescencia de la clorofila, la cual es un indicador del nivel de estrés, que puede ser ocasionado por deficiencias nutricionales, déficit hídrico o lumínico, o por presencia de enfermedades (Ow, Yeo, & Sim, 2011; Scattolin, Alzetta, Bolzon, Sambo, & Accordi, 2013). La medición es instantánea con un equipo portátil denominado fluorómetro, del cual existen varias marcas y modelos en el mercado.

3.3.9. Evaluación de relaciones simbióticas con microorganismos del suelo


Se deben evaluar principalmente la presencia de hongos micorrícicos y, en el caso de las leguminosas, también la asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno (Benedikz et al., 2005). Lamentablemente, las micorrizas arbusculares, que son las que se presentan en la gran mayoría de las especies de árboles tropicales, no se pueden detectar a simple vista y se requiere de un procesamiento especializado de las raíces para su observación en microscopio. En el caso de las ectomicorrizas, sí se pueden observar a simple vista, pero muy pocas especies de árboles tropicales tienen este tipo de asociación. La asociación de bacterias fijadoras de nitrógeno con las leguminosas se puede determinar fácilmente mediante la observación de nódulos en la raíces de la planta.

3.4. ANOTACIONES FINALES

Con base en el análisis y recomendaciones presentados en este capítulo, se puede concluir que es necesario desarrollar los protocolos de producción en vivero y estándares de calidad para nuestras especies de árboles, palmas y arbustos, que son aptos para plantar en las áreas verdes urbanas. El desarrollo de tales protocolos demandará mucha investigación. Infortunadamente, en casi todos los aspectos relacionados con la producción y manejo de árboles para los ambientes urbanos no existen estudios locales. Por ello, es urgente la puesta en marcha de un programa de investigación sistemático y de largo plazo con el apoyo de todos los actores interesados, de tal manera que se puedan precisar y validar los lineamientos generales que aquí se presentan.

3.5. REFERENCIAS

- Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 26(2), 191-203.
- American Horticulture Industry Association. AHIA. (2014). *American Standard for Nursery Stock: ANSI Z60.1-2014*. Stella Court: AmericanHort.
- Ansorena, J. (1994). *Sustratos: propiedades y caracterización*. Madrid: Mundi-Prensa.

 *Es necesario desarrollar los protocolos de producción en vivero y estándares de calidad de plantas para nuestras especies de árboles, palmas y arbustos que son aptos para plantar en las áreas verdes urbanas*

- Argo, W. R., & Fisher, P. R. (2002). *Understanding PH Management for Container-grown Crops*. Willoughby: Greenhouse Grower.
- Bazzaz, F. A., & Pickett, S. T. A. (1980). Physiological Ecology of Tropical Succession: A Comparative Review. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11(1), 287–310. doi:10.1146/annurev.es.11.110180.001443
- Beattie, D. J., Berghage, R., Puri, V., & Biddinger, E. (1987). Plant Growth Thrives on a High Fiber Diet: the Pros and Cons of Fiber Containers for Nursery Growing. *Nursery Management & Production*, 15(3), 81–83.
- Behling, A., Perrando, E. R., Bamberg, R., Sanquetta, C. R., & Nakajima, N. Y. (2013). Efeito da Nutrição no Crescimento de Mudanças de Bauhinia Forficata Link. *Interciencia*, 38(2), 139–144.
- Benedikz, T., Ferrini, F., García-Valdecantos, J. L., & Tello, M. L. (2005). Plant Quality and Establishment. In C. Konijnendijk, K. Nilsson, T. Randrup, & J. Schipperijn (Eds.), *Urban Forests and Trees* (pp. 231–256). New York: Springer. doi:10.1007/3-540-27684-X
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1995). Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.
- Bussotti, F., Desotgiu, R., Pollastrini, M., & Cascio, C. (2010). The JIP Test: a Tool to Screen the Capacity of Plant Adaptation to Climate Change. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(Suppl. 8), 43–50. doi:10.1080/02827581.2010.485777
- Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. (2011). *Proyecto OZOSOL: Aplicaciones del ozono en desinfección de suelos agrícolas destinados al cultivo de planta de fresa. Memoria Técnica*. Palencia: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario.
- Chirino, E., Vilagrosa, A., Cortina, J., Valdecantos, A., Fuentes, D., Trubbat, R., ... Vallejo, V. R. (2009). Ecological Restoration in Degraded Drylands: the Need to Improve the Seedling Quality and Site Conditions in the Field. In S. P. Grossberg (Ed.), *Forest Management* (pp. 85–158). Hauppauge: Nova Science Publishers.
- Colombia, Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente. (1992). *20 Años de experiencia en viveros forestales: investigación forestal*. Bogotá: INDERENA.
- Davey, C. B. (1984). *Establecimiento y manejo de viveros para pinos en la América tropical*. Raleigh: Cooperativa de Recursos de Coníferas de Centroamérica y México (CAMCORE).
- Dias, P. C., Xavier, A., Oliveira, L. S. de, Paiva, H. N. de, & Correia, A. C. G. (2012). Propagação Vegetativa de Progênies de Meios-irmãos de Angico-vermelho (*Anadenanthera Macrocarpa* (Benth) Brenan) por Miniestaquia. *Revista Árvore*, 36(3), 389–399. doi:10.1590/S0100-67622012000300001
- Evans, J. (1992). *Plantation Forestry in the Tropics: Tree Planting for Industrial, Social, Environmental and Agroforestry Purposes* (2nd ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Ferreira, F. A. (1989). *Patologia Florestal: Principais Doenças Florestais no Brasil*. Serviços de Inspeção Federal.
- Ferrini, F., Nicese, F. P., Mancuso, S., & Giuntoli, A. (2000). Effect of Nursery Production Method and Planting Techniques on Tree Establishment in Urban Sites: Preliminary Results. *Journal of Arboriculture*, 26(5), 281–284.
- Finkeldey, R., & Hattemer, H. H. (2007). *Tropical Forest Genetics*. New York: Springer. doi:10.1007/978-3-540-37398-8
- Garau, A. M., Guarnaschelli, A. B., Mema, V., & Lemcoff, J. H. (2004). Tissue Water Relations in Eucalyptus Seedlings: Effects of Species, K Fertilization and Drought. In *Eucalyptus in a Changing World: International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalypts*. Aveiro, Portugal: RAIZ: Instituto de Investigação da Floresta e Papel.
- Gilman, E. F. (2011). *An Illustrated Guide to Pruning* (3rd ed.). Clifton Park: Cengage.
- Gilman, E. F., Anderson, P. J., & Harchick, C. (2006). Pruning Lower Branches of Live Oak (*Quercus virginiana* Mill.) Cultivars and Seedlings during Nursery Production: Balancing Growth and Efficiency. *Journal of Environmental Horticulture*, 24(4), 201–206.
- Gilman, E. F., & Beeson, R. C. (1996). Nursery Production Method Affects Root Growth. *Journal of Environmental Horticulture*, 14(2), 88–91.
- Gilman, E. F., & Sadowski, L. (2007). *Choosing Suitable Trees for Urban and Suburban Sites: Site Evaluation and Species Selection*. Gainesville: University of Florida.
- Gimenes, E. S., Kielse, P., Haygert, K. L., Fleig, F. D., Keathley, D. E., & Bisognin, D. A. (2015). Propagation of *Cabralea Canjerana* by Mini-cutting. *Journal of Horticulture and Forestry*, 7(1), 8–15. doi:10.5897/JHF2014.0367
- Gómez, P. A. (2012). *Comparación de fertilización exponencial y constante en plántulas de cinco especies forestales nativas de bosques andinos de Colombia [Tesis de Maestría]*. Universidad Nacional de Colombia.
- Grossnickle, S. C. (2012). Why Seedlings Survive: Influence of Plant Attributes. *New Forests*, 43(5-6), 711–738. doi:10.1007/s11056-012-9336-6
- Guarnaschelli, A. B., Garau, A. M., & Lemcoff, J. H. (2012). Water Stress and Afforestation: A Contribution to Ameliorate Forest Seedling Performance During the Establishment. In I. M. M. Rahman & H. Hasegawa (Eds.), *Water Stress* (pp. 73–110). Maastricht: InTech. doi:10.5772/32691
- Hansen, V. E., & Israelsen, O. W. (1980). *Irrigation: Principles and Practices* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Harris, J. R., & Gilman, E. F. (1991). Production Method Affects Growth and Root Regeneration of Leyland Cypress Laurel Oak and Slash Pine. *Journal of Arboriculture*, 17(3), 64–69.

- Hernández, W., & Salas, E. (2009). La inoculación con *Glomus Fasciculatum* en el crecimiento de cuatro especies forestales en vivero y campo. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 17–30.
- Herrera, D. A., León, J. D., Ruiz, M., Osorio, N. W., Correa, G., Esteban, R., & Uribe, Á. (2014). Evaluación de requerimientos nutricionales en vivero de especies tropicales empleadas en silvicultura urbana. *Revista EIA*, 11(21), 41–54.
- Imo, M., & Timmer, V. R. (1992). Nitrogen Uptake of Mesquite Seedlings at Conventional and Exponential Fertilization Schedules. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 927–934.
- Jaenicke, H. (1999). *Good Tree Nursery Practices: Practical Guidelines for Research Nurseries*. Nairobi: International Centre for Research in Agroforestry.
- Jauch, C. (1976). *Patología Vegetal*. Buenos Aires: Ateneo.
- Johnson, C. R., & Ingram, D. L. (1984). *Pittosporum Tobira* Response to Container Medium Temperature. *HortScience*, 19(4), 524–525.
- Johnston, M., & Hiron, A. (2014). Urban Trees. In *Horticulture: Plants for People and Places, Volume 2* (pp. 693–711). New York: Springer. doi:10.1007/978-94-017-8581-5_5
- Krause, G. H., Gallé, A., Virgo, A., García, M., Bucic, P., Jahns, P., & Winter, K. (2006). High-light Stress does not Impair Biomass Accumulation of Sun-acclimated Tropical Tree Seedlings (*Calophyllum Longifolium* Willd. and *Tectona Grandis* L. f.). *Plant Biology*, 8(1), 31–41. doi:10.1055/s-2005-872901
- Landis, T. D. (1999). Seedling Propagation. In T. D. Landis (Ed.), *The Container Tree Nursery Manual*. Washington: U.S. Department of Agriculture.
- Lang, A., Malavasi, U. C., Decker, V., Pérez, P. V., Aleixo, M. A., & Malavasi, M. M. (2011). Aplicação de Fertilizante de Liberação Lenta no Estabelecimento de Mudas de Ipê-Roxo e Angico-Branco em Área de Domínio Ciliar. *Floresta*, 41(2), 271–276. doi:10.5380/rev.v41i2.21874
- Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups* (4th ed.). New York: Springer.
- Leakey, R. R. B. (1985). The Capacity for Vegetative Propagation in Trees. In M. G. R. Cannell & J. E. Jackson (Eds.), *Attributes of Trees as Crop Plants* (pp. 110–133). Abbotts Ripton: Institute of Terrestrial Ecology.
- Levinsson, A., Sæbø, A., & Fransson, A. M. (2014). Influence of Nursery Production System on Water Status in Transplanted Trees. *Scientia Horticulturae*, 178, 124–131. doi:10.1016/j.scienta.2014.08.020
- Mathers, H. M., Lowe, S. B., Scagel, C., Struve, D. K., & Case, L. T. (2007). Abiotic Factors Influencing Root Growth of Woody Nursery Plants in Containers. *HortTechnology*, 17(2), 151–162.
- McKay, J. K., Christian, C. E., Harrison, S., & Rice, K. J. (2005). "How Local Is Local?"—A Review of Practical and Conceptual Issues in the Genetics of Restoration. *Restoration Ecology*, 13(3), 432–440. doi:10.1111/j.1526-100X.2005.00058.x
- Mejía, M. (1988). Fenología: fundamentos y métodos. In *Seminario-Taller Sobre Investigaciones en Semillas Forestales Tropicales* (pp. 65–79). Bogotá: Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal.
- Meuser, H. (2010). *Contaminated Urban Soils*. New York: Springer.
- Moro, M. F., & Castro, A. S. F. (2014). A Check List of Plant Species in the Urban Forestry of Fortaleza, Brazil: Where are the Native Species in the Country of Megadiversity? *Urban Ecosystems*, 18(1), 47–71. doi:10.1007/s11252-014-0380-1
- Myrold, D. D., Ruess, R. W., & Klug, M. J. (1999). Dinitrogen Fixation. In D. C. Robertson, C. S. Coleman, C. S. Bledsoe, & P. Sollins (Eds.), *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research* (pp. 241–257). New York: Oxford University Press.
- Neal, C., & Lass, D. (2014). Getting to the Roots: Production Effects in Tree Root Growth Morphology. *American Nurseryman*, 10–14.
- NeSmith, D. S., & Duval, J. R. (1998). The Effect of Container Size. *HortTechnology*, 8(4), 495–498.
- O'Connor, A. S. (2014). *Container Type Affects Nursery Production, Landscape Establishment and Irrigation Requirements of Woody Plants [Tesis Doctoral]*. Colorado State University.
- Oke, T. R. (1994). Global Change and Urban Climate. In *Proceedings of the 13th International Congress of Biometrics*. Calgary, Canada.
- Oliet, J. A., Planelles, R., Artero, F., & Jacobs, D. F. (2005). Nursery Fertilization and Tree Shelters Affect Long-term Field Response of *Acacia Salicina* Lindl. Planted in Mediterranean Semiarid Conditions. *Forest Ecology and Management*, 215(1-3), 339–351. doi:10.1016/j.foreco.2005.05.024
- Ortega, U., Majada, J., Mena-Petite, A., Sánchez-Zabala, J., Rodríguez-Iturrizar, N., Txarterina, K., ... Duñabeitia, M. (2006). Field Performance of *Pinus radiata* D. Don Produced in Nursery with Different Types of Containers. *New Forests*, 31(1), 97–112. doi:10.1007/s11056-004-7364-6
- Osorio, N. W. (2007). A Review on Beneficial Effects of Rhizosphere Bacteria on Soil Nutrient Availability and Plant Nutrient Uptake. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín, 60(1), 3621–3643.
- Osorio, N. W. (2012). Uso de hongos formadores de micorriza como alternativa biotecnológica para promover la nutrición y el crecimiento de plántulas. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(2), 1–4.
- Ow, L. F., Yeo, T. Y., & Sim, E. K. (2011). Identification of Drought-tolerant Plants for Roadside Greening: an Evaluation of Chlorophyll Fluorescence as an Indicator to Screen for Drought Tolerance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(3), 177–184. doi:10.1016/j.ufug.2011.03.001

- Paganová, V., & Jureková, Z. (2012). Woody Plants in Landscape Planning and Landscape Design. In M. Ozyavuz (Ed.), *Landscape Planning* (pp. 199–216). Rijeka: InTech.
- Pardos, M., Pardos, J. A., & Montero, G. (2001). Growth Responses of Chemically Root-pruned Cork Oak Seedlings in the Nursery. *Journal of Environmental Horticulture*, 19(2), 69–72.
- Parker, S. S. (2014). Incorporating Critical Elements of City Distinctiveness into Urban Biodiversity Conservation. *Biodiversity and Conservation*, 24(3), 683–700. doi:10.1007/s10531-014-0832-1
- Pouyat, R. V., Szlavecz, K., Yesilonis, I. D., Groffman, P. M., & Schwarz, K. (2010). Chemical, Physical, and Biological Characteristics of Urban Soils. In J. Aitkenhead-Peterson & A. Volder (Eds.), *Urban Ecosystem Ecology* (pp. 119–152). Madison: American Society of Agronomy.
- Ramírez, A. (2003). *Patología Forestal: memorias curso de extensión*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez, A. (2011). *Patología Forestal: memorias curso Patología Forestal Posgrado Bosques*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez, A. (2013). *Patología Forestal: Enfermedades Infecciosas y cánceres: memorias curso Patología Forestal*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Redecker, D., Schüssler, A., Stockinger, H., Stürmer, S. L., Morton, J. B., & Walker, C. (2013). An Evidence-based Consensus for the Classification of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, 23(7), 515–531. doi:10.1007/s00572-013-0486-y
- Roller, K. J. (1977). *Suggested Minimum Standards for Containerised Seedlings in Nova Scotia*. Fredericton: Canadian Forestry Service.
- Rubio, G., Zhu, J., & Lynch, J. P. (2003). A Critical Test of the Two Prevailing Theories of Plant Response to Nutrient Availability. *American Journal of Botany*, 90(1), 143–152. doi:10.3732/ajb.90.1.143
- Ruter, J. M. (1999). Fiber Pots Improve Survival of "Otto Luyken" Laurel. In *Proceedings of Southern Nursery Association Research Conference* (pp. 53–54). McMinnville: Southern Nursery Association.
- Sæbø, A., Benedikz, T., & Randrup, T. B. (2003). Selection of Trees for Urban Forestry in the Nordic Countries. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(2), 101–114. doi:10.1078/1618-8667-00027
- Salamanca, R. (1995). *Suelos y fertilizantes*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Salifu, K. F., Jacobs, D. F., & Birge, Z. K. (2009). Nursery Nitrogen Loading Improves Field Performance of Bareroot Oak Seedlings Planted on Abandoned Mine Lands. *Restoration Ecology*, 17(3), 339–349. doi:10.1111/j.1526-100X.2008.00373.x
- Salisbury, F., & Ross, C. (1992). *Plant Physiology*. Belmont: Wadsworth.
- Sánchez-Díaz, M., & Aguirreolea, J. (1993). Relaciones hídricas. In J. Azcón-Bieto & M. Talón (Eds.), *Fisiología y bioquímica vegetal* (pp. 49–90). Madrid: MacGraw-Hill.
- Santelices, R., Espinoza, S., Cabrera, A., Peña-Rojas, K., & Donoso, S. R. (2013). Effect of Shading and Fertilisation on the Development of Container-grown *Nothofagus Glauca* Seedlings, a Threatened Species from Central Chile. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 75(3), 145–148. doi:10.2989/20702620.2013.816234
- Scattolin, L., Alzetta, C., Bolzon, P., Sambo, P., & Accordi, S. M. (2013). Linden Tree Stress Detection: Chlorophyll–nitrogen Contents and Ectomycorrhizal Community. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 147(2), 364–375.
- Schmidt, L. (2000). *Guide to Handling of Tropical and Subtropical Forest Seed*. Copenhagen: Danida Forest Seed Centre.
- Scivittaro, W. B., Oliveira, R. P., & Radmann, E. B. (2004). Doses de Fertilizantes de Liberação Lenta na Formação do Porta-enxerto "Trifoliata." *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3), 520–523.
- Sieghardt, M., Mursch-Radlgruber, E., Paoletti, E., Couenberg, E., Dimitrakopoulos, A., Rego, F., ... Randrup, T. B. (2005). The Abiotic Urban Environment: Impact of Urban Growing Conditions on Urban Vegetation. In C. Konijnendijk, K. Nilsson, T. B. Randrup, & J. Schipperijn (Eds.), *Urban Forests and Trees* (pp. 281–323). New York: Springer. doi:10.1007/3-540-27684-X_12
- Sjöman, H., Gunnarsson, A., Pauleit, S., & Bothmer, R. (2012). Selection Approach of Urban Trees for Inner-city Environments: Learning from Nature. *Arboriculture & Urban Forestry*, 38(5), 194–204.
- Takayama, M., Ebihara, K., Stryczewska, H., Ikegami, T., Gyoutoku, Y., Kubo, K., & Tachibana, M. (2006). Ozone Generation by Dielectric Barrier Discharge for Soil Sterilization. *Thin Solid Films*, 506-507, 396–399. doi:10.1016/j.tsf.2005.08.332
- Tauer, P. K., & Cole, J. C. (2009). Effect of Fabric and Plastic Containers on Plant Growth and Root Zone Temperatures of Four Tree Species. *Journal of Environmental Horticulture*, 27(3), 145–148.
- Timmer, V. R. (1997). Exponential Nutrient Loading: a New Fertilization Technique to Improve Seedling Performance on Competitive Sites. *New Forests*, 13(1-3), 279–299. doi:10.1023/A:1006502830067
- Tomaszewska, M., Jarosiewicz, A., & Karakulski, K. (2002). Physical and Chemical Characteristics of Polymer Coatings in CRF Formulation. *Desalination*, 146(1-3), 319–323. doi:10.1016/S0011-9164(02)00501-5
- Vilagrosa, A., Cortina, J., Gil-Peigrín, E., & Bellot, J. (2003). Suitability of Drought-Preconditioning Techniques in Mediterranean Climate. *Restoration Ecology*, 11(2), 208–216. doi:10.1046/j.1526-100X.2003.00172.x

Vilagrosa, A., Villar-Salvador, P., & Puértolas, J. (2006). El endurecimiento en vivero de especies forestales mediterráneas. In J. Cortina, J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé, & A. Vilagrosa (Eds.), *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos: estado actual de conocimientos* (pp. 119–140). Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales.

Villar-Salvador, P., Planelles, R., Oliet, J., Peñuelas-Rubira, J. L., Jacobs, D. F., & González, M. (2004). Drought Tolerance and Transplanting Performance of Holm Oak (*Quercus ilex*) Seedlings After Drought Hardening in the Nursery. *Tree Physiology*, 24(10), 1147–1155.

Walker, J. C. (1973). *Patología Vegetal*. Barcelona: Omega.

Ware, G. H. (1994). Ecological Bases for Selecting Urban Trees. *Journal of Arboriculture*, 20(2), 98–103.

Whitlow, T. H., & Bassuk, N. L. (1987). Trees In Difficult Sites. *Journal of Arboriculture*, 13(1), 10–17.

Zahreddine, H. G., Struve, D. K., & Quigley, M. (2004). Growing Pinus Nigra Seedlings in Spinout-treated Containers Reduces Root Malformation and Increases Regrowth Potential. *Journal of Environmental Horticulture*, 22(4), 176–182.



Acacia amarilla [*Caesalpinia pluviosa*]



4. ESTABLECIMIENTO DE LA VEGETACIÓN LEÑOSA EN ESPACIOS VERDES URBANOS

María del Pilar Arroyave

Escuela de Ingeniería de Antioquia
maarr@eia.edu.co

León Morales

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
iriarte@hotmai.com

Flavio Moreno

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
fhmoreno@unal.edu.co

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las actividades requeridas para la selección de las especies y la plantación de los árboles, arbustos y palmas en las zonas verdes urbanas. De la adecuada selección y establecimiento dependerá parcialmente el éxito en la supervivencia y desarrollo de los individuos que conforman el bosque urbano y, por tanto, el logro de las múltiples funciones que cumple la vegetación en este tipo de ambiente.

Las orientaciones dadas en el presente capítulo son el resultado de las lecciones aprendidas en los últimos diez años en Medellín

y el Valle de Aburrá, a través de diferentes procesos adelantados tanto por instituciones públicas y privadas, como por profesionales vinculados a la ecología y la silvicultura urbana, complementado con lo reportado en la literatura especializada. También se incorporan los resultados de un proceso de consulta y socialización con expertos y técnicos de la región. Hay que señalar que algunos temas en particular requieren mayor investigación aplicada, con el fin de unificar conceptos y proponer prácticas de manejo que propendan por el adecuado desarrollo de la vegetación arbórea y arbustiva en el Valle de Aburrá.

Los beneficios ambientales y sociales generados por un arbolado bien establecido, al igual que la disminución de los riesgos asociados a la acertada selección de especies, contribuyen a la sostenibilidad ambiental urbana y a la apropiación de la comunidad de este recurso natural.



Las palmas son un excelente complemento de la arborización en las ciudades

4.2. SELECCIÓN DE ESPECIES

La selección de las especies vegetales para el ambiente urbano es una actividad de gran importancia en el manejo integral del arbolado. Muchos de los riesgos y problemas que se presentan con los árboles en las ciudades son el resultado de una ubicación inadecuada de los individuos y de procesos de planeación deficientes. Es común que los espacios disponibles para el establecimiento de la vegetación arbórea sean reducidos y presenten interferencias con la infraestructura urbana. Las condiciones a las que se someten los árboles en la ciudad están relacionadas con la presencia de suelos compactados, superficies impermeables, deficiencia hídrica, contaminación atmosférica, entre otras; los árboles deben tolerar estas condiciones para sobrevivir y tener un buen crecimiento y desarrollo (Burton, 2012). Las diferencias

en la tolerancia a estas condiciones se pueden presentar entre especies y entre individuos de la misma especie. Esta variación entre individuos se origina bien sea por la calidad genética o por las características morfológicas y el vigor que han desarrollado como producto del manejo adecuado en la etapa de vivero.

La planeación de la arborización urbana debe contar con unas normas que faciliten la coexistencia entre la vegetación y los diferentes componentes de la infraestructura, como redes de servicios aéreos y subterráneos, andenes, vías, construcciones y sistemas de iluminación y seguridad. Por esta razón, la coordinación entre entidades públicas es fundamental, principalmente aquellas encargadas de redes de servicios públicos, la construcción o ampliación de vías vehiculares, ciclorrutas y zonas peatonales, entre otras.

Un criterio importante en la selección de las especies es el grado de similitud entre las condiciones en las que crecen naturalmente y aquellas que van a encontrar en el sitio de plantación en la ciudad. No obstante, las especies difieren en la amplitud de su rango de tolerancia a cada factor ambiental. La rusticidad (*hardiness*) es una medida de la tolerancia de una especie a factores ambientales adversos, principalmente relacionados con la temperatura, la disponibilidad de agua y nutrientes, la altura sobre el nivel del mar y las condiciones del suelo (Burton, 2012). Por lo tanto, es importante identificar cuáles son los factores limitantes en la ciudad que restringen el adecuado desarrollo o que afectan la salud de cada una de las especies que serán incluidas en la arborización urbana, lo cual demanda un esfuerzo de investigación sistemático y de largo aliento.

El proceso de selección de especies será acertado en la medida en que se consideren las posibilidades de su adaptación al sitio y la disminución de los riesgos potenciales que estas representen para la población y la infraestructura.

A continuación se propone un método sencillo para la selección de las especies más adecuadas a las condiciones del sitio de plantación (Tabla 1), el cual consta de los siguientes pasos:

- 🌿 Identificar las condiciones climáticas del sitio
- 🌿 Definir el tipo de espacio público verde
- 🌿 Determinar las características deseables de las especies según el lugar
- 🌿 Analizar la zona de plantación.

La planeación de la arborización urbana debe contar con unas normas que faciliten la coexistencia entre la vegetación y los diferentes componentes de la infraestructura

Tabla 1.
Procedimiento metodológico para la selección de especies en las áreas verdes urbanas.

Actividad		Ejemplo en el Valle de Aburrá
1. Identificar las condiciones climáticas del sitio (zona de vida)		Bosque húmedo premontano Bosque muy húmedo premontano
2. Definir el tipo de espacio verde		Laderas, cerros tutelares Retiros de quebrada, ecoparques de quebrada Separadores viales, andenes, glorietas, orejas de puente Parques, plazas, plazoletas
3. Determinar las características deseables de las especies según el sitio		Tamaño Forma y amplitud de copa Follaje, floración y fructificación Sistema radical Tasa de crecimiento Longevidad Atracción de fauna Procedencia Función Rusticidad
4. Analizar la zona de plantación	Condiciones aéreas	Luminosidad Vientos Vegetación existente Redes eléctricas Alumbrado público Señalización vial Cámaras de seguridad Construcciones
	Condiciones subterráneas	Características del suelo Redes de servicios públicos

A continuación, se describen en detalle estos pasos.

4.2.1. Condiciones climáticas del sitio

El Valle de Aburrá está localizado en la zona tropical, lo cual le confiere un clima isotérmico, es decir, su temperatura promedio mensual no presenta variaciones significativas a lo largo del año. Las variaciones en temperatura se dan principalmente entre el día y la noche. De acuerdo con los registros de la estación climatológica del aeropuerto Olaya Herrera (municipio de Medellín), la temperatura media anual es de 22,1 °C, la temperatura mínima promedio anual es de 17,2 °C y la temperatura máxima promedio

anual es de 27,8 °C. La variación geográfica de la temperatura media anual de la zona urbana en la región metropolitana sigue el gradiente altitudinal, siendo La Estrella el municipio más frío (altitud de 1800 m y temperatura de 20 °C) y Barbosa el más cálido (altitud de 1300 m y temperatura de 24 °C) (Figura 1).

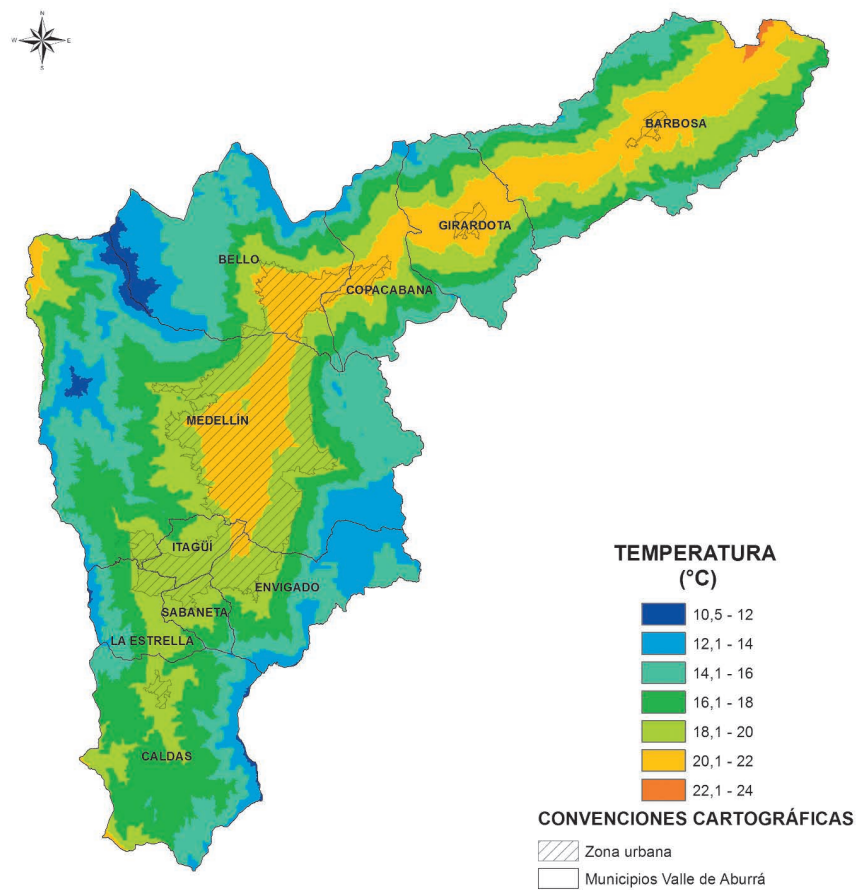


Figura 1.
Mapa de temperaturas medias anuales en el Valle de Aburrá (Universidad Nacional de Colombia et al., 2007).

El análisis de las series históricas de temperatura a escala anual en diversas estaciones ubicadas en el Valle de Aburrá muestra tendencias significativas de aumento en esta variable. La estación Olaya Herrera registró una tendencia creciente alta, estadísticamente significativa, en los registros de temperatura mínima que

alcanza +0,7 °C por década. La temperatura media aumentó a una tasa de +0,2 °C por década durante los períodos instrumentales disponibles entre 1942 y 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional, 2014)).

El régimen de precipitación es bimodal, con dos períodos lluviosos y dos períodos de menor precipitación; el primer período lluvioso se presenta entre marzo y mayo, y el segundo, entre septiembre y noviembre; el primer período seco se presenta entre diciembre y febrero, y el segundo, entre junio y agosto (Tabla 2). El mes más seco es enero, con 56 mm, y el mes más lluvioso es octubre, con 210 mm. El promedio para el período de registro 1942-2012 es de 1641 mm. Con respecto a la temperatura, se observa poca variación en los valores mensuales; el mayor corresponde al mes de julio, con 22,7 °C, y el menor a octubre y noviembre, con un valor de 21,3 °C (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional, 2014).

Tabla 2.
Registros de precipitación y temperatura media mensual en la estación Olaya Herrera del municipio de Medellín durante el período 1942-2012

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Enero	56	22,1
Febrero	74	22,4
Marzo	112	22,4
Abril	175	22,1
Mayo	200	22,1
Junio	146	22,4
Julio	118	22,7
Agosto	140	22,6
Septiembre	164	22,0
Octubre	210	21,3
Noviembre	153	21,3
Diciembre	93	21,6

Los municipios más lluviosos en la región metropolitana son Caldas y Barbosa, con 2548 y 2215 mm al año, respectivamente (Tabla 3). A su vez, los menores registros de precipitación se reportan en la estación Tulio Ospina, ubicada en el municipio de Bello (1450 mm) y en la Planta de Villahermosa, en Medellín (1591 mm). De esta manera, los extremos sur y norte del Valle de Aburrá son más lluviosos, mientras que el sector menos lluvioso se localiza en el norte de Medellín, parte de Bello y Copacabana (Figura 2). Los análisis de las tendencias de largo plazo en los registros de precipitación del Valle de Aburrá indican incrementos de precipitación de 70 mm/década en promedio (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional, 2014)).

Tabla 3
Registros de precipitación media multianual en estaciones ubicadas en diferentes municipios del Valle de Aburrá.

Estación	Municipio	Años de registro	Precipitación (mm)
Barbosa	Barbosa	1959-2012	2215
Niquía	Bello	1985-2012	1590
Fabricato	Bello	1950-2012	1750
Tulio Ospina	Bello	1953-2012	1450
Caldas	Caldas	1950-2012	2548
Ayurá	Envigado	1972-2012	1840
Girardota	Girardota	1959-2012	1665
Alto San Andrés	Girardota	1959-2012	1887
San Antonio de Prado	Medellín	1959-2012	2083
Aeropuerto Olaya Herrera	Medellín	1942-2012	1630
San Cristóbal	Medellín	1950-2012	1702
Planta Villahermosa	Medellín	1949-2012	1591

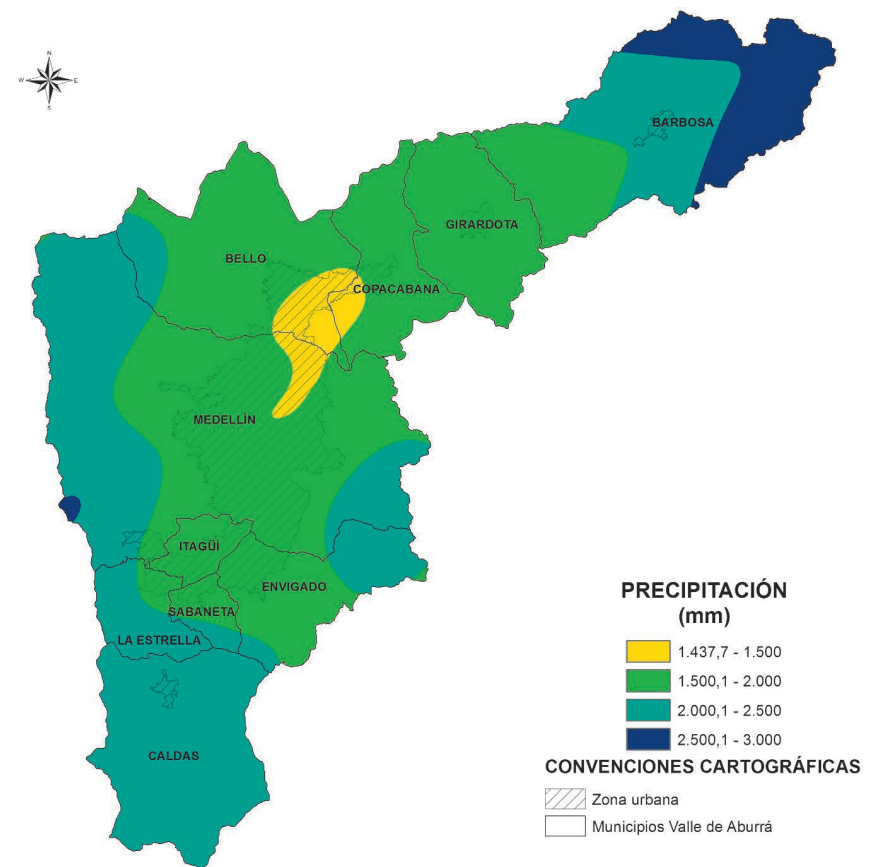


Figura 2.
Distribución de la precipitación media anual en el Valle de Aburrá (Universidad Nacional de Colombia et al., 2007).

Con respecto a las zonas de vida, el área urbana de los municipios de Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, La Estrella, Sabaneta y Envigado corresponde a bosque húmedo premontano; y la de los municipios de Barbosa y Caldas corresponde a bosque muy húmedo premontano (Figura 3). Se debe considerar esta diferencia de humedad en la selección de las especies, especialmente de aquellas que provienen de zonas secas, dado que al ser sometidas a condiciones de mayor humedad, pueden verse afectadas en su desarrollo. No obstante, es importante tener en cuenta que en el medio ambiente urbano es frecuente encontrar superficies impermeables cercanas a los sitios de plantación y condiciones del suelo que pueden limitar el acceso al agua y producir estrés hídrico. Por lo tanto, es posible que en estas condiciones sean las especies de las zonas secas las que mejor se comporten. Para corroborar esta hipótesis es necesario el monitoreo de la variación de la humedad del suelo a lo largo del año en los distintos tipos de espacios verdes, pues tal información no existe para la región.

Por otro lado, algunos sitios tienen niveles freáticos altos, con drenaje lento y sujetos a encharcamiento; bajo tales condiciones, las especies de los bosques muy húmedos probablemente presentarían mejor adaptación. Una vez más, es necesario el monitoreo sistemático que evalúe las condiciones del sitio y el comportamiento de diversas especies provenientes de varias zonas de vida. Finalmente, debe tenerse en cuenta que varias de las especies ya establecidas están adaptadas a un rango amplio de condiciones de humedad y crecen naturalmente tanto en zonas húmedas como secas. Identificar con precisión tales especies y validar la plasticidad de su comportamiento también es una tarea prioritaria.

Con relación a las especies nativas de otros pisos altitudinales, es posible que las provenientes del piso montano bajo y del montano no encuentren condiciones adecuadas para su desarrollo dentro del perímetro urbano de los municipios del Valle de Aburrá, toda vez que la línea de separación entre los pisos premontano y el montano bajo separa también diferencias muy marcadas en la flora (Holdridge, 2000), lo cual sugiere que las diferencias ecológicas y fisiológicas hacen poco probable el éxito de las especies de las zonas altas en los pisos premontano y tropical y viceversa. Sin embargo, esta situación no ocurre entre los pisos premontano y tropical, por lo cual se espera que las especies provenientes del piso basal tropical se adapten mejor; además, hay dos circunstancias adicionales que aumentan la probabilidad de éxito: por un lado, las temperaturas tienden a aumentar según las proyecciones climáticas para el Valle de Aburrá mencionadas atrás y, por el otro, en el ambiente urbano es común que se generen islas de calor. Este término describe el aumento de la temperatura tanto

de la atmósfera como de la superficie que sufren las ciudades, comparado con sus entornos no urbanizados; este fenómeno se produce como consecuencia de la construcción de edificaciones, vías e industrias (Voogt, 2008).

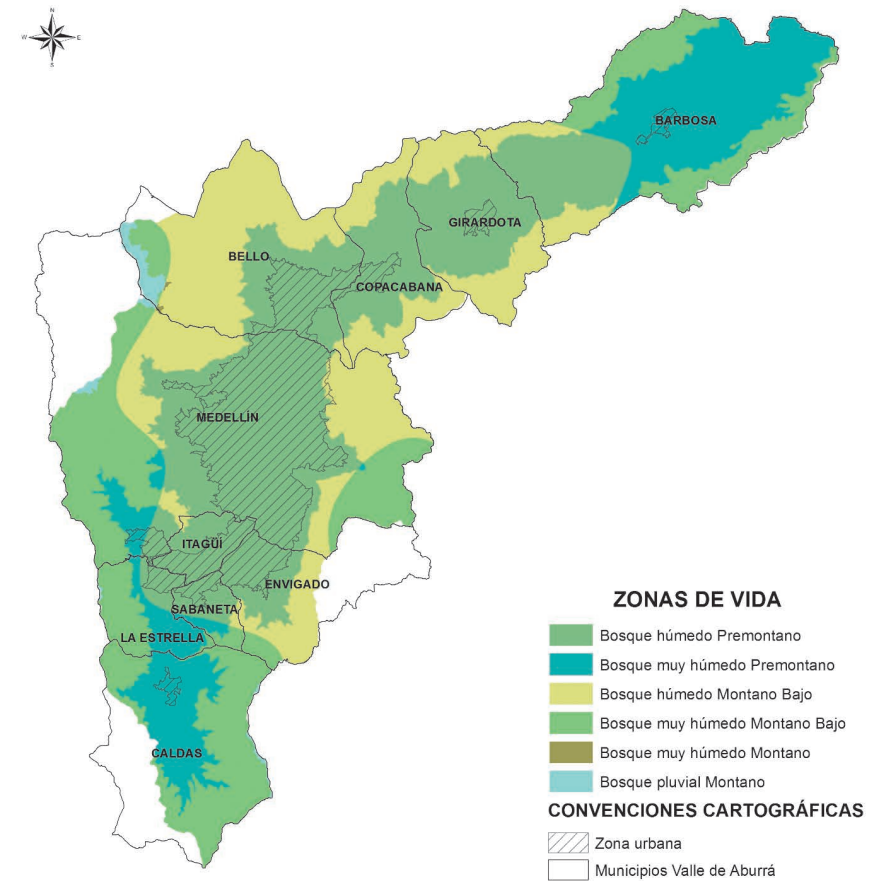


Figura 3. Mapa de zonas de vida del Valle de Aburrá (Universidad Nacional de Colombia et al., 2007).

4.2.2. Definición del tipo de espacio público verde

Las características generales y el uso de los diferentes tipos de espacios existentes en la ciudad influyen significativamente en la selección adecuada de las especies, por lo tanto, se requiere identificar y describir estos espacios. De acuerdo con el Plan Maestro

de Espacios Públicos Verdes Urbanos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (PMEPVU) (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007), el espacio público verde (EPV) corresponde al subsistema del sistema de espacio público que incluye aquellos lugares en los que predominan la naturaleza, las coberturas vegetales o plantaciones intencionadas con fines ornamentales. A continuación se describen los tipos de espacios verdes urbanos identificados en el PMEPVU que se incluyeron en esta guía para la evaluación de las especies apropiadas para cada uno de ellos. Se aclara que los dos tipos de separadores (de autopistas y de vía arterial) y los andenes de vías de servicio corresponden a espacios definidos en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2014), ya que presentan características distintivas que ameritan su diferenciación (Tabla 4).

Tabla 4.
Tipos de espacio público verde en el Valle de Aburrá.

Sistema	Espacio público verde
Orográfico	Laderas y cerros
Hídrico	Retiros de quebrada, ecoparques
Movilidad	Separadores de autopistas* Separadores vía arterial* Andenes vías de servicio* Vías peatonales Orejas de puente Glorietas
Articuladores y de encuentro	Parques Plazas/plazoletas
Áreas verdes asociadas a edificios públicos y equipamientos colectivos	Edificios institucionales Nodos de actividad o centralidades
Áreas verdes asociadas a procesos urbanísticos y predios privados	Áreas verdes residuales de desarrollos urbanísticos Áreas verdes de dominio privado o público de interés ambiental, científico o paisajístico

Fuente: Adaptado del PMEPVU (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007). * POT de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2014).

🌿 Espacios verdes asociados al sistema orográfico: conformados por las cadenas montañosas que circundan las ciudades, así como accidentes orográficos que hacen parte de ellas, tales como laderas y cerros. Son espacios verdes de derecho público o privado y de uso restringido, que conforman el sistema estructurante natural del territorio y, por tanto, cumplen la función de ordenadores primarios.

Estos elementos ofrecen el mayor potencial paisajístico, de recreación y de espacio público a las zonas urbanas, además de ser la frontera entre lo urbano y lo rural, aspecto que los convierte en un recurso ambiental fundamental.

🌿 Espacios verdes asociados al sistema hídrico: conformados por las zonas de ronda o retiro de las corrientes principales y afluentes que surcan el territorio urbano. Estos espacios públicos verdes cumplen funciones ambientales como la regulación del recurso hidrológico, la protección contra inundaciones y desbordamientos, la estabilización de taludes, la conectividad ecológica y la oferta de áreas ornamentales y de recreación.

🌿 Espacios verdes asociados al sistema de movilidad: son elementos constitutivos de la sección de las vías que articulan la ciudad en su interior, a esta con otras de la región, y a la región con otras regiones. Están constituidas por la malla que configura el sistema vial, el sistema de ciclorrutas, senderos peatonales y demás elementos que conforman o complementan el sistema de movilidad. Son las glorietas, separadores, orejas de puente y zonas verdes laterales pertenecientes a las vías.

- Glorietas: son intersecciones canalizadas sin cruces directos, compuestas de secciones de entrecruzamiento alrededor de una isla central circular.
- Orejas de puente: corresponden a desviaciones en las vías que mediante una corta vuelta se cruzan perpendicularmente en plano de nivel diferente y que por lo general nacen de los puentes para dar y hacer conexión con otras vías.
- Separadores: son los espacios que establecen distancias entre las calzadas de una vía y destinados a canalizar flujos de tráfico, controlar maniobras inadecuadas y proporcionar protección a los peatones. Los separadores pueden ser de autopistas o de vías arterias. La autopista es una vía rápida de alta capacidad y largo recorrido que se caracteriza por tener calzadas separadas, accesos y salidas controladas. En el Valle de Aburrá, el único eje con características de autopista urbana es el sistema vial del corredor multimodal de transporte asociado al río Medellín-Aburrá. La vía arterial tiene como función principal movilizar el flujo vehicular de largo recorrido dentro del área urbana al unir entre sí las diferentes zonas de la ciudad.

Los espacios públicos verdes cumplen diferentes funciones en la ciudad, y para cada uno de estos existen las especies con las características más apropiadas para cumplirlas

- Zonas verdes laterales pertenecientes a las vías: corresponden a las franjas verdes que se extienden a lado y lado de las vías, entre ellas la vía de servicio, cuya función principal es dar acceso directo a las propiedades. En estas zonas se encuentra la mayor parte del arbolado urbano en el Valle de Aburrá y son las que presentan más restricciones y conflictos con la infraestructura, lo que exige un mayor esfuerzo en la identificación de las especies más adecuadas.
- Espacios articuladores y de encuentro: son aquellos que hacen parte del sistema estructurante de la ciudad, es decir, lo construido y lo artificial. Su generación y adecuación son producto de la intervención directa del hombre y prestan diversos servicios a la población según el carácter, el ámbito, la valoración cultural o patrimonial que poseen y la actividad a la cual se destinan. Este componente se subdivide en tres clases funcionales: parques, plazas y plazoletas y miradores.
 - Parques: espacios destinados a la recreación al aire libre y al contacto con la naturaleza, en los que predominan los valores paisajísticos sobre los elementos arquitectónicos. Se reconocen también por ser espacios públicos con prados, jardines y arbolado para recreo y ornato, de especial significación y jerarquía urbana y ambiental.
 - Plazas: lugares públicos anchos y espaciosos dentro de la ciudad, en su gran mayoría con piso duro, en donde suelen desembocar varias calles, y cuyo destino es el ejercicio de actividades de convivencia ciudadana como ferias, mercados, fiestas públicas y cívicas, entre otras.
 - Plazoletas: son espacios públicos con características similares a las de la plaza, pero con dimensiones menores.
- Áreas verdes asociadas a edificios institucionales y equipamientos colectivos: son las áreas verdes de derecho público o privado, que hacen parte integral de los predios cuyas actividades están orientadas a satisfacer el bienestar de la comunidad, como la asistencia, la seguridad y la protección social, así como para la provisión de los servicios básicos de infraestructura, abastecimiento y sanidad. Se dividen en dos tipos: áreas verdes asociadas a edificios institucionales y áreas verdes asociadas a nodos de actividad o centralidades.

• Áreas verdes asociadas a procesos urbanísticos y predios privados: son aquellas que en su mayoría son de dominio privado o producto del proceso urbanizador y que poseen carácter ornamental, paisajístico, de seguridad o funcional. Este componente se subdivide en cinco clases funcionales: áreas verdes residuales de desarrollos urbanísticos, áreas verdes al interior de conjuntos residenciales, áreas verdes al interior de edificios industriales, antejardines y predios de dominio privado de especial interés ambiental, científico o paisajístico. De estas se resaltan las siguientes:

- Áreas verdes residuales de desarrollos urbanísticos: son de dominio público y disfrute público, producto residual de desarrollos urbanísticos que, como su nombre lo expresa, quedan después de haber construido una urbanización o parcelación. Son en general áreas libres con predominio de suelo en grama o vegetación herbácea y arborización de carácter ornamental y público.
- Áreas verdes asociadas a predios de dominio privado de especial interés ambiental, científico y paisajístico: son de derecho público o privado y uso privativo, representados por las áreas verdes al interior de predios privados, patios, vacíos y los retiros en general de propiedad privado o mixta que puedan tener algún interés ambiental, científico o paisajístico.

4.2.3. Características deseables de las especies por tipo de espacio verde

Una vez identificadas las condiciones climáticas y el tipo de espacio verde donde se realizará la plantación de nuevos individuos, deben definirse las características más apropiadas y deseables de las especies. Varios autores mencionan los siguientes criterios: tamaño del individuo adulto, forma de copa, follaje, floración, fructificación y longevidad (Bassuk, Curtis, Marranta, & Neal, 2009; Gilman & Sadowski, 2007; Morales & Varón, 2006). Otros criterios adicionales son amplitud de copa, sistema radical, tasa de crecimiento, atracción de fauna, procedencia y funciones de la especie.

Varias de estas características están asociadas a las estrategias adaptativas que han desarrollado las especies para asegurar su supervivencia y reproducción en su ambiente natural, incluyendo tanto los factores físicos como bióticos (i.e. relaciones con otras especies). Las especies con atributos semejantes pueden asignarse a grupos funcionales que responden de manera similar a

factores externos y que tienen efectos similares en los procesos ecosistémicos y, por tanto, en los servicios que ellos proveen (Pla, Casanoves, & Di Rienzo, 2012). Existen dos factores que permiten agrupar las especies: las características (rasgos funcionales) y la naturaleza de los cambios que ocurren a través del proceso de sucesión ecológica. De acuerdo con este último, las especies pueden clasificarse como pioneras, secundarias o climácicas. Si bien en el ecosistema urbano la mayoría de la vegetación leñosa es plantada, es importante reconocer que los atributos y comportamiento de las especies se relacionan directamente con su presencia en los diferentes estados de la sucesión vegetal.

Las especies pioneras requieren alta luminosidad (heliófitas), son de crecimiento rápido y baja longevidad, tienen altas tasas fotosintéticas y de transpiración, y se recuperan rápidamente del estrés causado por déficit de nutrientes (Guariguata & Ostertag, 2002; Turner, 2001). Ejemplos de estas especies son el yarumo (*Cecropia* spp.), el balso (*Ochroma pyramidale*), el pacó (*Cespedesia spathulata*) y otras de las familias Melastomataceae y Rubiaceae. Es importante tener en cuenta que estas especies tienen una gran probabilidad de morir si se establecen en la sombra. Las especies secundarias también son especies heliófitas pero de crecimiento medio y de mayor porte y longevidad que las pioneras. Ejemplos de estas son el nogal cafetero (*Cordia alliodora*), el guayacán rosado (*Tabebuia rosea*), el gualanday (*Jacaranda mimosifolia*), el cedro (*Cedrela odorata*) y la caoba (*Swietenia macrophylla*), entre otras (Guariguata & Ostertag, 2002). Por último, están las especies climácicas, que se caracterizan por presentar crecimiento lento, alta densidad de la madera y tolerancia a la sombra durante las etapas iniciales de crecimiento; en varios casos, cuando se plantan a plena exposición, su desarrollo puede no ser el óptimo (Turner, 2001). Ejemplos de este grupo de especies son el algarrobo (*Hymenaea courbaril*), la ceiba (*Ceiba pentandra*), el piñón de oreja (*Enterolobium cyclocarpum*), entre otros.

A continuación se describen en detalle las características más relevantes de las especies, que sirven como criterios de selección en los diferentes tipos de espacios verdes urbanos.

Tamaño

La altura máxima que puede alcanzar un árbol, arbusto o palma es una de las características más importantes en el proceso de selección de las especies, puesto que de ella dependerá el sitio donde su establecimiento sea recomendable. Como se mencionó anteriormente, los espacios disponibles para la plantación de la vegetación

leñosa en el ambiente urbano son generalmente reducidos y con limitaciones aéreas y subterráneas o de cercanía a construcciones. Estas interferencias pueden impedir el desarrollo adecuado del arbolado, lo cual implica intervenciones permanentes que lo deterioran significativamente e incrementa los costos de mantenimiento.

De acuerdo con el tamaño, los árboles pueden clasificarse en pequeños (menores que 7 m), medianos (entre 7 m y 15 m) y grandes (mayores que 15 m). Los árboles pequeños son los ideales para establecer en espacios reducidos; sin embargo, es necesario tener en cuenta que no son adecuados en áreas cercanas a los cruces viales o peatonales por su interferencia con la visibilidad. Puesto que a mayor porte se requiere un volumen de suelo mayor, los árboles medianos y grandes son apropiados solo en zonas donde no existan limitaciones para su crecimiento en altura o su desarrollo radical. En muchos casos, será necesario adecuar los sitios donde se establezcan para evitar riesgos frente a la población y a la infraestructura.

Si el árbol es apropiado para el sitio, seguramente no va a ser necesario aplicar prácticas de mantenimiento que controlen el crecimiento de ramas o raíces. Infortunadamente, con los árboles grandes se han cometido la mayoría de errores, dado que se han plantado debajo de redes de energía eléctrica y cercanos a la infraestructura (Figura 4), por lo cual ha sido necesario recurrir a podas excesivas para mantenerlos controlados, y estas suelen producir deformación, descompensación, deterioro, enfermedades y hasta su muerte. Para el caso de redes aéreas de energía, dependiendo del tipo de cables, es posible establecerlos debajo de ellas sin necesidad de realizar podas frecuentes, como se explica más adelante.

El diámetro del tronco que pueden alcanzar los árboles en su estado adulto debe también considerarse en la selección de las especies. De acuerdo con esta característica, los árboles pueden ser: delgados (menor que 30 cm), medianos (30-60 cm) y gruesos (mayor que 60 cm). Es frecuente encontrar en la ciudad individuos establecidos en zonas verdes con dimensiones muy reducidas que limitan el desarrollo adecuado del árbol o con rejillas o estructuras de soporte que pueden causar anillamiento y deterioro del árbol. Es importante hacer un diseño flexible de estas estructuras de tal manera que puedan modificarse a medida que el árbol crece o retirarlas cuando sea necesario.



El diámetro del tronco y la altura que pueden alcanzar los árboles y las palmas en su estado adulto debe considerarse en la selección de las especies



Figura 4. Limitantes para el desarrollo apropiado del arbolado urbano. A) Restricciones aéreas. B) Restricciones en el suelo. C) Árboles grandes en espacios insuficientes para el desarrollo radical, con afectación sobre la infraestructura. D) Árboles grandes en espacios reducidos para el desarrollo de la copa, con interferencia sobre redes de energía.

Forma de copa

Cada especie, en general, presenta una forma de copa que la caracteriza, aunque esta puede variar dependiendo de las condiciones ambientales de crecimiento (principalmente la luz), el manejo (en especial las podas) y su procedencia. Las formas de copa más comunes son: redondeada, semirredondeada, oval, columnar, cónica, aparasolada, estratificada, péndula e irregular (Tabla 5).

Las palmas, de acuerdo con su hábito de crecimiento, pueden ser solitarias o cespitosas. Las palmas solitarias están conformadas por un solo tallo o estipe y una corona de hojas (Figura 5A). Por ejemplo, la palma payanesa (*Archontophoenix cunninghamiana*), livistona (*Livistona chinensis*) y zancona (*Syagrus sancona*). En las palmas cespitosas se forman nuevos tallos a partir de yemas axilares ubicadas cerca de la base (Figura 5B). Por ejemplo, licuala espinosa (*Licuala spinosa*), palma rafis (*Rhapis excelsa*) y palma roja (*Cyrtostachys renda*). Las hojas pueden ser en abanico, pinnadas, bipinnadas o enteras. Estos tipos de hojas les darán a las palmas una forma o silueta característica que será importante en el proceso de selección de las especies más adecuadas para los diferentes tipos de espacios verdes urbanos.

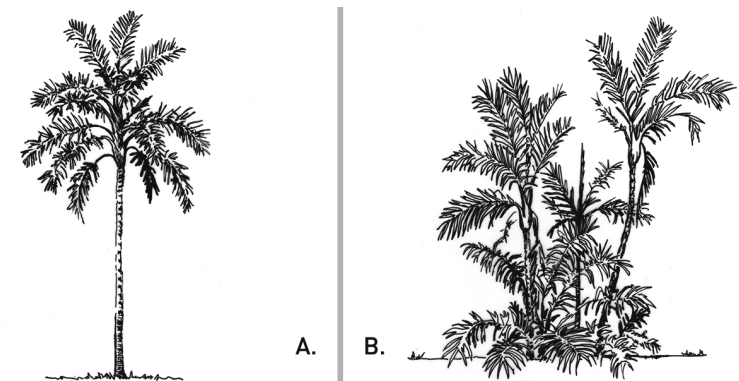


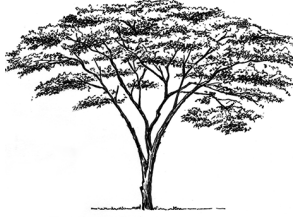





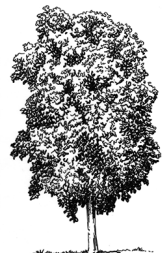


Figura 5. A. Palma solitaria. B. Palma cespitosa.

La selección de la forma de copa depende de las restricciones y funciones del tipo de espacio verde urbano en el que se establecerán los individuos. Por ejemplo, en separadores de autopistas se recomiendan las formas de copa columnares u ovales, del tal manera que las ramas

no interfieran con el flujo vehicular. En andenes y senderos se proponen formas de copa que permitan el paso libre de los peatones y brinden sombra, como la forma aparasolada y semirredondeada.

Tabla 5.
Forma de copa de los árboles

Tipo de copa	Ilustración	Ejemplos
Redondeada o globosa		Caracolí (<i>Anacardium excelsum</i>) Chocho (<i>Ormosia colombiana</i>) Falso laurel (<i>Ficus benjamina</i>) Urapán (<i>Fraxinus uhdei</i>) Oití (<i>Licania tomentosa</i>) Trompillo (<i>Guarea guidonia</i>)
Semirredondeada o semiglobosa		Bala de cañón (<i>Couroupita guianensis</i>) Chumbimbo (<i>Sapindus saponaria</i>) Guayacán azul (<i>Guaiacum officinale</i>) Suribio (<i>Zygia longifolia</i>) Velerero (<i>Senna spectabilis</i>)
Aparasolada		Acacia amarilla (<i>Caesalpinia pluviosa</i>) Acacia rosada (<i>Cassia javanica</i>) Carbonero zorro (<i>Cajoba arborea</i>) Samán (<i>Albizia saman</i>) Pisquín (<i>Albizia carbonaria</i>)
Estratificada		Almendro (<i>Terminalia catappa</i>) Terminalia (<i>Terminalia ivorensis</i>) Muli (<i>Buchenavia tetraphylla</i>)

Tipo de copa	Ilustración	Ejemplos
Cónica o piramidal		Chaquiro (<i>Retrophyllum rospigliosi</i>) Madrño (<i>Garcinia madruno</i>) Pero de agua (<i>Syzygium malaccense</i>) Roble de Australia (<i>Grevillea robusta</i>)
Péndula		Escobillón rojo (<i>Callistemon speciosus</i>) Falso pimiento (<i>Schinus molle</i>) Frisolillo (<i>Xylopia aromatica</i>) Ilang-ilang (<i>Cananga odorata</i>)
Oval		Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>) Caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) Cedro (<i>Cedrela odorata</i>) Gualanday (<i>Jacaranda mimosifolia</i>) Nogal cafetero (<i>Cordia alliodora</i>)
Columnar		Árbol milagro (<i>Synsepalum dulcificum</i>) Ciprés vela (<i>Cupressus sempervirens</i>) Péndulo (<i>Polyalthia longifolia</i>)
Irregular		Ciruelo (<i>Spondias purpurea</i>) Grosello (<i>Eugenia uniflora</i>) Totumo (<i>Crescentia cujete</i>)

La forma de la copa difiere del concepto de la arquitectura o el modelo arquitectónico del árbol. Este se refiere al programa genético de crecimiento y desarrollo de un árbol joven. En él se describen características del desarrollo de las ramas, tales como la dirección de crecimiento (vertical y horizontal) y su disposición (continua o rítmica), y la ubicación de las estructuras reproductivas (lateral o terminal) (Hallé, 2010). Si bien el conocimiento de estos patrones de crecimiento es interesante y puede ser útil en la aplicación de algunos tipos de podas, se considera que la forma final de la copa del árbol es el criterio más relevante en el momento de la selección de la especie para un tipo de espacio público.

Amplitud de copa

La amplitud de la copa es una característica inherente a la especie, aunque dependiendo de las condiciones ambientales de crecimiento del individuo sus dimensiones pueden variar. Por ejemplo, bajo condiciones de plena exposición solar y sin la competencia con árboles vecinos, los individuos desarrollan una copa más extendida que si se encuentran en sitios donde la iluminación es vertical. En estos últimos predominará el desarrollo de yemas apicales, se presentará un crecimiento mayor en altura y la copa será más estrecha. Si bien la amplitud de la copa es una de las características que influye en los beneficios ambientales del arbolado urbano, por ejemplo el sombrío, debe tenerse en cuenta que también puede generar restricciones al paso de peatones y vehículos si la base de la copa no está a la altura apropiada.

Las especies pueden ser de copa estrecha (< 6 m), media (6-14 m) y amplia (>14 m). En sitios con restricciones de espacio se recomienda el establecimiento de especies con copa estrecha. Si bien para algunas zonas verdes pareciera indiferente la forma y amplitud de copa, por ejemplo, en glorietas y orejas de puentes, se recomienda no ubicar especies con copas amplias en los márgenes de estos sitios, dado que se pueden presentar caídas de ramas o interferencias con el flujo vehicular. Los hábitos de ramificación y rebrote también influyen sobre las necesidades de mantenimiento; por ejemplo, en árboles y arbustos pequeños con múltiples troncos y ramificación extendida pueden ser necesarias podas frecuentes, si se plantan en separadores de autopistas o de vías arterias. En estos lugares es más recomendable establecer especies de tronco único y copa estrecha.

Follaje

Sin desconocer la importancia desde el punto de vista estético que tienen los diferentes colores de las hojas presentes en algunas especies, la densidad del follaje y su permanencia en el tiempo son, quizás, las características más importantes. De acuerdo con la densidad, distribución y color de las hojas en la copa, el follaje puede ser translúcido o denso. El tipo translúcido es el ideal cuando se desea que la luz pase a través de la copa del árbol, por ejemplo, en senderos y andenes, por motivos de seguridad. Varias especies de la familia Fabaceae, como el ébano (*Caesalpinia ebano*) y la acacia amarilla (*Caesalpinia pluviosa*), presentan este tipo de follaje. Los follajes densos se seleccionarán cuando se desee establecer barreras contravientos, impedir visuales no deseables o producir sombra fuerte. Ejemplos de estas especies son el falso laurel (*Ficus benjamina*) y el pero de agua (*Syzygium malaccense*).

Con relación al tiempo de permanencia de las hojas en la copa del árbol, las especies pueden ser caducifolias, semicaducifolias o perennifolias. Las especies caducifolias no conservan las hojas verdes todo el año, sino que las pierden en forma masiva, generalmente al inicio de estaciones climáticas desfavorables, como el otoño en las zonas templadas y durante la sequía en las zonas tropicales. Ejemplos de estas especies son la ceiba (*Ceiba pentandra*), el cedro (*Cedrela odorata*) y los guayacanes (*Tabebuia* spp., *Handroanthus* spp.). Las especies semicaducifolias pierden parcialmente su follaje, como el casco de vaca (*Bauhinia picta*), el caracolí (*Anacardium excelsum*) y el búcaro (*Erythrina fusca*). Las especies perennifolias mudan sus hojas en un lapso largo y de forma paulatina, como la majagua (*Talipariti elatum*), el níspero del Japón (*Eriobotrya japonica*) y el cadmio (*Cananga odorata*). Se recomienda no establecer especies caducifolias cerca de sumideros de agua o en áreas de alto tráfico peatonal, bien sea por la obstrucción de los primeros, o porque las hojas caídas hacen el área resbaladiza, lo cual representa un peligro para los transeúntes.

Floración y fructificación

Las flores son quizás las estructuras más llamativas de los árboles, por lo cual son utilizadas más frecuentemente como criterio de selección de las especies en el diseño paisajístico en las áreas urbanas. Sin embargo, las flores no solamente son importantes por su valor estético, sino

también porque brindan néctar y polen a insectos y aves, además son las precursoras de los frutos, la principal fuente de alimento para muchas especies animales, lo cual debe tenerse en cuenta para aumentar la fauna silvestre en la ciudad. No obstante, la floración de algunas especies restringe su uso en diferentes tipos de espacios verdes. Por ejemplo, las flores grandes, carnosas y abundantes representan un peligro en las áreas peatonales y obstruyen los sumideros de agua; ejemplos de estas especies son el guayacán rosado (*Tabebuia rosea*), el guayacán amarillo (*Handroanthus chrysanthus*), el tulipán africano (*Spathodea campanulata*) y el balso (*Ochroma pyramidale*). Otras flores pueden ser alergénicas para algunas personas o, eventualmente, tener aromas poco agradables, como el terminalia (*Terminalia ivorensis*) y el nogal cafetero (*Cordia alliodora*).

De manera similar, es importante considerar el tamaño, consistencia, peso y cantidad de frutos producidos por los árboles. Varias especies tienen frutos grandes y pesados que pueden representar peligro a lo largo de las vías o en los senderos, por lo cual deben estar ubicadas en zonas que no generen riesgos para peatones y automóviles. Ejemplos de estas especies son la caoba (*Swietenia macrophylla*), el árbol de las salchichas (*Kigelia africana*), el bala de cañón (*Couroupita guianensis*) y la palma de coco (*Cocos nucifera*) (Morales & Varón, 2006).

Sistema radical


La raíz cumple funciones vitales para los árboles, como son la absorción de agua y nutrientes, el anclaje al suelo, el almacenamiento de sustancias de reserva y la producción de hormonas (Pallardy, 2008). En las plantas se pueden encontrar dos tipos básicos de sistemas radicales: el pivotante (o axonomorfo) y el fibroso. En el sistema pivotante, la raíz primaria se extiende hacia abajo y da origen a ramificaciones o raíces laterales a lo largo de ella; este es el tipo más comúnmente encontrado en los árboles (Uribe & Fonnegra, 2003). En el sistema fibroso o fasciculado, la raíz principal tiene una vida corta y el sistema radical está conformado por raíces adventicias que se originan de la base del tallo. En este tipo, ninguna raíz es de mayor longitud que las otras, y se presenta comúnmente en las palmas. En general, el sistema pivotante penetra a una mayor profundidad que los sistemas fibrosos (Raven, Evert, & Eichhorn, 2005).

La extensión del sistema radical, es decir el desarrollo

lateral y la profundidad, depende de factores genéticos y ambientales, como la humedad, la temperatura y las propiedades del suelo. Los árboles en su hábitat natural generalmente extienden sus raíces laterales hasta una distancia similar o mayor que la amplitud de su copa. La profundidad de las raíces varía entre las diferentes especies, aunque la mayor parte de las raíces que absorben agua y nutrientes se encuentra ubicada en el metro superior del suelo. Parece existir una correlación entre la profundidad y las condiciones climáticas en las que ha evolucionado la especie. Es así como las especies de zonas secas desarrollan raíces más profundas, mientras que las de zonas húmedas presentan raíces más superficiales (Pallardy, 2008; Raven et al., 2005).

Si bien las especies pueden tener el potencial genético para desarrollar sistemas radicales extendidos y profundos, las características del sitio donde estén establecidos los árboles pueden influir en su desarrollo final; por ejemplo, estos pueden verse limitados por la presencia de superficies impenetrables o por las condiciones precarias del suelo en humedad y nutrientes, comunes en el ambiente urbano (Day, Wiseman, Dickinson, & Harris, 2010). Así, es posible que aun para especies con sistemas radicales profundos, si el sitio de plantación es reducido, se forme un sistema de raíces superficial que aumenta las probabilidades de volcamiento, con los riesgos que ello representa (Burton, 2012). Dado que el conocimiento de la arquitectura del sistema radical de las especies y su crecimiento bajo diferentes condiciones ambientales, principalmente del suelo, es muy importante para la selección de las especies y para la aplicación oportuna de tratamientos silviculturales, es imperativo el desarrollo de proyectos de investigación encaminados a llenar los vacíos de conocimiento existentes en este tema.

Si bien en el Valle de Aburrá no se ha evaluado de manera exhaustiva el tipo y arquitectura del sistema radical de la gran mayoría de la especies, hay un estudio pionero, desarrollado por Empresas Públicas de Medellín, UNE & Universidad Nacional (2012), donde se reportan las 18 especies más frecuentemente encontradas en la zona de influencia de las redes de servicio eléctrico, de telecomunicaciones y de suministro de agua en las áreas urbanas. Entre estas se identificaron aquellas que desarrollan raíces gruesas o superficiales y que pueden causar daño a la infraestructura, afectar los sistemas de servicios y levantar andenes. Estas son: falso laurel (*Ficus benjamina*),


Las características
del sitio donde
estén establecidos
los árboles pueden
influir en su
desarrollo final

caucho (*Ficus elastica*), urapán (*Fraxinus uhdei*), tulipán africano (*Spathodea campanulata*) y chiminango (*Pithecellobium dulce*). Por otra parte, se cuenta con especies con raíces profundas como guayacanes (*Tabebuia* spp.), acacia amarilla (*Caesalpinia pluviosa*) y ciprés vela (*Cupressus sempervirens*), las cuales representan menor riesgo de volcamiento que aquellas con raíces superficiales, pero antes de su plantación es importante verificar si existen redes de servicios enterradas, puesto que pueden ocasionarles daños.

Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento es una característica generalmente asociada al grupo funcional o ecológico al que pertenece la especie. En general, esta característica está relacionada con la longevidad y la densidad de la madera. Es común que las especies de crecimiento rápido tengan baja longevidad y maderas livianas; mientras que las de crecimiento lento sean más longevas y posean maderas densas (Guariguata & Ostertag, 2002). Se considera que la alta densidad de la madera concede ventajas de supervivencia, ya que puede reducir la probabilidad de daños físicos y aumentar la resistencia a plagas y enfermedades (Turner, 2001).

Tabla 6.
Tasas de crecimiento de especies arbóreas en estado juvenil

Tasa de crecimiento	Crecimiento promedio en diámetro (cm/año)	Crecimiento promedio en altura (m/año) ¹	Ejemplos ²
Baja	Menor que 1	Menor que 1	Algarrobo (<i>Hymenaea courbaril</i>), choibá (<i>Dipteryx oleífera</i>), guayacán de bola (<i>Bulnesia arborea</i>)
Media	Entre 1 y 2	Entre 1 y 2	Carbonero zorro (<i>Cojoba arborea</i>), guayacán rosado (<i>Tabebuia rosea</i>), ébano (<i>Caesalpinia eburnea</i>)
Alta	Mayor que 2	Mayor que 2	Yarumos (<i>Cecropia</i> spp.), balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>)

Fuentes: 1. Empresas Públicas de Medellín UNE & Universidad Nacional (2010). 2. Morales & Varón (2006).

Es común que las especies longevas no toleren la plena exposición solar en su estado juvenil y tengan crecimiento lento (Bazzaz & Pickett, 1980). Dado que en muchas zonas de la ciudad se requieren especies que tengan rápido crecimiento y sean de larga vida, lo recomendado es plantar una combinación de especies que cumplan con estas condiciones. Por ejemplo, la plantación simultánea de especies con diferentes tasas de crecimiento permite que aquellas con rápido crecimiento produzcan la sombra requerida para las especies longevas. En la Tabla 6 se presentan las categorías propuestas de tasas de crecimiento con sus respectivos valores de crecimiento en diámetro y altura por año y algunos ejemplos.

Longevidad

La duración de la vida de los árboles varía con la especie, las condiciones ambientales y la historia de manejo durante el ciclo vital desde el vivero. En el ambiente urbano, los árboles suelen estar sometidos a condiciones de mayor estrés que en su hábitat natural, lo cual puede disminuir la longevidad potencial de la especie. Por ejemplo, la longevidad de un árbol puede afectarse por la calidad deficiente del material procedente del vivero, las condiciones precarias del sitio, la contaminación ambiental, el ataque de plagas o enfermedades, las prácticas de manejo inadecuadas, el vandalismo, entre otras. De allí que las labores de manejo y monitoreo apropiadas y oportunas pueden aumentar los años de vida y, por tanto, disminuir las necesidades de reposición.

La longevidad está asociada con el grupo funcional al que pertenece la especie. Es así como las especies pioneras tienen una menor longevidad que las secundarias y estas, a su vez, menor que las climáticas (Guariguata & Ostertag, 2002). De acuerdo con esta característica, estos grupos funcionales y las especies pueden clasificarse en las siguientes categorías: longevidad baja (< 35 años), longevidad media (35-70 años) y longevidad alta (> 70 años).

En algunos tipos de espacio público verde, este criterio tiene mayor relevancia que en otros. Por ejemplo, en aquellas áreas asociadas al sistema de movilidad se recomienda establecer especies de mediana y alta longevidad. En otros espacios, como cerros, retiros de quebrada y parques, pueden seleccionarse especies de diferente longevidad, lo que permite incorporar una mayor cantidad de especies y lograr ecosistemas más diversos y con mayor funcionalidad ecológica.

Atracción de fauna

Los árboles ofrecen refugio y diferentes recursos alimenticios para especies de insectos, aves, mamíferos y reptiles que enriquecen la biodiversidad en el ambiente urbano. Esta característica tiene especial relevancia en aquellos espacios verdes asociados a las redes ecológicas y a la estructura ecológica principal definida en los planes de ordenamiento territorial de los municipios, en los que se busca garantizar la conectividad ecológica para permitir el flujo de especies. Por otra parte, en algunos lugares, como autopistas y zonas cercanas a aeropuertos, no es conveniente establecer especies que ofrezcan este tipo de recursos porque pueden generar accidentes o convertirse en trampas para los animales.

Procedencia

De acuerdo con su origen, las especies se clasifican en nativas e introducidas. Las especies nativas son aquellas propias de una región y se distribuyen naturalmente en ella; mientras que las introducidas son las que han sido transportadas desde lugares diferentes a su distribución natural. En el Valle de Aburrá, un porcentaje alto de especies son introducidas. De acuerdo con los datos provenientes del inventario de la flora urbana, realizado en el PMEPU (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007), el 70 % de las especies reportadas para el año 2006 corresponden a flora no nativa de la región.

En un país de alta biodiversidad como Colombia es importante impulsar la plantación de flora nativa en el arbolado urbano. No obstante, tampoco se puede prohibir o estigmatizar el uso de especies introducidas, toda vez que muchas de ellas están profundamente arraigadas entre la ciudadanía y tienen gran valor ambiental y paisajístico. En los últimos años se han realizado esfuerzos para plantar especies nativas o al menos propias de la región neotropical en el Valle de Aburrá, situación que ha disminuido considerablemente el porcentaje de especies introducidas en las zonas verdes urbanas. Así, especies comunes de los bosques secos y húmedos del país se han propagado y establecido en los diferentes municipios de la región. Sin embargo, es importante evaluar el comportamiento de cada especie antes de plantarla en forma masiva, sobre todo, en sitios que presentan restricciones importantes, como los espacios verdes asociados al sistema de movilidad.

Función

Los árboles proveen muchos beneficios, como sombra, regulación de la temperatura, captura de dióxido de carbono, ornato y embellecimiento del paisaje, control de erosión, protección de recursos hídricos, estabilización de cauces, mitigación de la contaminación atmosférica, provisión de alimento para la fauna, entre otros. Es importante definir cuáles son las funciones prioritarias que tendrán los árboles en el sitio de plantación y seleccionar las especies que mejor las cumplan.

En la Tabla 7 se presenta una propuesta de las características deseables de las especies para cada tipo de espacio público verde. Se elaboró con base en la metodología usada en el Manual de arboricultura de Bogotá (Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2010) y se diligenció con base en el conocimiento y experiencia de expertos en silvicultura urbana del Valle de Aburrá.

En caso de que en algún tipo de espacio público verde no exista limitación para una característica específica, se asignó la opción "indiferente". Se entiende en este caso que cualquier opción es válida y, en lo posible, se buscará establecer una mezcla de especies con diferentes características. Por ejemplo, en los parques o en las plazas no hay restricciones con respecto a la amplitud de la copa, por lo cual se le asignó "indiferente"; no obstante, se recomienda que en dicho espacio se combinen especies con diferentes tamaños de copa. Así mismo, se debe considerar que las especies de copas más amplias queden ubicadas en el centro del parque o plaza, y no en sus bordes, dado que sus ramas pueden interferir con el flujo vehicular y las construcciones aledañas.

Un criterio que causa controversia es el de la diversidad de especies, dado que tiene ventajas y desventajas. Entre las ventajas están la oferta de un hábitat más rico para la fauna, así como mayor estabilidad ecológica, lo cual permite prevenir la mortalidad de los individuos causada por el ataque de plagas y enfermedades (Bassuk et al., 2009). Por otro lado, los espacios homogéneos facilitan el mantenimiento y generan paisajes con atributos especiales y significados culturales particulares asociados con la especie dominante. Por ello, es posible que en algunos sectores o zonas específicas de la ciudad sea deseable el establecimiento de grupos de árboles de una o pocas especies.

*En un país de alta
biodiversidad
como Colombia
es importante
impulsar la
plantación de
flora nativa en el
arbolado urbano*

Tabla 7.
Características deseables de las especies según el tipo de espacio público verde en el Valle de Aburrá

Espacio público verde		Características de las especies		
		Tamaño	Amplitud de copa	Forma de copa
Orográfico	Laderas y cerros	Indiferente	Indiferente	Indiferente
Hídrico	Retiros de quebrada	Indiferente	Indiferente	Indiferente
	Ecoparques de quebrada	Pequeño, mediano	Estrecha, mediana	Indiferente
Movilidad	Separador autopista	Mediano	Estrecha, mediana	Columnar, oval
	Separador vía arteria	Mediano	Estrecha, mediana	Columnar, oval
	Andén vía de servicio	Pequeño, mediano	Estrecha, mediana	Aparasolada, oval
	Vía peatonal	Mediano	Mediana	Aparasolada
	Orejas de puente	Mediano, grande	Indiferente	Indiferente
	Glorietas	Pequeño, mediano	Indiferente	Indiferente
Articuladores y de encuentro	Parques	Pequeño, mediano, grande	Indiferente	Indiferente
	Plaza /plazoleta	Pequeño, mediano	Mediana, amplia	Indiferente
Edificios públicos y equipamientos colectivos	Edificios institucionales	Mediano	Indiferente	Indiferente
	Nodos de actividad o centralidades	Mediano	Indiferente	Indiferente
Procesos urbanísticos y predios privados	Áreas verdes de dominio privado o público de interés ambiental, científico o paisajístico	Indiferente	Indiferente	Indiferente

Características de las especies					
Permanencia de hojas	Crecimiento	Longevidad	Limitación flores	Limitación frutos	Atracción fauna
Indiferente	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Alta
Indiferente	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Alta
Indiferente	Indiferente	Alta	Olor, alergénico	Pesado, masivo	Alta
Perennifolio	Lento, mediano	Alta	Masiva, carnosa	Pesado, masivo	Baja
Perennifolio	Lento, mediano	Alta	Masiva, carnosa	Masivo	Media
Perennifolio	Lento, mediano	Alta	Masiva, carnosa	Masivo	Alta
Perennifolio	Mediano	Alta	Olor, alergénica, masiva, carnosa	Pesado, carnoso	Media
Indiferente	Indiferente	Alta	Indiferente	Masivo, carnoso	Alta
Indiferente	Indiferente	Madiana, alta	Indiferente	Masivo, carnoso	Alta
Indiferente	Indiferente	Indiferente	Olor, alergénica, masiva, carnosa	Pesado, masivo	Alta
Indiferente	Indiferente	Madiana, alta	Olor, alergénica, masiva, carnosa	Pesado, carnoso	Media
Indiferente	Lento, mediano	Alta	Olor, alergénica, masiva, carnosa	Pesado, masivo	Alta
Indiferente	Lento, mediano	Alta	Olor, alergénica, masiva, carnosa	Pesado, masivo	Alta
Indiferente	Indiferente	Indiferente	Olor, alergénica, masiva, carnosa	Indiferente	Alta

Rusticidad

Otro aspecto que se debe tener en cuenta para la selección de las especies es su capacidad de adaptación y tolerancia al estrés asociado al medio ambiente urbano (lista de calor, contaminación, impermeabilización del suelo, vandalismo), así como con las necesidades de mantenimiento de los individuos. Lo ideal es escoger especies que no sean susceptibles a plagas y enfermedades, y que no tengan altas exigencias de mantenimiento para su normal desarrollo (por ejemplo, que no requieran podas, fertilización o riego frecuentes).

4.2.4. Selección de las especies según el tipo de espacio público

Con base en las características deseables por espacio público verde y en los atributos de las especies seleccionadas, se elaboró una matriz preliminar con la recomendación de las áreas verdes urbanas más adecuadas para cada especie. La matriz se presenta en el Anexo 1 y contiene un listado de 300 especies arbóreas y 80 de palmas. Se incluyen tanto especies utilizadas tradicionalmente en los programas de arborización en el Valle de Aburrá, como aquellas que han sido incorporadas recientemente.

Este listado es solo una propuesta preliminar que busca orientar la selección de especies para cada tipo de espacio público verde, y no pretende limitar la cantidad a establecer en las áreas urbanas del Valle de Aburrá. Por lo tanto, debe considerarse solo como una guía de trabajo que deberá ser validada en el ejercicio del día a día, así como mediante la investigación sistemática (sobre estas y otras especies), la cual permitirá refinarla y complementarla. Esta investigación es especialmente importante para las especies originarias de los bosques húmedos y muy húmedos del piso premontano, donde está localizada la zona urbana del Valle de Aburrá.

Las laderas y los cerros ofrecen una oportunidad excepcional para promover el enriquecimiento con especies nativas típicas de las zonas de vida presentes en el Valle de Aburrá. Sin embargo, es importante analizar las condiciones específicas del sitio, como pendiente, susceptibilidad a la erosión y drenaje, dado que el establecimiento de árboles de gran tamaño en sitios vulnerables puede presentar riesgos por volcamiento.

De manera similar, en los retiros o rondas del río y sus quebradas afluentes, donde aparentemente no hay restricciones para el crecimiento de los árboles por obras infraestructura, pueden existir

algunas livianas como mojones, contenedores y luminarias que limitan el establecimiento de algunas especies. Así mismo, en zonas susceptibles a la erosión no es adecuado plantar especies que alcancen gran tamaño, por lo que se recomiendan aquellas que favorezcan el amarre del suelo, como por ejemplo: suribio (*Zygia longifolia*), carbonero (*Calliandra pittieri*), búcaro (*Erythrina fusca*), guamo (*Inga* spp.), guadua (*Guadua angustifolia*), entre otras.

4.2.5. Análisis del sitio de plantación


Una vez seleccionadas las especies para cada tipo de espacio verde, es necesario hacer una evaluación del sitio en el que serán plantados los árboles, arbustos o palmas. Las condiciones del sitio incluyen tanto el componente aéreo como el subterráneo. En la parte aérea se consideran las características de luminosidad, vientos, vegetación arbórea existente, redes de energía, luminarias, avisos y edificios. En la parte subterránea se consideran la existencia de redes de servicios, el tamaño del espacio de enraizamiento disponible (área y profundidad) y las propiedades del suelo que garanticen tanto el soporte como el suministro de agua, aire y nutrientes para el árbol. El desarrollo del presente numeral se basó principalmente en lo recomendado por Gilman y Sadowski (2007).

Componente aéreo

Luminosidad: se debe tener en cuenta si hay incidencia de luz total, parcial o sombra en el espacio verde urbano seleccionado para la plantación. Las especies tienen diferentes requerimientos de luz y algunas necesitan sombra en las etapas juveniles, pero posteriormente no. Si la fuente de luz es lateral, el individuo crecerá inclinado hacia esa dirección y puede representar riesgos de volcamiento en el futuro.

Vientos fuertes: las especies con follaje muy denso no son recomendables en sitios sujetos a vientos fuertes, porque estos generalmente producen un aumento significativo de la transpiración de la planta y se puede generar rompimiento de ramas. Las palmas se suelen afectar significativamente, puesto que los vientos pueden rasgar las hojas. En estos sitios es recomendable colocar tutores que eviten la inclinación o ruptura de los árboles.

Vegetación existente: cuando en el sitio de plantación existen árboles ya establecidos, estos pueden limitar el crecimiento de los individuos recién plantados, especial-


Es necesario hacer una evaluación del sitio en el que serán plantados los árboles, incluyendo tanto el componente aéreo como el subterráneo

mente si se trata de especies heliófitas que requieren alta luminosidad. En esas condiciones, lo más probable es que los árboles crezcan con el tallo y la copa inclinados en búsqueda de la luz, lo que puede representar riesgos futuros. También puede ocurrir que bajo la sombra y la competencia por agua y nutrientes, los árboles sean poco vigorosos y susceptibles al deterioro. No obstante, para estos sitios se pueden seleccionar especies tolerantes a la sombra o que requieran sombra parcial, y que alcancen diferentes alturas. De esta manera, se establecerá una vegetación estratificada que tendrá beneficios ambientales como la oferta de hábitats más diversos y de más fácil acceso para la fauna. Esto es especialmente válido en las zonas que hacen parte de las redes ecológicas, como aquellas asociadas a los sistemas hídrico y de movilidad, y a los cerros y parques (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007).

En algunos sitios es común que los ciudadanos planten especies en el espacio público, principalmente en parques y zonas verdes asociadas a andenes, sin tener en cuenta la vegetación existente; como resultado, se pueden encontrar sitios con una densidad excesiva de árboles, arbustos y palmas, donde la distancia entre individuos de especies de talla grande llega a ser menor de dos o tres metros, situación que hace inviable su adecuado crecimiento y desarrollo (Figura 6).



Figura 6.
Plantación de árboles de talla grande a distancias de siembra insuficientes y en lugares con vegetación arbórea preexistente.

Redes eléctricas: la existencia de cables aéreos es, quizás, la mayor restricción al crecimiento en altura de los árboles, puesto que cuando las ramas tocan los cables se pueden causar cortocircuitos, por lo cual se deben podar. Ya se ha mencionado anteriormente que, en la medida de lo posible, lo deseable es evitar podas frecuentes por sus efectos sobre la calidad, estabilidad y vigor de los árboles, además de los costos de esta labor. Sin embargo, existen diferentes tipos de cables que permiten la coexistencia con la vegetación. Por ejemplo, las redes secundarias y acometidas domiciliarias son completamente aisladas y por ello son las que menor conflicto suelen presentar con los árboles; así mismo, las redes primarias con un aislamiento del 100 % permiten el contacto con las ramas sin generar cortocircuitos (Figura 7). En el caso de cables desnudos y abiertos no se permite ningún contacto, por lo que se hace obligatorio seleccionar especies de talla pequeña exclusivamente. Los cables cubiertos compactos y abiertos se deben tratar como redes desnudas, ya que el aislamiento es parcial y solo pueden tener contacto temporalmente con la vegetación.



Figura 7.
Árboles grandes en contacto con cables aéreos compactos de distribución de energía.

En el área urbana del Valle de Aburrá se pueden encontrar los siguientes tipos de redes: transmisión, distribución y telecomunicaciones (Empresas Públicas de Medellín & Universidad Nacional, 2010). A continuación se describe cada una de ellas con sus respectivas tensiones y limitaciones para el establecimiento de la vegetación:

- **Redes de transmisión:** sus tensiones son mayores de 57,5 kV. Empresas Públicas de Medellín maneja tensiones de 110 kV, 220 kV y 500 kV. Estas líneas requieren de una franja de servidumbre de 15 m de ancho del eje de la línea a cada costado. Debajo de estas no se puede establecer vegetación que supere los 3 m de altura, dado que si se tiene contacto con el cable, se pueden generar descargas eléctricas que atentan contra la vida de las personas, los animales y las mismas plantas. En el Valle de Aburrá, la altura al primer conductor en este tipo de redes oscila entre 7 y 10 m.
- **Redes de distribución:** pueden ser de mediana o baja tensión.

a. Redes de mediana tensión: también denominadas redes primarias eléctricas, se construyen en postes de concreto o madera de 14 m de altura (44 y 13,2 kV en circuitos trifásicos) o 12 m (13,2 kV en circuito trifásico y 7,62 kV en circuitos monofásico). Las redes trifásicas pueden ser de configuración abierta, compacta o trenzada.

Las redes abiertas generalmente están construidas en cables de aluminio desnudo que no permiten contacto con las ramas de los árboles, o también se construyen en cables cubiertos con capa de polietileno, los cuales permiten contactos transitorios con ramas sin que se afecte el servicio de energía.

Las redes compactas utilizan cables protegidos, amarrados y separados con espaciadores triangulares y sustentados por un cable de acero portante galvanizado de alta resistencia. Su impacto ambiental es menor al reducir considerablemente los espacios de montajes y franjas de seguridad. Se reducen las podas de árboles, tanto en frecuencia como en volumen, por lo cual presentan mejor estética y armonía con el medio ambiente y se disminuyen los efectos negativos de esta intervención sobre la salud del arbolado (Figura 8).

Figura 8.
Árboles grandes en coexistencia con redes eléctricas compactas.



Las redes trenzadas están construidas con cables aislados al 100 %, lo que permite el contacto permanente con las ramas de los árboles. Aunque generalmente se utilizan en redes subterráneas, a veces son utilizadas en redes aéreas, especialmente en zonas de alto conflicto con la vegetación.

b. Las redes aéreas secundarias o de baja tensión operan a tensiones de 110-220 voltios; están construidas con conductores o cables aislados trenzados que van soportados en postes a una altura de 5 m. Los cables de estas redes permiten el contacto con las ramas de los árboles y solo se les hace mantenimiento cuando se ven afectadas por rompimiento del conductor debido al empuje o fricción de las ramas.

- **Redes de telecomunicaciones:** prestan el servicio de telefonía básica, televisión e internet y pueden ser alámbricas o inalámbricas. El conflicto entre estas redes y el arbolado urbano es principalmente con el sistema alámbrico aéreo, que se encuentra soportado en postes de concreto y que en algunos casos es compartido con la infraestructura de distribución de energía. Los conflictos están relacionados básicamente con fallas en la prestación del servicio, debido a presión mecánica o corte de los cables por acción del tronco o una rama de los individuos. En algunas ocasiones, el sistema inalámbrico de telecomunicaciones puede tener conflicto con el componente arbóreo, al interferir con la transmisión inalámbrica que se realiza a través de ondas, ya que puede obstaculizar la línea de vista entre las antenas ubicadas estratégicamente para la prestación de los servicios asociados de voz, datos e imagen.

Alumbrado público: no se deben plantar árboles cerca de lámparas donde eventualmente bloqueen la luz. Si esto ocurre, el árbol tendrá que podarse regularmente con las desventajas ya mencionadas. En Colombia, se cuenta con la Resolución 181331 de agosto de 2009 del Ministerio de Minas y Energía, por la cual se expide el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), el cual recomienda plantar árboles de follaje liviano y separar el sitio de plantación al menos 1,5 m de la proyección que da la red aérea sobre el piso. Para que haya coordinación entre la arborización ya existente y la iluminación pública, es necesario, en algunos casos, efectuar desviaciones a los parámetros generales del diseño del alumbrado públi-

co para la vía, como la altura de montaje, interdistancia, disposición de las luminarias o su brazo de montaje, entre otros. Sin embargo, cada caso debe tratarse separadamente, dependiendo de la vegetación considerada. Se requiere la selección de las especies que mejor se adapten y no interfieran con el principal objetivo del alumbrado público que está orientado a la seguridad de peatones y vehículos.



Señalización vial y cámaras de seguridad: el arbolado urbano puede interferir con los avisos si están muy cerca de ellos. Para evitarlo, se pueden plantar árboles de talla grande cerca de avisos bajos que posteriormente sobrepasen su altura. A medida que el árbol crece, es posible efectuar podas de las ramas inferiores. En caso de tener avisos altos, se pueden plantar árboles de baja altura. La plantación de árboles de talla grande no es adecuada debajo de cámaras de seguridad, puesto que cuando crezcan obstaculizarán los registros (Figura 9).

Edificios: los árboles son más estables en el suelo cuando desarrollan un sistema radical uniformemente distribuido a su alrededor. Sin embargo, esta situación es difícil en zonas verdes cercanas a edificios, donde las raíces generalmente se desarrollan de un solo lado, lo cual puede crear un desbalance del árbol y ponerlo en riesgo. Una buena opción es plantar árboles con copa estrecha y a una distancia mínima de 3 m de la edificación.

Figura 9. Árbol de talla grande en estado juvenil plantado bajo cámara de seguridad.

Análisis del componente subterráneo

Generalmente, los sitios potenciales para la plantación de árboles en las ciudades presentan restricciones de espacio, están cubiertos con superficies impermeables y

tienen limitaciones para el crecimiento óptimo de la vegetación arbórea. Las características del suelo comúnmente encontradas en el entorno urbano (por ejemplo, compactación, escombros, alcalinidad, deficiente infiltración, baja fertilidad) no son apropiadas para el adecuado desarrollo del sistema radical, lo cual puede producir estrés fisiológico y deficiencias nutricionales. Como consecuencia de esto, los árboles se tornan más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades y menos resistentes a eventuales fenómenos en su entorno, como tormentas, vientos fuertes, sequías y contaminación, lo cual puede producir su deterioro progresivo y muerte prematura, con riesgo para las personas y la infraestructura urbana.

Antes de seleccionar el sitio definitivo de plantación, se debe chequear si existen estructuras enterradas, como cables subterráneos, redes de gas y sistemas de acueducto y alcantarillado. Así mismo, consultar con las empresas prestadoras de los servicios públicos si disponen de un mapa con la ubicación de esta infraestructura y si tienen definida una distancia mínima al sitio de plantación. La distancia debe ser definida de acuerdo con la extensión horizontal de las raíces.

Como criterio general para evitar relaciones antagónicas entre el arbolado y la infraestructura urbana, los sitios de plantación deberán estar alejados de esta por lo menos a una distancia equivalente a 1,5 veces el radio de la copa del individuo adulto, si se trata de una zona verde en la cual el árbol puede extender sus raíces sin restricciones. En caso de que el individuo deba establecerse en una zona de piso duro, será necesaria su plantación en contenedores de raíces diseñados apropiadamente, según se sugiere más adelante.

El suelo es el soporte y el reservorio de agua, aire y nutrientes para el arbolado urbano, por lo tanto, sus propiedades deben garantizar el cumplimiento de estas funciones. Las principales características del suelo que afectan el desarrollo de los individuos y que influyen en la selección de las especies para un sitio en particular son: drenaje, pH, textura, contenido de materia orgánica, concentración de calcio, magnesio, potasio y fósforo. En caso de ser posible, se recomienda realizar un análisis de suelo con el fin de identificar posibles deficiencias, toxicidades u otras condiciones que pudieran afectar el normal crecimiento, vigor y salud del arbolado. El pH influye considerablemente en la disponibilidad de nutrientes y afecta la actividad de los

microorganismos. La mayoría de las especies de árboles crecen bien en pH entre 4,8 y 7,2; muy pocas crecen adecuadamente en suelos con pH mayor de 9 (Gilman & Sadowski, 2007).

Suelos compactados, con drenaje pobre y baja aireación limitan considerablemente el crecimiento de los árboles, dado que restringen el desarrollo de las raíces y el suministro de oxígeno requerido para su respiración. Una manera sencilla de evaluar el drenaje del suelo consiste en cavar un hoyo de al menos 30 cm de profundidad y diámetro y llenarlo con agua; si al cabo de cuatro horas no hay agua dentro del hoyo, se puede sembrar cualquier árbol; de lo contrario, probablemente la capa freática es alta y puede presentarse encharcamiento frecuente, por lo cual sólo especies tolerantes a estas condiciones pueden crecer bien. Así mismo, es importante garantizar el adecuado desarrollo de sistemas radicales que brinden estabilidad al árbol. Si el subsuelo está compactado, las raíces solo se desarrollarán en la superficie, con grave riesgo de volcamiento cuando el árbol alcance un porte de moderado a grande.

En general, los suelos en áreas urbanas se caracterizan por estar altamente deteriorados, debido básicamente a las intervenciones a su alrededor. La prevalencia del concreto para la construcción de vías e infraestructura ha deteriorado profundamente sus propiedades. Como resultado de todas estas alteraciones se originan suelos compactados, impermeables, mal drenados y con poca capacidad de infiltración e intercambio gaseoso.

De acuerdo con los análisis de suelos realizados en 30 sitios de la zona urbana del Valle de Aburrá con cobertura arbórea (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Escuela de Ingeniería de Antioquia & Universidad Nacional 2010), estos son compactados y mezclados con escombros, gravas y piedras resultantes de construcciones. En su mayoría, los valores de pH son óptimos (6,5±0,9) (Tabla 8); sin embargo, se hallaron suelos con pH alcalinos (> 7), asociados con pisos duros, jardineras y separadores viales. El pH promedio en suelos asociados a estos sitios es de 7,6 ±0,3. Los valores de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) (11,6, 2,2, y 0,3 cmolc/kg, respectivamente) se consideran óptimos para el primero y medios para los dos últimos (Alvarado & Raigosa, 2012). En consecuencia, las relaciones entre estos cationes (Ca, Mg y K) son subóptimas, pues los niveles de Ca son muy altos en comparación con los de Mg

y K, lo cual podría crear un desbalance para las plantas.

En algunos casos, el suelo en el sitio de plantación presenta condiciones tan precarias que es necesario adicionar sustratos adecuados, los cuales generalmente se extraen de otras áreas; para evitar el riesgo de alterar los suelos en los lugares de origen se puede usar el suelo superficial extraído de excavaciones realizadas para nuevas construcciones, recomendación que más adelante se explica.

Tabla 8.
Resultados de análisis de suelos en varias zonas verdes urbanas del Valle de Aburrá.

Estadístico	pH	Materia orgánica	Ca	Mg	K	P	Capacidad de intercambio catiónico
		(%)	cmolc/kg = meq/100 g suelo			mg/kg	
Promedio	6,5	4,0	11,6	2,2	0,3	14,1	14,2
Desviación estándar	0,9	2,5	7,8	1,6	0,2	16,5	7,6
Mínimo	4,8	0,6	2,1	0,7	0,1	3,0	4,0
Máximo	8,2	10,0	32,5	8,7	1,2	90,0	33,7

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Escuela de Ingeniería de Antioquia & Universidad Nacional (2010).

Modificaciones potenciales del sitio: se debe evaluar la posibilidad de realizar modificaciones al sitio para mejorar las condiciones del árbol recién plantado. Por ejemplo, el movimiento de lámparas y cables, el reemplazo de redes abiertas por redes compactas y cerradas, la incorporación de sustrato con textura adecuada y debidamente fertilizado, la corrección del pH, entre otras. Así mismo, para mejorar el drenaje se puede reducir la escorrentía superficial y aprovechar el agua lluvia haciendo zanjas y canalizando el agua alrededor del hoyo.

A continuación se presenta un listado de aspectos a evaluar en el sitio de la plantación (adaptado de Gilman & Sadowski, 2007):

- Área disponible para el árbol, arbusto o palma.
- Si el sitio corresponde a la zona verde de un separador o andén, ¿qué ancho tiene el área?
- Distancia a la vía y a la infraestructura vecina.

- Existencia de cables aéreos: tipo de cable, distancia horizontal del árbol al poste y al cable, altura del cable.
- Lámparas o avisos cercanos: distancia y altura entre el árbol y la lámpara o aviso.
- Edificios cercanos: distancia y altura del edificio.
- Vegetación arbórea alrededor del árbol que se va a plantar: especies, tamaños y distancias.
- Condiciones de luz: plena exposición, semisombra, sombra fuerte.
- Sitio: zona verde, piso duro, contenedor.
- Servicios públicos subterráneos: energía, acueducto, alcantarillado, gas.
- Condiciones de drenaje: lento, medio, rápido.
- Capa freática: alta, baja.
- Textura del suelo: arenosa, arcillosa, franca.
- Compactación del suelo: compactado, suelto.
- Planeación de futuros proyectos de infraestructura en el lugar.

4.3. ESTABLECIMIENTO

A continuación se describen las pautas para la adecuada plantación de los árboles en el sitio definitivo. Es importante anotar que antes de iniciar esta labor, se debe verificar que el material vegetal cumpla con los estándares mínimos de calidad ya indicados en el capítulo tres de la presente guía.

4.3.1. Preparación del sitio

Se debe limpiar el sitio de plantación de cualquier resto de construcción, escombros y demás material que no sea suelo. También se debe retirar cualquier otro material que pueda afectar el normal desarrollo de las raíces; aunque si el suelo original se puede mejorar con fertilizantes o abonos orgánicos, no se justifica extraer todo ese medio y descartarlo. Solo bajo condiciones extremas limitantes para el desarrollo del árbol (escombros, suelo compactado) se amerita el cambio de sustrato. En la mayoría

de las obras se exige que el suelo disponible para la planta sea de 1 m³, volumen que puede ser suficiente para la mayoría de arbustos y árboles pequeños, pero no para árboles medianos y grandes. Cuando ese volumen está limitado por barreras duras o baja humedad, la planta agota en poco tiempo los nutrientes del suelo, paulatinamente reduce sus reservas internas, sufre estrés hídrico, disminuye su desarrollo, se deteriora y puede morir.

Cuando sea necesario cambiar el suelo por uno con condiciones adecuadas, una opción es preparar una mezcla de arena, material del primer horizonte mineral del suelo con alto contenido de materia orgánica (horizonte Ah) y materia orgánica compostada en proporción de 1:4:2. Tanto el suelo como la materia orgánica deben ser certificadas y biológicamente inocuas (desinfestadas según se describe en el capítulo tres de la presente guía sobre producción de material vegetal). La arena debe ser de pega, no de revoque ni proveniente de ríos.

Dependiendo de la composición del sustrato, puede ser necesario agregarle fertilizante para garantizar la nutrición óptima del árbol, como se propone más adelante. Del volumen de suelo disponible y su fertilidad depende la nutrición de los árboles, su resistencia a sequías y al ataque de enfermedades e insectos; además, debe tenerse en cuenta que luego de plantar el árbol es muy difícil adicionar suelo o cambiarlo. Por ello, es muy importante garantizar un sitio de plantación adecuado para el desarrollo de árboles vigorosos y sanos.

4.3.2. Contenedores de raíces y alcorques

Para aquellos árboles, arbustos y palmas que se van a establecer en zonas duras o cercanas a construcciones viales, edificaciones, muros de contención, entre otros, generalmente se requiere el uso de contenedores de raíces. El objetivo del contenedor es generar un área efectiva para el desarrollo del sistema radical, de tal forma que no afecte la infraestructura circundante (Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2010). No obstante, debe tenerse en cuenta que estas obras restringen el desarrollo de los individuos y acarrear consecuencias serias como su posible volcamiento, baja nutrición, ataques de plagas y enfermedades, y hasta su muerte. Una posible solución a este problema es la selección de la especie más apropiada para el sitio disponible (generalmente de porte arbustivo o árboles pequeños en edad adulta). No se recomienda ubicar árboles que han sido trasplantados de zonas verdes a contenedores, ya que esto disminuye las probabilidades de supervivencia de las especies.

Los contenedores de raíces deben ser construidos de tal forma

que afecten lo mínimo a los árboles, con base en las siguientes directrices: carecer de fondo, poseer paredes muy firmes sin fisuras y favorecer la infiltración y retención de agua. Así mismo, al plantar el árbol en el contenedor se deben dirigir las raíces hacia abajo y realizar cortes en la zona perimetral del pan de tierra para evitar que estas se entorchen alrededor del árbol y dentro del contenedor. La construcción de contenedores de raíces con bloques de concreto y mezcla de arena y cemento no garantizan su estabilidad, pues las raíces aprovechan cualquier fisura para penetrar, lo que suele destruir la obra; por tanto, para garantizar su efectividad, un contenedor no debe tener ningún tipo de fisura y una resistencia mínima de 2500 psi (Morales & Varón, 2006).



Figura 10.
Diseño inadecuado de alcorque por los bordes que impiden el ingreso de agua al suelo.



Figura 11.
Diseño adecuado de alcorque que permite el ingreso de agua lluvia.

Los alcorques son los espacios que se dejan alrededor de la base de los árboles y arbustos como perímetro de protección para permitir el intercambio gaseoso, la infiltración de agua y, en general, su crecimiento. Se deben conformar de tal manera que faciliten el ingreso y permanencia del agua lluvia. El borde externo del alcorque no debe estar por encima del nivel del piso, pues esto impide que el agua llegue a las raíces. En las Figuras 10 y 11 se ilustran ejemplos de alcorques diseñados de manera inadecuada y adecuada, respectivamente.

En algunos tipos de espacios públicos como parqueaderos, andenes y pasajes peatonales, cuyas áreas son por lo general muy limitadas para el arbolado urbano, se requiere una dosis alta de creatividad e innovación para que los individuos no se confinen en espacios reducidos que impliquen crecimiento lento, deterioro y muerte prematura, lo cual impide que brinden los importantes servicios para los cuales fueron plantados. Entre tales opciones está el diseño de andenes elevados o flotantes en las zonas cercanas a los árboles, lo cual permitiría que estos cuenten con un espacio de enraizamiento acorde a su porte natural. También se recomienda agrupar los espacios disponibles y plantar las especies en cantidades adecuadas al sitio, según los requerimientos de cada especie; de esta manera, los árboles tendrán mejores opciones de desarrollo y se incrementará la calidad del espacio público.

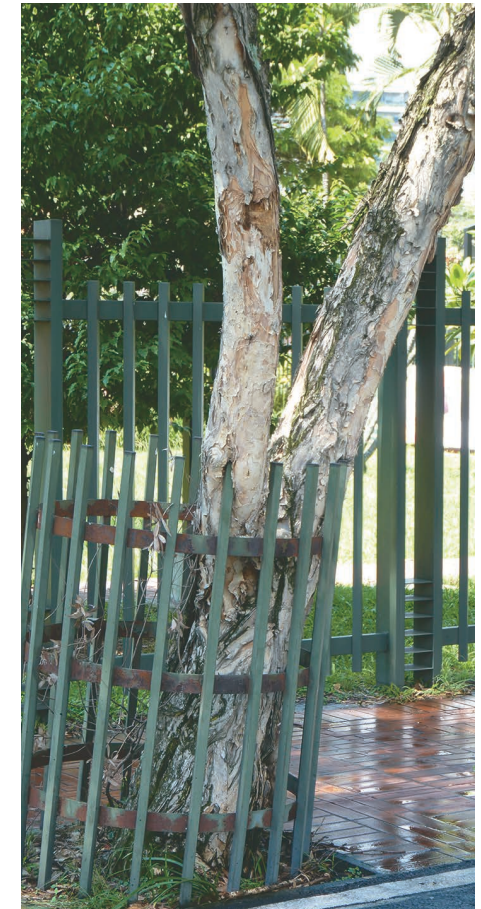


Figura 12.
Estructuras causantes de deterioro en árboles.

No se recomienda el establecimiento de jardines alrededor de los árboles dado que algunas de las especies herbáceas son propensas al ataque de plagas y enfermedades que pueden afectar a los árboles. En muchos casos, estos jardines cubren completamente la base de los individuos y crean condiciones de humedad que pueden originar problemas fitosanitarios en el cuello de la raíz. Además, dificultan la detección de pudriciones u otras afecta-

ciones que ponen en riesgo su estabilidad. Así mismo, en caso de establecer estructuras de protección en el momento de la plantación, es importante eliminarlas una vez el árbol crezca, dado que pueden generar heridas que comprometen su estado de salud (Figura 12).

4.3.3. Plantación

Para plantar los árboles en el sitio previamente seleccionado, se recomienda realizar un hoyo con un diámetro de dos a tres veces el de la bolsa o contenedor. Se sugiere que antes de poner la planta en el hoyo, se aplique una capa del sustrato preparado de 15 a 20 cm de profundidad, compactándola ligeramente. Al plantar el árbol, se debe retirar el contenedor, cuidando de no dañar el pilón, pues las raíces pueden afectarse significativamente. Al quitar la bolsa, se debe retirar primero el fondo, luego colocar el árbol en el hoyo y, por último, eliminar los laterales. Posteriormente, rellenar el hoyo con el sustrato preparado, según se describió anteriormente (numeral 4.3.1), teniendo la precaución de que el cuello de la raíz quede a ras de la superficie.

Es necesario tener en cuenta que el sustrato se puede compactar al cabo de algunos meses, con lo cual el árbol baja del nivel original de plantación (se hunde) y generalmente se tuerce, lo que representa riesgo de accidentes, deterioro del individuo y de su estética. Por lo tanto, se debe aplicar el material por capas compactadas a medida que se adicionan. Cuando el sustrato contiene excesiva cantidad de material orgánico sin descomponer (cascari-lla de arroz, fibra de coco, madera en trozos), se corre el riesgo de que ocurra el hundimiento del individuo a medida que el material se descompone, por lo que no se recomienda su uso. Para facilitar la entrada de agua al sitio de plantación, el plato debe quedar ligeramente por debajo del nivel del terreno, entre 2 y 5 cm, tanto en terrenos planos (Figura 13), como en terrenos pendientes (Figura 14) y en montículos (Figura 15).

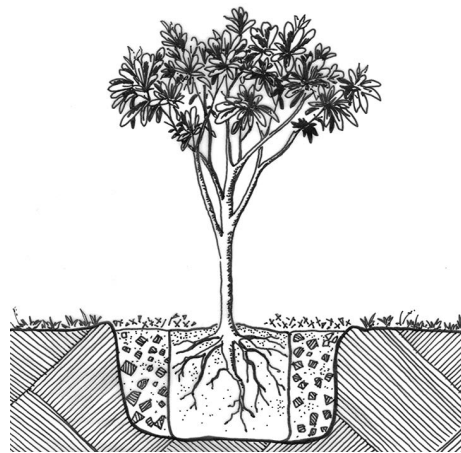


Figura 13.
Plantación en terreno plano.

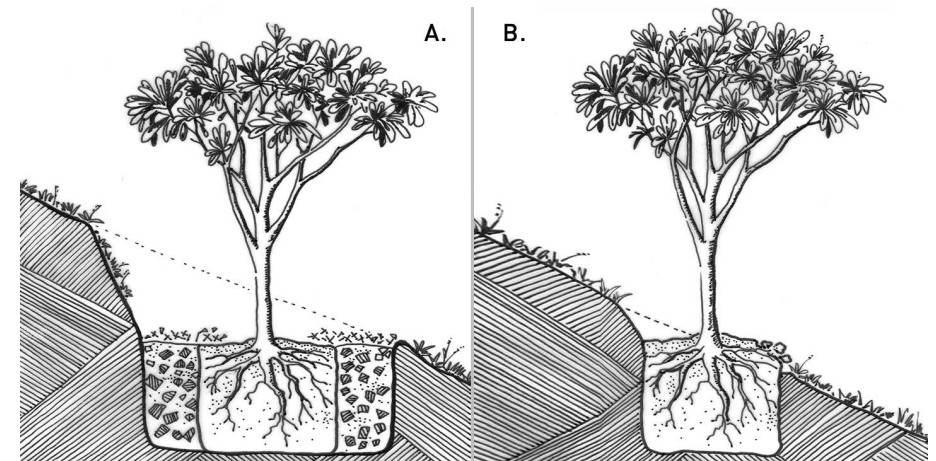


Figura 14.
Plantación en zonas pendientes. A. Adecuada; B. Inadecuada.

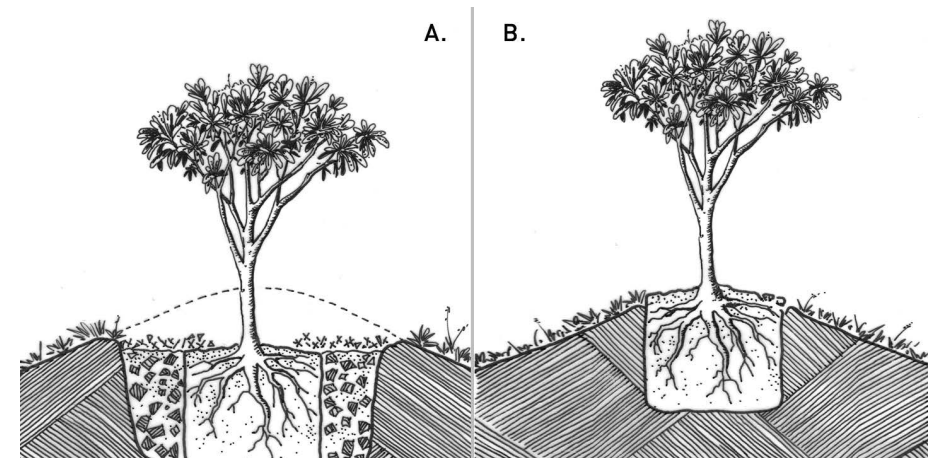


Figura 15.
Plantación en montículo. A. Adecuada; B. Inadecuada.

4.3.4. Fertilización

Las plantas requieren diferentes elementos químicos para su crecimiento y desarrollo. Del aire toman dióxido de carbono y oxígeno utilizados en los procesos de fotosíntesis y respiración; y del suelo absorben los nutrientes requeridos para la formación de compuestos orgánicos, que hacen parte de la estructura del árbol o que cumplen alguna función metabólica. Todos estos nutrientes se denominan elementos esenciales, y, por ello, su de-

ficiencia causa cambios morfológicos, alteración en los procesos fisiológicos o desarrollo anormal de la planta. Algunos de estos son requeridos en grandes cantidades, por lo que se les denomina elementos mayores o macronutrientes, como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Otros elementos son requeridos en cantidades más pequeñas y se les denomina elementos menores o micronutrientes; estos son: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni) (Raven et al., 2005).

Los distintos nutrientes desempeñan diferentes funciones en las plantas, entre ellas: son constituyentes de los tejidos, catalizadores en varias reacciones bioquímicas y procesos fisiológicos, reguladores osmóticos, constituyentes de sistemas buffer y reguladores de la permeabilidad de las membranas (Pallardy, 2008). Por lo tanto, es de gran importancia que la vegetación en áreas verdes urbanas cuente con un suministro adecuado de nutrientes.

Para diagnosticar las necesidades de fertilización y las respuestas de las distintas especies a los fertilizantes bajo condiciones diversas de sitio en las ciudades, es necesario desarrollar investigación, pues tal información no existe o es incipiente. Por ello, el análisis químico de suelos solo puede dar una idea general de posibles deficiencias o toxicidades, así como de otros problemas potenciales. Preferiblemente, antes de definir el esquema de fertilización se debe tomar una muestra compuesta (recoger la misma cantidad de suelo en al menos cinco puntos de la zona de plantación, mezclarlo y de esa muestra hacer el análisis de laboratorio). Sin embargo, es común que ni siquiera esto sea posible; en estos casos, es común que se recomiende aplicar una dosis de 100 g de un fertilizante compuesto de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, mezclados con el sustrato que se adicione al sitio.

Para contrarrestar el ligero desbalance de magnesio con respecto al calcio en los suelos urbanos del Valle de Aburrá (Tabla 8), la fertilización se puede complementar con 200-300 g de silicato de magnesio. Adicionalmente, es conveniente aplicar 40-60 g de zeolita, el cual es un mineral con alto poder de absorción y adsorción que permite el almacenamiento de nutrientes y su posterior liberación de forma gradual. Finalmente, en caso de plantar en época seca (lo cual debe evitarse), se sugiere aplicar 50 g de hidrorretenedor previamente hidratado.

No se recomienda la aplicación de otras enmiendas orgánicas o químicas, pues de acuerdo con los datos disponibles para los suelos urbanos de la región (Tabla 8), tanto los valores de pH como de cationes están en niveles medio a óptimo, y los contenidos de

materia orgánica suelen ser moderados. Tal aplicación se debería considerar solo si se cuenta con resultados que evidencien la necesidad de corregir pH, balancear las concentraciones de los distintos nutrientes o aumentar significativamente el contenido de materia orgánica.

4.3.5. Tutorado

Como se mencionó anteriormente, en la última fase de vivero los árboles debieron ser sometidos a un proceso de endurecimiento y rustificación que les permita adaptarse a las difíciles condiciones del medio ambiente urbano. Ello implica que además de excelente salud y forma, estén bien lignificados y sean resistentes. Por ello, no deberían requerir tutores en la mayoría de espacios urbanos, excepto en vías de alto tráfico y velocidad vehicular, o en sitios sometidos a vientos muy fuertes. No obstante, los tutores contribuyen a evitar que los árboles recién plantados crezcan torcidos o se caigan por la acción del viento (Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2010). La cantidad de varas tutoras a instalar depende del nivel de lignificación del individuo, de su altura, así como de la fuerza y dirección con la que el viento golpea. Si el individuo se encuentra aún muy endeble y es movido por el viento fácilmente, se recomienda poner dos varas en direcciones opuestas, lo mismo que cuando el viento cambia de dirección fácilmente. Su altura debe ser entre un tercio y la mitad de la altura del árbol, y su amarre debe ser de material elástico o de fibra natural como la cabuya de fique (Figura 16). Los tutores se deben retirar cuando el árbol ya esté fuerte, afianzado y lignificado para evitar que absorba los amarres y se generen deformaciones o lesiones en la corteza (Morales & Varón, 2006).

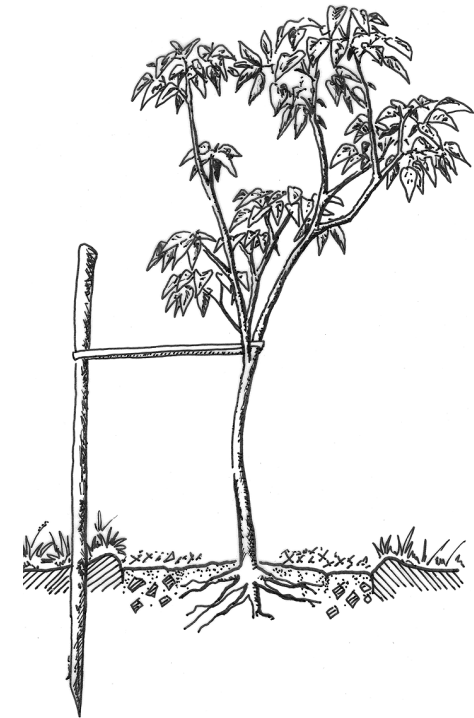


Figura 16. Instalación de vara tutora para darle soporte al árbol.

4.3.6. Cuidados posteriores a la plantación

Riego

Es necesario tener en cuenta que los árboles tienen altas necesidades de agua. La cantidad y la frecuencia de riego dependen de diferentes variables, las más importantes son las condiciones de humedad dentro de la ciudad, la especie, el sitio y la época del año. Las especies de las zonas húmedas y muy húmedas requerirán mayor riego, al igual que las que estén plantadas en pisos duros y contenedores de raíces. Lo ideal es planear que la plantación coincida con la época de lluvias, y aplicar el riego solo en la época de extrema sequía.

Fertilización posplantación

La necesidad de fertilización de los árboles después de plantados depende de la oferta nutricional del suelo y de las necesidades de la especie; por tanto, es difícil generalizar la aplicación de nutrientes a los árboles, en especial los establecidos en áreas urbanas, cuyos suelos tienen alta variabilidad. En condiciones de bosque natural, los nutrientes son aportados por los detritos animales y vegetales que caen al suelo y se descomponen, mientras que en los espacios urbanos por lo general la hojarasca, ramas secas, frutos, flores, pasto, excrementos animales y demás fuentes de materia orgánica son retirados. Esto, sumado a la baja fertilidad de algunos suelos y al estrés ambiental mayor que sufren los árboles en las ciudades, hace que tengan menor longevidad, sean más susceptibles a sequías y al ataque de plagas y enfermedades. Por ello, se sugiere que se permita la acumulación de hojas, ramas y material resultante de podas, lo cual contribuye a mejorar las condiciones de nutrición de los árboles.

Aunque la determinación de la dosis del fertilizante es compleja, pues depende de factores como la tasa de crecimiento de la especie, sus necesidades nutricionales y los resultados del análisis foliar y del suelo, como lineamiento general se recomienda la aplicación de fertilizantes con periodicidad semestral durante el primer año de plantado, en dosis iguales a las aplicadas al momento de la siembra, siempre que el árbol tenga 2 m de altura o más, preferiblemente repartido en el área de plantación. Entre uno y cuatro años de establecido el árbol, se recomienda una fertilización anual. No obstante, si el árbol manifiesta síntomas de deficiencia de algún elemento, se recomienda

un análisis de suelos y foliar para identificar posibles problemas nutricionales (J. F. González, comunicación personal, 21 de febrero de 2015).

Los fertilizantes edáficos granulados o líquidos se pueden esparcir uniformemente en el suelo con el fin de que el agua los disuelva y los lleve hasta las raíces para ser tomados por los árboles. En suelos compactados, duros e impermeables, se recomienda hoyar o repicar el suelo superficial, cuidando de no herir las raíces, para garantizar la infiltración del fertilizante y la absorción de nutrientes. La fertilización foliar en árboles de tamaños grandes no es práctica ni recomendable por el equipo que se requiere y por la dificultad para cubrir todo el follaje a esas alturas, además de que su efecto suele ser limitado y variable entre distintos nutrientes aplicados (Ben & Marchand, 2013; Then, 2013).

Plateo

Consiste en la eliminación de plantas herbáceas y otra vegetación que crece en un diámetro de 1 m aproximadamente alrededor del tronco del árbol y la conformación de un plato para disminuir la competencia por luz, espacio, agua y nutrientes. Se recomienda hacerlo manualmente y sin ocasionar daños al sistema radical del árbol. En el plato se sugiere aplicar material vegetal picado proveniente de los residuos de talas y podas (siempre que este material no presente evidencias de portar plagas y enfermedades). Se debe evitar el daño por guadañadoras en la base del árbol, que le pueden producir heridas y deterioro progresivo.

Podas

Una vez establecidos en el sitio y durante los primeros cuatro años, los árboles pueden requerir podas que garanticen la forma y desarrollo adecuados en su estado adulto; estas deben ser realizadas por personal capacitado y solo si es estrictamente necesario. Las podas de formación tienen varias funciones: corregir deformaciones y ramas mal dirigidas, guiar el crecimiento del tronco principal, recuperar la dominancia de la yema apical y estimular el crecimiento de rebrotes, en caso de requerirse (Morales & Varón, 2006). Otras podas se realizan con el fin de eliminar ramas muertas o afectadas por plagas o enfermedades. En el capítulo cinco sobre el manejo del arbolado urbano se describen con más detalle estas prácticas silviculturales.

4.4. SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES

La selección de las especies para el ambiente urbano depende de las características ambientales, del tipo de espacio público y de las condiciones particulares del sitio de plantación, tanto del componente aéreo como subterráneo. Si esto no se tiene en cuenta, las funciones del bosque urbano se verán limitadas y se podrán presentar riesgos para las personas y la infraestructura.

Las especies nativas que están siendo propagadas recientemente en los programas de arborización en las áreas urbanas del Valle de Aburrá deben cumplir con ciertas características, por lo que se recomienda analizar muy bien su comportamiento en los espacios verdes plantados; por tanto, antes de su plantación en forma masiva, hay que someterlas a una etapa de evaluación y de monitoreo, con el fin de determinar si son especies que se adaptan adecuadamente a las condiciones del medio ambiente urbano.

Existe un gran vacío de conocimiento sobre la fertilización de árboles urbanos, por lo cual es urgente la investigación para determinar los tipos de fertilizante, formulaciones, dosis, formas de aplicación y periodicidad para diferentes especies establecidas en el Valle de Aburrá.

En la caracterización de las especies es importante describir la arquitectura, la extensión y profundidad de las raíces. Sobre esto se tiene poca información, a pesar de que es un componente relevante en el diseño paisajístico de proyectos urbanos.

Se debe avanzar en el diseño de contenedores de raíces, con materiales resistentes, de fácil instalación y de forma apropiada para el desarrollo y extensión de las raíces. Adicionalmente, se requiere investigación para el diseño de andenes elevados cuando se tengan árboles establecidos con sistemas radicales extensos y superficiales, con el fin de evitar podas radicales que pueden deteriorar los individuos.

4.5. REFERENCIAS

Alcaldía de Medellín. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial*, Acuerdo 48 de 2014. Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias.

Alvarado, A., & Raigosa, J. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Consultoría Colombiana - CONCOL, & Arredondo y Madrid - AIM. (2007). *Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/ZonasVerdes/Paginas/Publicaciones.aspx>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Escuela de Ingeniería de Antioquia, & Universidad Nacional de Colombia. (2010). *Evaluación y cuantificación de la muerte súbita de árboles en las zonas verdes urbanas del Valle de Aburrá*. Convenio CA380 de 2010. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Aunar esfuerzos técnicos y económicos para el desarrollo e implementación de un plan de manejo integral para el arbolado urbano del Valle de Aburrá con énfasis en intervenciones para el control de la muerte súbita*. Convenio 471 de 2012. Medellín.

Bassuk, N., Curtis, D. F., Marranta, B. Z., & Neal, B. (2009). *Recommended urban trees: Site assessment and tree selection for stress tolerance*. Ithaca: Cornell University.

Bazzaz, F. A., & Pickett, S. T. A. (1980). Physiological Ecology of tropical succession: A comparative review. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11(1), 287-310. doi:10.1146/annurev.es.11.110180.001443

Ben, M., & Marchand, M. (2013). Effects of potassium foliar fertilization on different fruit tree crops over five years of experiments. *Acta Horticulturae*, (984), 211-218.

Burton, L. D. (2012). *Introduction to forestry science* (3rd ed.). New York: Cengage.

Day, S. D., Wiseman, P. E., Dickinson, S. B., & Harris, J. R. (2010). Contemporary concepts of root system architecture of urban trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 36(4), 149-159.

Empresas Públicas de Medellín & Universidad Nacional de Colombia (2010). *Plan de manejo del componente arbóreo que interfiere con los sistemas de transmisión y distribución de energía de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. y de Telecomunicaciones de UNE EPM, durante su expansión y mantenimiento en la jurisdicción urbana*. Medellín: Empresas Públicas de Medellín.

Empresas Públicas de Medellín, UNE, & Universidad Nacional de Colombia (2012). *Segunda fase del plan de manejo del componente arbóreo (PMCA fase II), en los corredores de distribución de servicios de transmisión y distribución de energía, de conducción de agua potable y alcantarillado de EPM E.S.P.; y de las líneas de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) de UNE EPM Telecomunicaciones S.A., ubicadas dentro de las zonas urbanas de los municipios del Valle de Aburrá*. Medellín: Empresas Públicas de Medellín

- Gilman, E. F., & Sadowski, L. (2007). *Choosing suitable trees for urban and suburban sites: Site evaluation and species selection*. Gainesville: University of Florida.
- Guariguata, M. R., & Ostertag, R. (2002). Sucesión secundaria. En M.R. Guariguata & G.H. Kattan (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp. 591–624). Cartago: Libro Universitario Regional.
- Hallé, F. (2010). Arquitectura de los árboles. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 45(3-4), 405–418.
- Holdridge, L. R. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. (2010). *Manual de silvicultura urbana para Bogotá*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Morales, L., & Varón, T. (2006). *Árboles ornamentales en el Valle de Aburrá: elementos de manejo*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants* (3rd ed.). Burlington: Academic Press.
- Pla, L., Casanoves, F., & Di Rienzo, J. (2012). Functional groups. En L. Pla, F. Casanoves, & J. Di Rienzo (Eds.), *Quantifying Functional Biodiversity* (pp. 9–25). New York: Springer. doi:10.1007/978-94-007-2648-2_2
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants*. New York: W. H. Freeman.
- Universidad Nacional de Colombia, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Cornare, & Corantioquia (2007). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Then, K. H. (2013). The effects of foliar fertilizers on the Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruit weight. *Acta Horticulturae* (984), 227–230.
- Turner, I. M. (2001). *The ecology of trees in the tropical rain forest*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Uribe, F., & Fonnegra, R. J. (2003). *Botánica general*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Voogt, J. A. (2008). *Islas de calor en zonas urbanas: ciudades más calientes*. [En línea]. Recuperado de <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>.

4.6. ANEXO

Especies de árboles, arbustos y palmas para cada tipo de espacio público

Árboles y Arbustos.

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Abarco	<i>Cariniana pyriformis</i>	x					x	x	x		x
Acacia amarilla	<i>Caesalpinia pluviosa</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Acacia ferrugínea	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Acacia roja, Flamboyán	<i>Delonix regia</i>	x					x	x	x	x	x
Acacia rosada	<i>Cassia javanica</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Aceite maría	<i>Calophyllum calaba</i>	x				x	x	x	x	x	x
Aceite maría, aceite	<i>Calophyllum brasiliense</i>	x				x	x	x	x	x	x
Aceituno	<i>Vitex cooperi</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Achiote, achote	<i>Bixa orellana</i>										x
Aguacate	<i>Persea americana</i>	x					x	x	x	x	x
Aguacatillo	<i>Persea caerulea</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Alcanfor	<i>Cinnamomum camphora</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Alcaparro, palo bonito	<i>Senna pistaciifolia</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Algarrobito	<i>Uribea tamarindoides</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	x					x	x	x	x	x
Algarrobo	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	x					x	x	x	x	x
Alistonia	<i>Alstonia pittieri</i>						x	x	x	x	
Allophylus	<i>Allophylus</i> sp.	x			x	x			x	x	x
Almendro	<i>Terminalia catappa</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Almirajó	<i>Patinoa almirajo</i>	x				x	x	x	x	x	x
Amargo, cedrillo	<i>Simarouba amara</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Anón	<i>Annona</i> sp.	x									x
Anón	<i>Annona squamosa</i>	x									x
Anón amazónico, anonillo	<i>Rollinia mucosa</i>	x									x
Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	x				x					x
Árbol de las salchichas	<i>Kigelia africana</i>	x					x	x	x	x	x
Árbol del pan	<i>Artocarpus altilis</i>						x		x		
Árbol del pan	<i>Artocarpus heterophyllus</i>						x		x		
Árbol del viajero	<i>Ravenala madagascariensis</i>	x					x	x	x	x	x
Ardisia	<i>Ardisia solanacea</i>					x			x	x	x
Arizá	<i>Brownea ariza</i>	x				x	x	x	x	x	x
Arizá blanco	<i>Browneopsis</i> sp.	x			x	x	x	x	x	x	x
Arizá, rosa de monte	<i>Brownea stenantha</i>	x				x	x	x	x	x	x
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Azahar de la India	<i>Murraya paniculata</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Azuceno, estremadelio	<i>Stemmadenia litoralis</i>				x	x					
Bala de cañón, cocuelo	<i>Couropita guianensis</i>	x					x	x	x	x	x
Bálsamo, bálsamo de Tolú	<i>Myroxylon balsamum</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Barcino	<i>Calophyllum lucidum</i>	x				x	x	x	x	x	x
Biscofia	<i>Bischofia javanica</i>					x	x	x	x	x	x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Borojó	<i>Borojoa patinoi</i>	x								x	x
Borombolo	<i>Andira inermis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Búcaro	<i>Erythrina fusca</i>	x				x	x	x	x	x	
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	x				x					x
Cachillo	<i>Godmania aesculifolia</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cachiporro, rayo	<i>Parkia pendula</i>	x					x	x	x	x	x
Cadmio, ilang-ilang	<i>Cananga odorata</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Café	<i>Coffea arabica</i>	x			x	x				x	x
Cagúí, almendrón	<i>Caryocar glabrum</i>	x					x		x		x
Caimito, caimo morado	<i>Chrysophyllum cainito</i>	x					x	x	x	x	x
Caimo	<i>Pouteria</i> sp.	x					x	x	x	x	x
Cámbulo	<i>Erythrina poeppigiana</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Canastilla rosada	<i>Dombeya wallichii</i>	x				x	x	x	x	x	x
Canela	<i>Cinnamomum verum</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Canime	<i>Copaifera</i> sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Cañafistula	<i>Cassia grandis</i>	x					x	x	x		x
Caoba centroamericana	<i>Swietenia humilis</i>	x					x	x	x	x	x
Caoba dominicana	<i>Swietenia mahagoni</i>	x					x	x	x	x	x
Caoba, palo santo	<i>Swietenia macrophylla</i>	x					x	x	x	x	x
Caracolí	<i>Anacardium excelsum</i>						x	x	x		x
Carambolo	<i>Averrhoa carambola</i>									x	
Carate	<i>Vismia baccifera</i>	x			x	x	x	x	x	x	
Carbonero	<i>Calliandra haematocephala</i>	x				x				x	x
Carbonero	<i>Calliandra magdalenae</i>	x				x		x		x	x
Carbonero	<i>Calliandra medellinensis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Carbonero	<i>Calliandra pittieri</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Carbonero zorro	<i>Cojoba arborea</i>	x				x	x	x	x	x	x
Cargadero	<i>Guatteria</i> sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Cariseco	<i>Billia rosea</i>	x				x	x	x	x	x	x
Carmín, Casia de Siam,	<i>Senna siamea</i>	x				x	x	x	x	x	
Carrá	<i>Huberodendron patinoi</i>	x					x	x	x	x	x
Carreto	<i>Aspidosperma spruceanum</i>						x	x	x	x	x
Casco de vaca	<i>Bauhinia picta</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Casco de vaca	<i>Bauhinia variegata</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Castaño, cacao de monte	<i>Pachira speciosa</i>	x					x	x	x	x	x
Cativo, trementino	<i>Prioria copaifera</i>	x					x	x	x	x	x
Cauchillo	<i>Sapium</i> sp.	x	x	x			x	x	x	x	
Caucho	<i>Ficus elastica</i>	x					x	x	x	x	x
Caucho de Pará, caucho,	<i>Hevea brasiliensis</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Caucho negro, hule	<i>Castilla elastica</i>	x					x	x	x	x	x
Caucho variegado	<i>Ficus elastica</i> var. <i>variegata</i>	x					x	x	x	x	x
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Cedro amarillo	<i>Albizia guachapele</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Cedro güino	<i>Carapa guianensis</i>	x					x	x	x	x	x
Ceiba bruja, tronador	<i>Hura crepitans</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Ceiba rosada	<i>Ceiba speciosa</i>	x					x	x	x		x
Ceiba verde	<i>Pseudobombax septenatum</i>	x	x	x			x	x	x	x	x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Ceiba, bonga	<i>Ceiba pentandra</i>	x					x	x	x		x
Ceibo de agua	<i>Pachira aquatica</i>	x					x	x	x	x	x
Cerezo del gobernador	<i>Flacourtia indica</i>	x					x	x	x	x	x
Chaparro	<i>Adenaria floribunda</i>	x								x	x
Chaquiro	<i>Podocarpus oleifolius</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Chaquiro, pino colombiano	<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	x					x	x	x	x	x
Cheflera	<i>Schefflera actinophylla</i>	x					x	x	x	x	x
Cheflera enana	<i>Schefflera arboricola</i>										x
Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	x					x	x	x	x	x
Chirlobirlo	<i>Tecoma stans</i>	x			x	x					x
Chocho	<i>Ormosia colombiana</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Chocho	<i>Ormosia macrocalix</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Chocho, coralito	<i>Adenantha pavonina</i>				x	x					x
Choibá, almendro	<i>Dipteryx oleifera</i>	x					x	x	x	x	x
Chumbimbo, jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i>	x					x	x	x	x	x
Ciruela mango	<i>Spondias mangifera</i>	x					x	x	x	x	x
Ciruelo	<i>Spondias purpurea</i>	x						x	x	x	x
Clavellino	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	x			x	x					x
Clemón	<i>Thespesia populnea</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Comino	<i>Aniba perutilis</i>										x
Confite	<i>Bunchosia armeniaca</i>	x									x
Copa blanca	<i>Petitia domingensis</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Copozú	<i>Theobroma grandiflorum</i>	x					x	x	x	x	x
Coral	<i>Ixora coccinea</i>	x			x	x		x			x
Coralillo	<i>Isertia haenkeana</i>	x			x	x		x	x	x	x
Corcho, calistemo blanco	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	x					x	x	x	x	x
Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	x			x	x					x
Cotoprix	<i>Melicoccus oliviformis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Cresta de gallo	<i>Erythrina crista-galli</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Cucharo, frijolillo	<i>Swartzia robinifolia</i>	x					x	x	x	x	x
Cuipo, güipo	<i>Cavanillesia platanifolia</i>	x					x		x		x
Dendropanax	<i>Dendropanax</i> sp.	x	x	x			x	x	x	x	x
Diomate	<i>Astronium graveolens</i>	x					x	x	x	x	x
Dorado	<i>Laetia corymbulosa</i>	x			x	x		x			x
Dormilón, capitancillo	<i>Pentaclethra macroloba</i>	x					x	x	x	x	x
Drago	<i>Croton cf funckianum</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Ébano	<i>Caesalpinia ebano</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Embirá	<i>Eriotheca gracilipes</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Encenillo	<i>Weinmania pubescens</i>	x					x	x	x	x	x
Escobillón rojo	<i>Callistemon speciosus</i>	x					x	x	x	x	x
Escobo	<i>Alchornea</i> spp.	x	x	x			x	x	x	x	x
Escobo	<i>Buchenavia reticulata</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Espino negro	<i>Duranta repens</i>	x			x	x		x			x
Estrella de oriente	<i>Petrea rugosa</i>	x			x	x					x
Eugenio	<i>Syzygium paniculatum</i>	x					x	x	x	x	x
Falso laurel	<i>Ficus benjamina</i>	x					x	x	x		
Falso pimienta, terebinto	<i>Schinus terebinthifolia</i>	x					x	x	x	x	x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Ficus bomba	<i>Ficus cyathistipula</i>	x					x	x	x	x	x
Flor de cera	<i>Clusia rosea</i>	x			x	x				x	x
Flor de reina	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Florentino	<i>Miconia notabilis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Francesino	<i>Brunfelsia pauciflora</i>	x			x	x				x	
Frangipan, alelí	<i>Plumeria</i> spp.	x			x	x		x		x	x
Frangipán, alelí	<i>Plumeria alba</i>	x			x	x		x		x	x
Fresno, cedrillo	<i>Tapirira guianensis</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Frijolillo, rayo	<i>Abarema jupunba</i>	x					x	x	x	x	x
Fruta de sábalo	<i>Dussia lehmannii</i>	x					x	x	x	x	x
Galán de noche	<i>Pittosporum undulatum</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Gallinazo, guanacaste	<i>Albizia niopoides</i>	x					x	x	x		x
Granado	<i>Punica granatum</i>	x			x	x		x		x	x
Grevileo de jardín	<i>Grevillea banksii</i>	x			x	x				x	x
Grosello	<i>Eugenia uniflora</i>	x			x	x		x		x	x
Grosello	<i>Phyllanthus</i> sp.	x	x	x			x	x	x	x	x
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Guácimo colorado	<i>Luehea seemannii</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Guadua, guadua macana	<i>Guadua angustifolia</i>	x					x	x	x	x	x
Gualanday	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	x					x	x	x	x	x
Gualanday nativo	<i>Jacaranda hesperia</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Guamo, guamo largo	<i>Inga edulis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Guanábano	<i>Annona glabra</i>	x								x	x
Guanábano	<i>Annona muricata</i>									x	x
Guarango, yopo	<i>Parkia multijuga</i>	x					x	x	x	x	x
Guayaba argelina	<i>Psidium catleyanum</i>	x					x			x	x
Guayaba feijoa	<i>Feijoa sellowiana</i>	x					x			x	x
Guayabillo	<i>Terminalia chiriquensis</i>	x					x	x	x	x	x
Guayabo	<i>Psidium guajava</i>	x					x			x	x
Guayabo alazano	<i>Campomanesia lineatifolia</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Guayacán amarillo	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	x					x	x	x	x	x
Guayacán amarillo	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Guayacán azul	<i>Guaicum officinale</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Guayacán de bola	<i>Bulnesia arborea</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Guayacán de Manizales	<i>Lafoensia acuminata</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Guayacán jobo, balaúste	<i>Centrolobium yavisianum</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Guayacán pelaojo	<i>Vatairea</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Guayacán rosado	<i>Tabebuia rosea</i>	x					x	x	x	x	x
Guayacán trébol	<i>Platymiscium pinnatum</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Guayacán, chicalá	<i>Handroanthus ochraceus</i>	x					x	x	x	x	x
Guayacán polvillo	<i>Handroanthus serratifolius</i>	x					x	x	x	x	x
Gusepe, volador	<i>Gyrocarpus americanus</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Hamelia, coralillo	<i>Hamelia patens</i>	x			x	x				x	x
Hernandia	<i>Hernandia didymantha</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Higuerón	<i>Ficus</i> sp.	x					x	x	x	x	x
Hobo, jobo, ciruela	<i>Spondias mombin</i>	x					x	x	x		
Hoja de lanza	<i>Miconia caudata</i>	x			x	x				x	x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Huesito	<i>Malpighia glabra</i>	x				x	x			x	x
Ibirapitá	<i>Peltophorum dubium</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Inchi, almendro	<i>Caryodendron orinocense</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Indio desnudo	<i>Bursera simaruba</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Jabonero de la China	<i>Koelreuteria bipinnata</i>	x				x	x	x	x	x	x
Jaboticaba	<i>Myrciaria cauliflora</i>	x				x	x	x	x	x	x
Jacaré	<i>Chloroleucon tortum</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Jagua	<i>Genipa americana</i>	x						x	x	x	x
Jaguo	<i>Tocoyena pittieri</i>	x						x	x		x
Júpiter	<i>Lagerstroemia indica</i>	x				x	x			x	x
Larán	<i>Anthocephalus chinensis</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Laurel	<i>Aniba puchury-minor</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Laurel	<i>Beilschmiedia cf pendula</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Laurel de bola	<i>Licaria triandra</i>	x				x	x	x	x	x	x
Laurel jabón, laurel	<i>Nectandra</i> sp.	x	x	x			x	x	x	x	x
Laurel, aguacatillo	<i>Cinnamomum triplinerve</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Leche miel	<i>Lacmellea panamensis</i>	x				x	x	x	x	x	x
Liberal	<i>Euphorbia cotinifolia</i>	x				x	x			x	x
Liberal, verraquillo	<i>Roupala montana</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Limba, terminalia	<i>Terminalia superba</i>	x						x	x	x	x
Limón	<i>Citrus limon</i>	x					x	x	x	x	x
Liquidambar, estoraque	<i>Liquidambar styraciflua</i>	x				x	x	x	x	x	x
Lomo de caimán	<i>Platypodium elegans</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Loro, iguano, harino	<i>Dilodendron costaricense</i>	x					x	x	x	x	x
Macadamia	<i>Macadamia integrifolia</i>	x						x	x	x	x
Madroño	<i>Garcinia madruno</i>	x					x	x	x	x	x
Magnolia	<i>Magnolia grandiflora</i>	x					x	x	x	x	x
Magnolio, hojarasco	<i>Magnolia hernandezii</i>	x						x	x	x	x
Maíz tostao	<i>Coccoloba acuminata</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Majagua	<i>Talipariti elatum</i>	x						x	x	x	x
Majagua	<i>Talipariti tiliaceum</i>	x						x	x	x	x
Mamey	<i>Mammea americana</i>	x						x	x	x	x
Mamoncillo, mamón	<i>Melicoccus bijugatus</i>	x						x	x	x	x
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	x					x	x	x	x	x
Mangle duro	<i>Cynometra</i> sp.	x						x	x	x	x
Mango matasano	<i>Casimiroa edulis</i>	x						x	x	x	x
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>							x	x	x	x
Mata ratón	<i>Gliricidia sepium</i>	x						x	x	x	x
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	x						x	x	x	x
Membrillo	<i>Gustavia dubia</i>	x						x	x	x	x
Mestizo, guará	<i>Cupania cinerea</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mestizo, guará	<i>Cupania americana</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mickey mouse	<i>Ochna thomasi</i>	x						x	x	x	x
Mirindiba	<i>Lafoensia cf. glyptocarpa</i>	x						x	x		x
Mónoco, solera	<i>Cordia gerascanthus</i>	x	x	x				x	x	x	x
Mulí, capacho	<i>Buchenavia capitata</i>	x	x	x				x	x	x	x
Murciélago	<i>Pentagonia pinnatifida</i>	x						x		x	x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Naranja agria	<i>Citrus aurantium</i>	x				x	x	x	x	x	x
Naranja dulce	<i>Citrus sinensis</i>	x				x	x	x	x	x	x
Navajuelo	<i>Delostoma integrifolium</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Nazareno	<i>Peltogyne paniculata</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Neem	<i>Azadirachta indica</i>					x		x	x	x	
Níspero	<i>Manilkara sapota</i>	x					x	x	x	x	x
Níspero del Japón	<i>Eriobotrya japonica</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Nogal, Nogal cafetero	<i>Cordia alliodora</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Noro	<i>Byrsonima crassifolia</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Oití	<i>Licania tomentosa</i>	x					x	x	x	x	x
Ojo de paloma	<i>Margaritaria nobilis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Olivo	<i>Capparis odoratissima</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Olivo negro	<i>Bucida buceras</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Olleto	<i>Lecythis tuyrana</i>	x					x	x	x		x
Pacó	<i>Cespedesia spathulata</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Pacó, membrillo	<i>Gustavia superba</i>	x					x	x	x	x	x
Pajarito, noro	<i>Byrsonima spicata</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Pandano, palma de tornillo	<i>Pandanus utilis</i>	x					x	x	x	x	x
Pandurata, lirata	<i>Ficus lyrata</i>	x					x	x	x	x	x
Papayote	<i>Cochlospermum orinocense</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Paraseto	<i>Ligustrum lucidum</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Pechuga de gallina	<i>Hasseltia floribunda</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Peine mono	<i>Apeiba aspera</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Penitente	<i>Petrea volubilis</i>	x			x	x		x		x	x
Peregrina, flor roja	<i>Jatropha integerrima</i>	x			x	x		x		x	x
Pero de agua	<i>Syzygium malaccense</i>	x					x	x	x	x	x
Pestaña de mula	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Pico de loro	<i>Machaerium capote</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Pimiento, muelle	<i>Schinus molle</i>	x					x		x		
Pino azul	<i>Juniperus sp.</i>	x			x	x		x		x	x
Pino libro	<i>Thuja orientalis</i>				x	x		x		x	x
Piñón de oreja	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	x					x	x	x	x	x
Pomo, poma rosa	<i>Syzygium jambos</i>	x					x	x	x	x	x
Punte guayabo	<i>Witmackanthus stanleyanus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Quiebra barrigo, nacedero	<i>Trichanthera gigantea</i>	x				x					
Quimulá	<i>Citharexylum subflavescens</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Roble de Australia	<i>Grevillea robusta</i>	x					x	x	x	x	x
Roble guayo	<i>Vitex parvifolia</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Samán, campano	<i>Albizia saman</i>	x				x	x	x	x	x	x
Sande	<i>Brosimum alicastrum</i>	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Sande	<i>Clarisia racemosa</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Sangregallo	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	x				x	x	x	x	x	x
Sapán	<i>Clathrotropis brunnea</i>	x					x	x	x	x	x
Sarrapia	<i>Dipteryx odorata</i>	x				x	x	x	x	x	x
Sauce, mimbre	<i>Salix humboldtiana</i>	x				x	x	x	x	x	x
Sauco	<i>Sambucus nigra</i>	x				x					
Sesbania, agatí	<i>Sesbania grandiflora</i>					x					x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Siete sabores	<i>Diospyros blancoi</i>	x					x	x	x	x	x
Sirpe, Yarumo uvo	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Sirpe, Yarumo uvo	<i>Pourouma cf chochoensis</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Suribio	<i>Zygia longifolia</i>	x				x	x	x	x	x	x
Tachuelo	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	x					x	x	x		
Tamarindo de monte	<i>Dialium guianensis</i>	x	x	x			x	x	x	x	x
Tambor	<i>Schizolobium parahyba</i>	x					x	x	x	x	x
Tapaliso, caña agria	<i>Licania arborea</i>	x	x	x			x	x			
Tautano, trompillo	<i>Trichilia hirta</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Teca	<i>Tectona grandis</i>						x		x		
Tolúa, ceiba tolúa	<i>Pachira quinata</i>	x					x	x			
Tortolito, pate gallina	<i>Schefflera morototoni</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Totumo	<i>Crescentia cujete</i>	x				x		x		x	x
Trompeto	<i>Bocconia frutescens</i>	x									x
Tulipán africano, miona	<i>Spathodea campanulata</i>	x					x	x	x	x	x
Tung asiático	<i>Vernicia fordii</i>						x	x	x		
Urapán	<i>Fraxinus uhdei</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Uvito de playa	<i>Coccoloba uvifera</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Vara santa, guacamayo	<i>Triplaris americana</i>	x				x	x	x	x	x	x
Varablanca	<i>Casearia corymbosa</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Velero, vainillo	<i>Senna spectabilis</i>	x				x	x	x	x	x	x
Zapato, guacamayo	<i>Pterygota excelsa</i>	x					x	x	x		x
Zapote	<i>Matisia cordata</i>	x					x	x	x	x	x
Zapote de carne	<i>Pouteria sapota</i>	x					x	x	x	x	x
Zapote negro	<i>Diospyros digyna</i>	x			x	x	x	x	x	x	x

Especies de Palmas:

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Abanico de la China	<i>Livistona chinensis</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Abanico, abanico de Fidji	<i>Pritchardia pacifica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Alejandra, reina Alejandra	<i>Archontophoenix alexandrae</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Areca	<i>Dyopsis lutescens</i>	x				x	x	x	x	x	x
Butia	<i>Butia capitata</i>					x	x	x	x	x	x
Caña de San Pablo	<i>Chamaedorea linearis</i>	x				x				x	x
Carpentería	<i>Carpentaria acuminata</i>	x					x	x	x	x	x
Chonta	<i>Acrocomia aculeata</i>						x		x		
Chontaduro	<i>Bactris gasipaes</i>						x		x		
Coco, cocotero	<i>Cocos nucifera</i>						x		x		
Cola de zorro	<i>Wodyetia bifurcata</i>	x					x	x	x	x	x
Coquito	<i>Lytocaryum weddellianum</i>	x							x	x	x
Corocilla	<i>Synechanthus fibrosus</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Corocito	<i>Aiphanes horrida</i>						x	x	x		
Cortadera	<i>Geonoma interrupta</i>	x				x	x	x	x	x	x
Don Pedrito, maquenque	<i>Oenocarpus mapora</i>	x				x	x	x	x	x	x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Geonoma	<i>Geonoma undata</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Jincha	<i>Synechanthus warscewiczianus</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Kentia, kencia	<i>Howea forsteriana</i>	x				x	x	x	x	x	x
Latania amarilla	<i>Latania versaffeltii</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Latania roja	<i>Latania lontaroides</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Licuala	<i>Licuala grandis</i>	x				x	x	x	x	x	x
Licuala espinosa	<i>Licuala spinosa</i>	x					x	x	x	x	x
Lucubensis, palma de Madagascar	<i>Dypsis madagascariensis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Manila	<i>Adonidia merrillii</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Maquenque, yunyuna, barrigona	<i>Iriarteia deltoidea</i>	x					x	x	x	x	x
Mariposa, cola de pescado	<i>Caryota mitis</i>						x	x	x	x	
Mariposa, cola de pescado	<i>Caryota urens</i>						x	x	x	x	
Molinillo, San Pablo	<i>Chamaedorea pinnatifrons</i>	x				x				x	x
Molino del viento chino	<i>Trachycarpus fortunei</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Murrapo, naidí	<i>Euterpe oleracea</i>	x				x	x	x	x	x	x
Nolí, corocito	<i>Elaeis oleifera</i>	x					x	x	x	x	x
Normambia	<i>Normanbya normanbyi</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Palma abanico	<i>Livistona drudei</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Palma abanico	<i>Thrinax parviflora</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Palma abanico	<i>Livistona rotundifolia</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Palma africana, palma de aceite	<i>Elaeis guineensis</i>	x					x	x	x	x	x
Palma amarga	<i>Sabal mauritiiformis</i>	x		x		x	x	x	x	x	x
Palma bambú	<i>Areca triandra</i>	x							x	x	x
Palma bambú, palma de Miami	<i>Chamaedorea seifrizii</i>	x				x				x	x
Palma Bismarck	<i>Bismarckia nobilis</i>	x					x	x	x	x	x
Palma botella	<i>Hyophorbe lagenicaulis</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Palma Brasiofenix	<i>Brassiophoenix schumannii</i>	x				x				x	x
Palma caná	<i>Sabal domingensis</i>	x				x	x	x	x	x	x
Palma dátil de las Canarias	<i>Phoenix canariensis</i>	x					x	x	x	x	x
Palma datilera del Senegal	<i>Phoenix reclinata</i>	x					x	x	x	x	x
Palma de azúcar	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Palma de Betel, nuez de Betel	<i>Areca catechu</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Palma de cera	<i>Ceroxylon quindiuense</i>	x					x		x		x
Palma de plata	<i>Coccothrinax argentata</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Palma de vino	<i>Attalea butyracea</i>	x					x		x		
Palma escoba, barbasco	<i>Cryosophila kalbreyeri</i>	x				x	x	x	x	x	x
Palma huso	<i>Hyophorbe versaffeltii</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Palma MacArthur	<i>Ptychosperma macarthurii</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Palma majestad	<i>Ravenea rivularis</i>	x					x	x	x	x	x
Palma Montgomery	<i>Veitchia arecina</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Palma osito	<i>Dypsis leptocheilos</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Palma real de Cuba	<i>Roystonea regia</i>	x					x	x	x		x
Palma roja	<i>Cyrtostachys renda</i>	x					x	x	x	x	x

Nombre común	Nombre científico	Ecop	Aut	Art	And	Peat	Orej	Glor	Parq	Plaz	Inst
Palma San Juan	<i>Welfia regia</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Palma tigre	<i>Pinanga maculata</i>	x				x		x		x	x
Palma triangular	<i>Dypsis decaryi</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Palma waliquia	<i>Wallichia disticha</i>	x					x	x	x	x	x
Palmerita china	<i>Rhapis excelsa</i>	x				x				x	x
Palmerita china	<i>Rhapis humilis</i>	x				x					x
Palmeto	<i>Sabal palmetto</i>	x				x	x	x	x	x	x
Palmicho, asaí	<i>Euterpe precatoria</i>	x				x	x	x	x	x	x
Paurotis, pactá	<i>Acoelorrhaphe wrightii</i>						x	x	x	x	x
Payanesa	<i>Archontophoenix cunninghamiana</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Pinanga	<i>Pinanga coronata</i>	x				x		x		x	x
Pinanga	<i>Pinanga isabelensis</i>	x				x		x		x	x
Quitazol, nolí	<i>Chelyocarpus dianeurus</i>	x				x	x	x	x	x	x
Robeleni	<i>Phoenix roebelenii</i>	x			x	x	x	x	x	x	x
Saw palm	<i>Serenoa repens</i>									x	x
Táparo, almendrón	<i>Attalea amygdalina</i>						x	x	x	x	x
Tepejilote, caña verde	<i>Chamaedorea tepejilote</i>	x				x					x
Ticosperma	<i>Ptychosperma elegans</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Washingtonia	<i>Washingtonia robusta</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Zancona	<i>Socratea exorrhiza</i>	x					x	x	x	x	x
Zancona, sarare	<i>Syagrus sancona</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Convenciones:

Ecop: ecoparque de quebrada; **Aut:** separador autopista; **Art:** separador arteria principal; **And:** andén vía de servicio; **Peat:** vía peatonal; **Orej:** oreja de puente; **Glor:** glorieta; **Parq:** parques; **Plaz:** plaza/plazoleta; **Inst:** edificio institucional y equipamientos colectivos.



Jacaré (*Chloroleucon tortum*)



5. MANEJO DEL BOSQUE URBANO

Flavio Moreno

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
fhmoreno@unal.edu.co

María del Pilar Arroyave

Escuela de Ingeniería de Antioquia
maarr@eia.edu.co

León Morales

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
iriarte@hotmai.com

Gonzalo Abril

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
gabril@unal.edu.co

Alberto Ramírez

Ingeniero Forestal, Patólogo Forestal
patologiaforestal@gmail.com

Como punto de partida para el manejo del bosque urbano se debe reconocer que los árboles están creciendo en un ambiente hostil y que, por lo tanto, requieren cuidado especializado

5.1. INTRODUCCIÓN

En otros capítulos de esta guía se ha discutido ampliamente sobre los beneficios sociales y ambientales del bosque urbano, lo cual presupone contar con un arbolado saludable. Los árboles en las ciudades están sujetos a múltiples presiones que normalmente

El bosque urbano es un activo que juega un papel importante en hacer las ciudades más atractivas, vivibles y saludables; preservar e incluso aumentar el valor de este activo implica invertir en su mantenimiento y mejoramiento

no se presentan en los ecosistemas naturales y que ponen en riesgo su salud y vigor. Además, carecen de algunos de los mecanismos de amortiguamiento y protección existentes en las áreas silvestres, los cuales contribuyen a impedir, frenar o amortiguar los efectos nocivos de factores como enfermedades, plagas, plantas invasoras, tormentas, sequías prolongadas y temperaturas extremas, entre otros (City of Seattle, 2007).

En consecuencia, como punto de partida para el manejo del bosque urbano se debe reconocer que los árboles están creciendo en un ambiente hostil y que, por lo tanto, requieren cuidado especializado mediante un plan de intervenciones proactivo y sistemático. Tal reconocimiento es necesario para que los entes territoriales se comprometan con un programa de mantenimiento de alta calidad y con proporcionar los recursos adecuados para garantizar la salud del bosque urbano en el largo plazo (City of Seattle, 2007). Para lograr alta calidad es necesario aplicar las técnicas más actualizadas disponibles y fundamentarse en el conocimiento del funcionamiento de los árboles como organismos.

El manejo sostenible del bosque urbano requiere inversiones cuantiosas, para lo cual es posible que no estén preparados los tomadores de decisiones. Es necesario reconocer que el bosque urbano es un activo que juega un papel importante en hacer las ciudades más atractivas, vivibles y saludables; preservar e incluso aumentar el valor de este activo implica invertir en su mantenimiento y mejoramiento (City of Alexandria, 2010). De ahí la importancia del manejo del bosque urbano en una forma estratégica y planificada (Gerhardt, 2010).

Este capítulo presenta lineamientos técnicos para el manejo del bosque urbano en el Valle de Aburrá, que bien pueden tener aplicación en otras ciudades de Colombia o el mundo. Su escritura se basó en los resultados de nuestras investigaciones, realizadas en los últimos años en convenio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, así como en la experticia de los autores, la consulta a especialistas y profesionales de la región y la evaluación de literatura técnica y científica relevante. La complejidad y vastedad de los temas abordados en este capítulo, las limitaciones de espacio y el nivel de conocimiento limitado de muchos tópicos impiden un abordaje en mayor profundidad. No obstante, esperamos que esta guía sea de utilidad para orientar el manejo del precioso bosque de nuestras ciudades y estimule el interés por el estudio profundo de los múltiples aspectos involucrados en su cuidado.

El capítulo comienza con la sustentación de la conveniencia y necesidad de adoptar de manera definitiva la cultura de la planeación en la gestión del arbolado: se presentan las bases para la formulación, implementación y evaluación del plan de manejo

del bosque urbano. A continuación se brindan lineamientos para la gestión del riesgo y el manejo de problemas fitosanitarios. Luego se abordan las principales intervenciones de manejo preventivo del arbolado: riego, fertilización, podas, protección de árboles durante construcciones e intervenciones sobre las raíces. Finalmente se discuten algunas recomendaciones generales para el manejo de árboles deteriorados y enfermos, específicamente para la eliminación de plantas epífitas y parásitas, la aplicación de tratamientos en árboles con síntomas de deterioro progresivo y refuerzos de árboles que han acumulado defectos estructurales.



Arborización reciente en separador de Metroplus (calle 30 Medellín)

5.2. EL PLAN DE MANEJO DEL BOSQUE URBANO: UNA HERRAMIENTA INDISPENSABLE PARA SU GESTIÓN SOSTENIBLE

El objetivo del manejo del bosque urbano es mantener individuos sanos y longevos, que cumplan la función para la cual fueron plantados y que generen los mínimos conflictos con la infraestructura urbana (Gerhardt, 2010). Para lograrlo se requiere no solamente un trabajo cuidadoso en todas las fases, desde la producción del material, hasta su establecimiento y manejo, sino contar con un **plan de manejo integral del bosque urbano**, una herramienta fundamental para su gestión sostenible. En la Tabla 1 se presenta una propuesta para estructurar este plan de manejo.

En general, un plan tiene tres características primordiales: mira hacia el futuro, define acciones e identifica los actores responsables de cumplirlo en un tiempo dado (Hubbard, 2000). El plan de manejo del bosque urbano organiza el proceso de ejecución de las intervenciones realizadas a los árboles, de tal manera que se logren unos objetivos determinados y que se asignen los recursos y el personal requerido para cumplirlos. Básicamente, en el proceso de planeación se pretende saber qué se quiere, qué se tiene, cómo se va a lograr y evaluar si se obtiene lo esperado.

El objetivo del manejo del bosque urbano es mantener individuos sanos y longevos, que cumplan la función para la cual fueron plantados y que generen los mínimos conflictos con la infraestructura urbana

Tabla 1.
Propuesta para estructurar el plan de manejo del arbolado urbano.

Fase	Actividades
Planeación	Definir la visión
	Formular objetivos
	Establecer metas
	Identificar unidades de manejo
	Definir prioridades
	Identificar áreas clave
	Definir actividades y cronograma
Diagnóstico	Identificar recursos humanos y físicos requeridos
	Registrar individuos existentes
	Evaluar el estado de salud
	Identificar los árboles en riesgo
	Definir prioridades de intervención
Formulación	Ingresar información a Sistema de Información Árbol Urbano
	Proponer tratamientos preventivos (fertilización, podas, fitosanitario)
	Proponer tratamientos de control a individuos con síntomas de deterioro (podas, fertilización, fitosanitario)
	Formular intervenciones de árboles en riesgo (plan de gestión del riesgo)
	Identificar árboles por remover o transplantar oportunamente
	Definir plantación de nuevos individuos
Implementación	Diseñar programa de participación de la comunidad
	Desarrollar actividades de manejo de acuerdo con el plan
Monitoreo	Realizar seguimiento
	Registrar información en Sistema de Árbol Urbano
Evaluación	Analizar los resultados
	Identificar logros y aspectos por mejorar
Ajuste	Replantar acciones

El primer paso para la formulación del plan consiste en realizar un ejercicio básico de **planeación**. Para ello, se debe definir la visión (la condición futura deseable) y los objetivos que se pretenden lograr. Se recomienda establecer metas concretas y definir las prioridades, para lo cual se pueden identificar unidades de manejo y áreas clave (Escobedo, Northrop, & Zipperer, 2014). En cada una es necesario definir las actividades y el tiempo necesario para realizarlas, así como los recursos humanos y físicos requeridos.

Aunque los objetivos específicos varían entre ciudades, es común que los principales sean mejorar y mantener la salud de los árboles, maximizar los beneficios sociales y ambientales, proporcionar espacios públicos seguros, aumentar la biodiversidad y la conectividad ecológica, y estandarizar los tratamientos silviculturales (Hubbard, 2000). Las unidades de manejo pueden corresponder a los diferentes tipos de espacios públicos verdes definidos en el Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007), ya descritos en el capítulo anterior, y seleccionar como prioritarias aquellas áreas de mayor afluencia de personas y con mayor tráfico vehicular.

Seguidamente, se debe realizar un **diagnóstico** que permita conocer las existencias y el estado de los árboles. En campo se debe recopilar información dendrométrica (diámetro a la altura del pecho, altura total, diámetro de copa), estado fitosanitario, condiciones de riesgo, sitio de plantación (zona verde, piso duro, contenedor) y definir las prioridades de intervención, así como las recomendaciones (poda, fertilización, trasplante, tala, etc.) (City of Pacific Grove, 2012; USDA Forest Service, 2013).





El municipio de Medellín cuenta con el Sistema de Información del Árbol Urbano (SAU), en el que se registran los nuevos árboles plantados y se hace seguimiento a las intervenciones realizadas en los individuos ya establecidos en los espacios públicos verdes. De esta manera, se tiene disponible la “hoja de vida” del árbol, en la que se registra su información básica, la aplicación de tratamientos, tales como fertilización y poda, y de procedimientos como trasplante y tala (Alcaldía de Medellín, 2011). Se recomienda registrar tales datos en un sistema de información del árbol urbano similar a este. Para los municipios del Valle de Aburrá, con excepción de Envigado, se cuenta como línea base de diagnóstico la Geodatabase del Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007).

Aunque las observaciones visuales detalladas pueden ser de gran ayuda para detectar plagas, enfermedades y alteraciones morfo-fisiológicas, principalmente de la estructura aérea, estas pueden ser insuficientes; muchas patologías internas avanzan sin que se presenten síntomas externos, por lo cual es común que cuando tales síntomas aparecen, el mal ha avanzado bastante, muchas veces a niveles que lo hacen irreversible o extremadamente costosa la recuperación del árbol. Por ello, aun cuando no se encuentren signos o evidencias externas, es recomendable valorar el sistema radical para determinar malformaciones acentuadas o pudriciones. En algunos casos pueden ser necesarios análisis químicos de suelos y foliares completos.

*Es conveniente
y necesario
adoptar de
manera definitiva
la cultura de la
planeación en
la gestión del
arbolado urbano*

Para el diagnóstico y determinación de pudriciones vasculares internas, tanto en el tallo como en la raíz, debería disponerse de herramientas tecnológicas apropiadas y modernas y de tecnologías apropiadas y modernas

Para el diagnóstico y determinación de pudriciones vasculares internas, tanto en el tallo como en la raíz, debería disponerse de herramientas tecnológicas apropiadas y modernas; por ejemplo, hay avances significativos en equipos de detección de pudriciones, así como en fórmulas y guías para evaluar árboles riesgosos. Los equipos más avanzados disponibles actualmente usan tecnología de radar, tomografía y resistografía para realizar diagnósticos de manera no invasiva, lo cual evita cortes profundos. Hoy existe una amplia oferta en el mercado. A continuación se enuncian algunos de tales equipos:

-  TRU™ (*Tree Radar Unit*): es un instrumento de campo que utiliza la tecnología de radar de penetración terrestre para determinar tanto la estructura interna de un árbol como su masa de raíces estructurales (<http://www.treeradar.com/>).
-  Tomógrafo Sónico PiCUS®: usa las ondas de sonido para investigar la condición interna del árbol (<http://www.argus-electronic.de/>).
-  Tomógrafo de impulso ARBOTOM®: provee imágenes 2D y 3D de la condición interior del árbol, por lo cual también permite detectar zonas ocultas de pudrición, cavidades invisibles y rupturas.
-  Medidor de resistencia RESISTOGRAPH®: mide la resistencia de la madera con un taladro controlado electrónicamente. (Los dos últimos se pueden consultar en la página <http://www.rinntech.de/content/blogcategory/2/28/lang.english/index.html>).

La única ciudad colombiana que cuenta con equipos de esta naturaleza es Bogotá, cuya Secretaría del Medio Ambiente adquirió en el año 2010 dos tomógrafos sónicos y un resistógrafo. Tal tecnología se ha usado con éxito en muchos lugares (Yan, 2006) y ha prestado un apoyo valioso para la evaluación y diagnóstico de los árboles urbanos.

Con base en los resultados del diagnóstico, se procede a la fase de **formulación** en la que se proponen los tratamientos preventivos y de control (podas, fertilización, manejo fitosanitario), las intervenciones a los árboles en riesgo, las actividades de trasplante y remoción y la plantación de nuevos individuos. Las recomendaciones técnicas para estas intervenciones se presentan más adelante en este capítulo y en el siguiente. Se debe elaborar un cronograma para el desarrollo de estas actividades, basado en las unidades de manejo definidas en la fase de planeación y en las prioridades que se determinen en el diagnóstico. Es importante considerar en esta fase los proyectos de infraestructura planeados, dado que estos

afectarán la vegetación existente y se requerirá la plantación de nuevos individuos, bien sea para el paisajismo de la obra o para el plan de compensación.

Uno de los aspectos clave para lograr el éxito en la implementación del plan de manejo y de las acciones propuestas es la participación comunitaria. En el Valle de Aburrá son comunes las afectaciones por vandalismo (inyección de herbicidas, vertimiento de tóxicos a la base del fuste, podas indebidas, macheteo) y muchas veces los árboles se deterioran o mueren sin que nadie haga nada para evitarlo. Por ello, es de la mayor relevancia vincular a la comunidad de manera efectiva para hacer de la ciudadanía el mejor aliado en su cuidado. El primer paso para lograrlo es diseñar campañas educativas sobre la importancia de los árboles en la ciudad y las medidas existentes para prevenir y controlar los daños a este recurso.

Existen múltiples opciones para vincular a la comunidad que deberán evaluarse. Entre ellas, hay un gran potencial en el desarrollo de aplicativos digitales para el reporte de situaciones de riesgo, anomalías o accidentes. Tales reportes podrían almacenarse directamente en el Sistema de Información del Árbol Urbano, lo cual permitiría una acción inmediata por parte de las entidades responsables. Existe una plataforma para la gestión territorial desarrollada localmente en la ciudad de Medellín (<http://www.entumano.co>) que permite reportar ramas y árboles caídos con su localización.

En la fase de **implementación** se ejecutan las actividades propuestas de acuerdo con el cronograma y el nivel de prioridades establecido. Para cada tipo de intervención se deben aplicar protocolos basados en la identificación de las mejores prácticas de manejo (Nevada Division of Forestry, 2007), con el fin de garantizar resultados de alta calidad. La siguiente fase es el **monitoreo**, en la que se realiza un seguimiento periódico, especialmente de los árboles con síntomas de deterioro o en riesgo. En la fase de **evaluación** se analizan los resultados del plan, se identifican los logros, los aspectos por mejorar y las acciones correctivas. Finalmente, en la fase de **ajuste**, se modifica el plan inicial con base en la evaluación de los resultados y los cambios en el entorno. Esta fase deberá producir un plan ajustado que servirá de base para la ejecución futura. El ciclo de diseño, ejecución, monitoreo, evaluación y ajuste del proyecto se repite de manera sucesiva y en cada ciclo se incorporan los nuevos escenarios y las lecciones aprendidas de los ciclos anteriores. Este proceso es el fundamento del manejo adaptativo (Morán, Campos, & Louman, 2006), un enfoque que ha demostrado gran eficacia en proyectos de diversa índole.

Uno de los aspectos clave para lograr el éxito en la implementación del plan de manejo y de las acciones propuestas es la participación comunitaria

El ciclo de diseño, ejecución, monitoreo, evaluación y ajuste del plan de manejo del bosque urbano se repite de manera sucesiva y en cada ciclo, se incorporan los nuevos escenarios y las lecciones aprendidas de los ciclos anteriores

Se recomienda que cada municipio del Valle de Aburrá formule, ejecute y evalúe su propio plan, tal y como lo hacen muchas ciudades en el mundo, entre ellas Burlington (City of Burlington, 2012), Toronto (City of Toronto, 2013), Seattle (City of Seattle, 2007), Sidney (City of Sidney, 2013), la localidad de Shire of Northern Grampians en Australia (Northern Grampians Shire Council, 2012) y muchas otras. Existen guías disponibles en la web que dan orientaciones sencillas y concisas de cómo elaborar este plan, entre ellas las publicadas por Escobedo et al. (2014), USDA Forest Service (2013), Urban Forestry Best Management Practices for Public Works Managers (s. f.) y Urban Forest Management Plan Toolkit (2015). Una característica relevante de estos planes es que el periodo para su ejecución y seguimiento suele ser de veinte años o más, dadas las tasas de crecimiento y longevidad de los árboles. Se sugiere además que su evaluación y ajuste se haga cada cinco años. Por la importancia y utilidad de este plan de manejo para la gestión sostenible del bosque urbano, se recomienda que la autoridad ambiental desarrolle los lineamientos normativos para su formulación y desarrollo, y que brinde el acompañamiento necesario para que esta herramienta de gestión sirva a los fines propuestos.

Es importante reconocer que si bien la mayoría de estas acciones deben ser implementadas por las entidades encargadas de las zonas verdes en los municipios, se requiere la participación activa de otras entidades y organizaciones, tales como las secretarías de infraestructura y de planeación, las empresas prestadoras de servicios públicos, las empresas privadas y la comunidad. Los objetivos del plan solo se pueden lograr exitosamente con la colaboración de todos estos actores (City of Toronto, 2013).

Esta estructura del plan de manejo del bosque urbano está en concordancia con lo formulado en el Plan de Manejo de Espacios Públicos Verdes Urbanos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007), específicamente con la estrategia de "Mejoramiento ecológico de los espacios públicos verdes" y su programa "Manejo integral de la flora urbana". En este se proponen los siguientes proyectos para los diferentes municipios del Valle de Aburrá:

- 🌿 Manejo de vegetación con presencia de daños mecánicos.
- 🌿 Remoción y sustitución de vegetación que presenta riesgo sobre población e infraestructura.
- 🌿 Mantenimiento preventivo permanente de la vegetación en los espacios públicos verdes asociados a los sistemas de movilidad (incluyendo el transporte masivo Metro), a los corredores de líneas de transmisión y distribución de

energía y de comunicaciones (a cargo de EPM y UNE), y los espacios públicos articuladores y de encuentro.

- 🌿 Seguimiento a la intervención de zonas verdes laterales pertenecientes a las vías por proyectos de desarrollo.
- 🌿 Remoción y sustitución de especies no aptas para andenes.
- 🌿 Manejo del patrimonio arbóreo en los diferentes municipios del Valle de Aburrá.
- 🌿 Manejo de espacios públicos verdes en corredores de la red ecológica metropolitana y de los ecosistemas estratégicos urbanos, tales como los cerros tutelares.

En el largo plazo, este plan permitirá acopiar información sobre los individuos más susceptibles, identificar tempranamente las posibles afectaciones de los árboles más longevos y valiosos, y planear intervenciones apropiadas y oportunas para evitar accidentes. Es necesario que la información acopiada sirva para la toma de decisiones en tiempo real, por lo cual esta debe ser registrada de inmediato en el sistema de información y estar accesible a los encargados del manejo.

El costo de diseñar y poner en marcha un sistema de monitoreo, seguimiento preventivo, información y manejo del bosque urbano se compensa con la rentabilidad social derivada de los accidentes y daños evitados por cuenta de los árboles enfermos o de alto riesgo; por la misma razón disminuyen las demandas por responsabilidad civil cuando ocurren accidentes y daños a terceros. Además, contar con un bosque urbano más saludable y vigoroso aumenta su longevidad y disminuye los costos de talas y reemplazos. Por lo tanto, se requiere el compromiso de los gobernantes de mantener y asignar recursos para el cumplimiento de los objetivos a mediano y largo plazo.

5.3. GESTIÓN DEL RIESGO

En este contexto, el riesgo se define como el potencial de que árboles con defectos estructurales puedan producir caídas (de todo el árbol o parte de él) que ocasionen daños a las personas o a bienes materiales. El manejo del riesgo tiene como objetivo contar con poblaciones de árboles sanos, vigorosos, estructuralmente bien conformados, sostenibles y seguros para la ciudadanía y la infraestructura. Para lograrlo, es necesario tener la capacidad de minimizar el riesgo (evitarlo es imposible) y de desarrollar acciones correctivas de manera sistemática en un tiempo razo-

La información acopiada sobre el bosque urbano debe servir para la toma de decisiones en tiempo real, por lo cual esta debe ser registrada de inmediato en el sistema de información y estar accesible a los encargados del manejo

El manejo del riesgo tiene como objetivo contar con poblaciones de árboles sanos, vigorosos, estructuralmente bien conformados, sostenibles y seguros

nable ante cualquier evento. Esto solo puede obtenerse cuando se cuenta con un **plan de gestión del riesgo**, el cual debería ser un componente fundamental del plan de manejo integral del bosque urbano, descrito anteriormente.

En este enfoque solo hay riesgo cuando puede ocurrir un daño o lesión (es decir, hay personas, propiedades o bienes en la proximidad de un árbol riesgoso). Por ello, el riesgo de un árbol que deja caer una rama en un lugar donde no existe posibilidad de que ocurra daño es cero. Áreas con alta afluencia de público y tráfico vehicular, o cercanas a infraestructura, presentan mayor riesgo potencial que las menos densamente pobladas. La falta de acción en el cuidado de los árboles, probablemente no absuelve al responsable de su culpabilidad en caso de que ocurra algún daño o lesión. Además, el conocimiento científico y el nivel profesional sobre cómo crecen los árboles y cómo deben cuidarse han aumentado significativamente en años recientes, por lo cual es difícil de sustentar el argumento de que el tema es desconocido.

De acuerdo con Hauer & Johnson (2003), el manejo del riesgo comienza con la inspección y evaluación del potencial de los árboles de herir a las personas o dañar la propiedad y los bienes materiales. No obstante, es importante tener claro que todas las fases y actividades involucradas en el manejo del bosque urbano, desde la selección de las especies y las semillas y la producción de los arbolitos en vivero, tienen gran influencia sobre el riesgo que estos árboles representen en un futuro; por ello, garantizar un arbolado saludable y vigoroso es la principal condición para disminuir el riesgo.

El plan de gestión del riesgo debe proporcionar un procedimiento claro y sistemático en el que se definan los criterios para evaluar los árboles potencialmente riesgosos. Este plan debería descansar sobre dos pilares: en primer lugar, el monitoreo periódico del bosque urbano y, en segundo lugar, la participación de la comunidad para informar y documentar la presencia de árboles en riesgo. El monitoreo enfocado a detectar árboles en riesgo debería analizar problemas potenciales y reales, por ejemplo: sitios y especies de mayor riesgo, defectos estructurales, ramas muertas o quebradas, árboles de gran tamaño, grado de inclinación de los individuos, estado de las raíces, presencia de plagas y enfermedades y pudriciones, entre otros. En el numeral anterior se discutieron opciones para vincular a la comunidad en el manejo del arbolado urbano, la cual podría ser especialmente valiosa para la gestión del riesgo. Se recomienda que la autoridad ambiental avance en la operatividad de tal vinculación.

La determinación del riesgo que los árboles representan para las personas e infraestructura debería realizarse con un método ob-

jetivo. A nivel internacional existen métodos que permiten evaluar el riesgo asociado con árboles urbanos, como los métodos y formatos de Minnesota DNR y el Servicio Forestal de Estados Unidos (*A 7-step process using the USDA Forest Service Community tree risk rating system*) (Albers, Pokorny, & Johnson, 2003). Asimismo, la Sociedad Internacional de Arboricultura sugiere un método para la evaluación del riesgo en árboles urbanos (Dunster, Smiley, Matheny, & Lilly, 2013), el cual puede también consultarse en línea (International Society of Arboriculture, 2013). Con elementos similares a los propuestos por este último autor, se desarrolló un método de evaluación del riesgo asociado a árboles urbanos en el Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Nacional, 2007).

De acuerdo con esta metodología, el riesgo está compuesto por dos factores: la amenaza y la vulnerabilidad (Figura 1). La **amenaza** es el factor de riesgo externo al sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado a un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o antrópico que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado. Por otra parte, la **vulnerabilidad** es el factor de riesgo interno de un sujeto o sistema expuesto a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca de afectación. Se expresa usualmente, según el grado de afectación, de nulo a pérdida total, en una escala que varía de cero a uno, respectivamente (Sáenz & Parra, 2009).

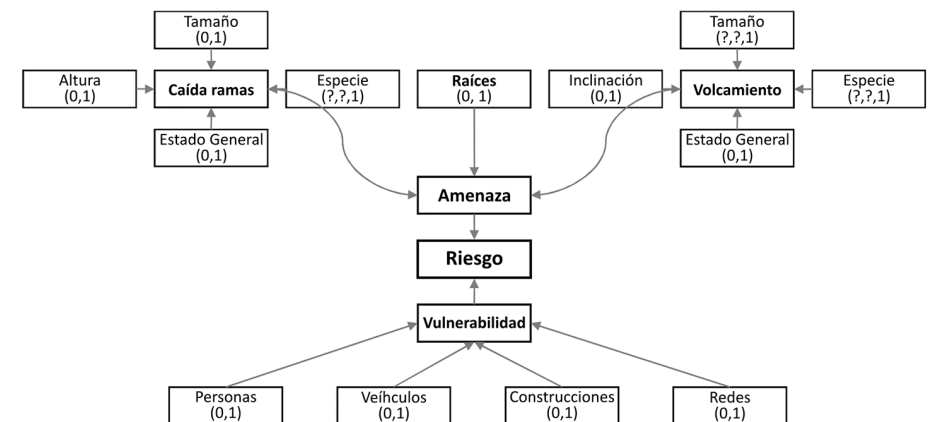


Figura 1. Mapa de fuentes y factores de riesgo para el componente arbóreo. (Saenz & Parra, 2009)

El riesgo se obtiene al relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con una intensidad específica, con

la vulnerabilidad o predisposición a ser afectados los elementos expuestos (**Riesgo = Amenaza × Vulnerabilidad**). Como se ve en la Tabla 2, cada uno de estos componentes del riesgo es a la vez el resultado de otras variables, las cuales son categóricas de tercer orden y dicotómicas. Así, para las variables categóricas, las posibles calificaciones dadas a un árbol son 1/3, 2/3 y 1. Las variables dicotómicas tendrán calificación de 0 y 1, donde a mayor valor, mayor es el aporte de la variable al riesgo total. El resultado de la evaluación del riesgo está en el rango (0,1). Esta metodología propone que cuando el riesgo es mayor a 50 %, la decisión de intervención es la tala del individuo, aunque se deben tener en cuenta consideraciones especiales cuando se trata de árboles de alto valor ecológico, paisajístico, cultural e histórico (ver capítulo 6). Cuando el riesgo es entre 30 y 50 %, la intervención es poda, y si es menor del 30 %, no se interviene. Sin embargo, podrían surgir otros tratamientos para disminuir el riesgo o la afectación del individuo, entre ellos la aplicación de refuerzos estructurales o instalación de vientos, que deberán ser definidos por personal especializado en cada caso.

Esta metodología fue objeto de una validación inicial al momento de su formulación. Se propone que se comience a aplicar en la etapa de diagnóstico del plan de manejo del bosque urbano con el fin de evaluar los niveles de riesgo de los árboles en cada municipio y tomar decisiones sobre las acciones por implementar. Al igual que las demás intervenciones propuestas en esta guía, la información recopilada deberá ser registrada oportunamente en el Sistema de Información del Árbol Urbano. Una vez se ponga a prueba el método a escala operacional, se podrá refinar y mejorar, en caso de que sea necesario.

De acuerdo con la evaluación, deberá definirse el grado de riesgo y la urgencia de la atención (en unidades de tiempo precisas). Para definir la urgencia, además del grado de riesgo, debe tenerse en cuenta el potencial de afectación a las personas y a bienes materiales. Todos los árboles tienen un nivel variable: en un extremo están los árboles clasificados como de bajo riesgo, aunque estos pueden fallar durante tormentas o vientos fuertes; en el otro extremo están los árboles muy débiles y con muchos defectos, los cuales pueden fallar incluso en ausencia de condiciones extremas. Debido a la gravedad implícita de las decisiones sobre riesgo, estas deberían ser tomadas de manera objetiva y con base científica, por personal altamente calificado y entrenado, que comprenda la biología del árbol.

El plan de gestión del riesgo debe definir además el personal, presupuesto y las acciones por implementar. La pregunta que se debe responder en este plan es: dada la población actual de árbo-

les y los recursos disponibles, ¿qué puede hacerse para reducir el nivel del riesgo arbóreo? Si los recursos disponibles no alcanzan para disminuir el riesgo a niveles razonables, será necesario asignar recursos adicionales. En cualquier caso, las estrategias de manejo deben dirigirse prioritariamente a los árboles en alto riesgo.

Tabla 2. Factores, fuentes y variables para la evaluación de riesgo asociado a árboles urbanos.

Factor	Fuente	Variable de riesgo	Descripción	Categorías	Valor	
Externo: Amenaza (A)	Volcamiento (Vo)	Talla (T)	A mayor altura, mayor es el riesgo asociado al árbol	< 10 m	1/3	
				10 - 20 m	2/3	
				> 20 m	1	
		Especie (Sp)	Susceptibilidad de la especie a volcarse súbitamente sin mostrar síntomas	No se vuelca	1/3	
				No info.	2/3	
				Se vuelca	1	
		Estado general (Eg)	Afectación del árbol por plagas y enfermedades, daños mecánicos, etc.	Sano	0	
				Enfermo	1	
		Inclinación (I)	Inclinación del árbol sobre el eje vertical	Ángulo < 30°	0	
				Ángulo ≥ 30°	1	
	$Vo = (T+Sp+Eg+I) / 4$					
	Caída de ramas (Cr)	Diámetro rama (D)	A mayor diámetro de la rama, mayor es su energía cinética	≤ 5 cm	0	
				> 5 cm	1	
		Especie (Sp)	Susceptibilidad de la especie a perder sus ramas	Sin poda	1/3	
				No info.	2/3	
				Poda natural	1	
		Estado general (Eg)	Afectación de ramas por plagas y enfermedades, daños mecánicos, etc.	Sana	0	
				Enferma	1	
		Altura (H)	A mayor altura de la rama, mayor es su energía cinética	≤ 5 m	0	
				> 5 m	1	
$Cr = (D+Sp+Eg+H) / 4$						
Raíces (Ra)	Estado general (Eg)	Afectación de las raíces por pudriciones, daños, podas, etc.	Buen estado	0		
			Mal estado	1		
$Ra = Eg$						
$A = (Vo+Cr+Ra) / 3$						

Factor	Variable de riesgo	Descripción	Categorías	Valor
Interno: Vulnerabilidad (V)	Personas (P)	Tránsito o permanencia de personas, como en parques y andenes	Ausencia	0
			Presencia	1
	Vehículos (Ve)	Tránsito o permanencia de vehículos, como en parqueaderos o vías	Ausencia	0
			Presencia	1
	Construcciones (C)	Presencia de construcciones que pudieran afectarse	Ausencia	0
			Presencia	1
	Redes aéreas(Re)	Presencia de redes aéreas que pudieran afectarse	Ausencia	0
			Presencia	1
$V = (P+Ve+C+Re) / 4$				
RIESGO, $R = A \cdot V$				

Fuente: Área Metropolitana del Vallé de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia (2007).

Adicionalmente, el plan debe definir las maneras de prevenir y minimizar riesgos futuros, y los métodos aceptables para corregir los defectos en los árboles. Manejar un árbol en riesgo de una forma sistemática y ordenada trae muchos beneficios, entre ellos: menor frecuencia y severidad de accidentes, daños o lesiones, menores gastos por reclamaciones y costos legales, árboles más saludables y longevos, y, con el tiempo, menor tasa de talas y reposiciones de árboles en la ciudad.

5.4. PROBLEMAS FITOSANITARIOS

La salud y vigor del bosque urbano se pueden ver afectados por numerosos factores. En nuestras investigaciones hemos identificado cerca de treinta y cuatro tensores que afectan directa o indirectamente a los árboles de las zonas urbanas (algunos se muestran en la Figura 2). Estos tensores se pueden agrupar en tres grandes categorías: bióticos, abióticos y antrópicos, aunque varios factores pueden afectar simultáneamente la salud de un árbol. Los factores bióticos están asociados a organismos vivos, como insectos, bacterias, hongos, virus, plantas parásitas, entre otros. Los factores abióticos están asociados a las condiciones ambientales del lugar, como temperatura, precipitación, radiación solar, vientos, disponibilidad de agua y nutrientes, contaminación atmosférica, etc. Entre los factores antrópicos se pueden mencionar las podas mal realizadas, el vandalismo, la plantación en un sitio no apropiado y la mala calidad del material vegetal producido en los viveros, entre otros (Boa, 2008; Ramírez, 1993, 2009).

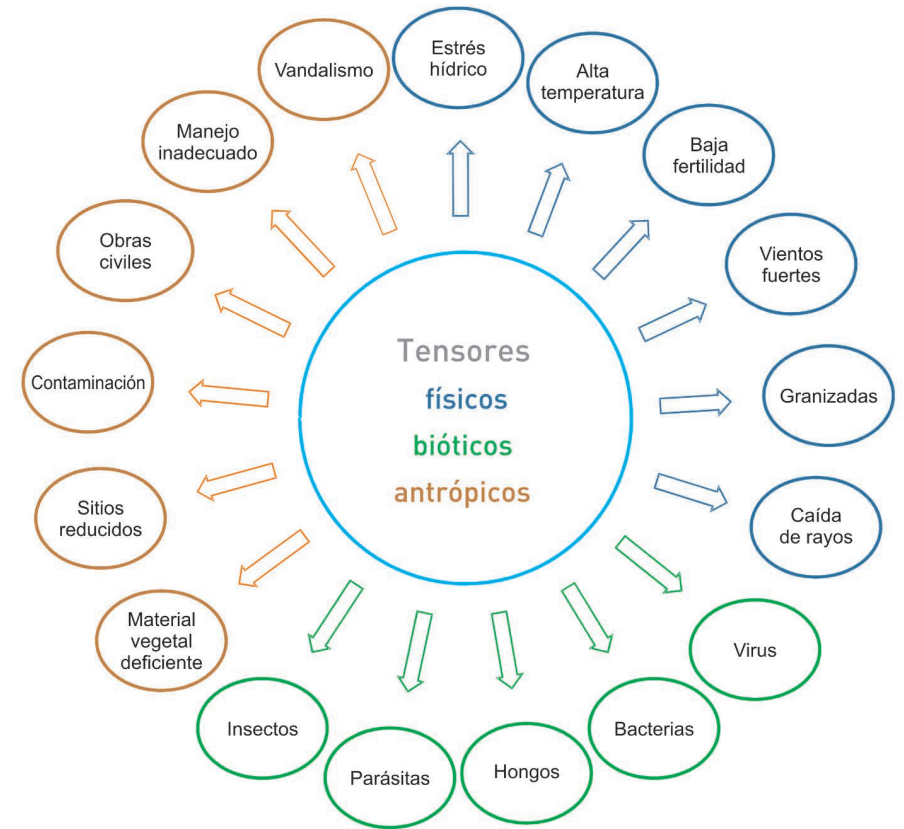


Figura 2. Principales tensores físicos, bióticos y antrópicos que afectan a los árboles plantados en zonas urbanas.

Los factores abióticos generalmente causan desórdenes fisiológicos que se manifiestan de distintas formas, como decaimiento, marchitamiento, muerte descendente, manchas foliares y clorosis. Tales desórdenes frecuentemente están asociados con factores externos de estrés (por ejemplo, desequilibrios de nutrientes, suelo y drenaje pobres, eventos climáticos adversos). No obstante, el excesivo énfasis en factores abióticos, tomados como causas primarias de los síntomas y daños observados en los árboles, puede impedir una búsqueda más cuidadosa de las posibles influencias bióticas. Por ello, la evaluación de los síntomas requiere personal con una visión integral de los posibles agentes causantes de problemas fitosanitarios en el bosque urbano. Por ejemplo,

el impacto de los insectos plaga a menudo se ve incrementado por un debilitamiento previo del vigor del árbol y descenso de su resistencia natural a la infestación, bien sea por anegamiento, sequía o deficiencias de nutrientes, entre otros (Boa, 2008).

Debe hacerse una distinción entre plagas primarias (las que directamente afectan la salud del árbol) y plagas secundarias (las que usualmente afectan árboles ya debilitados por un factor predisponente), pues suele ocurrir un efecto sinérgico entre los diferentes grupos. Por ejemplo, en las investigaciones realizadas en el Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional, 2014) encontramos como posibles agentes causales de enfermedades y daños en diferentes tejidos de árboles los siguientes géneros de hongos: *Pestalotiopsis*, *Botryodiplodia*, *Phoma*, *Colletotrichum*, *Diplodia*, *Curvularia* y *Phomopsis*. Los insectos encontrados en las maderas pertenecen principalmente al grupo de los coleópteros, perforadores de troncos y ramas. En el campo es difícil su captura, ya que los estados larvales se encuentran desde el cambium hasta el xilema; los orificios y galerías se manifiestan cuando los daños son casi irreversibles; el subproducto de la alimentación es un aserrín continuo en forma de fibras blancas (Figura 3).

De manera similar, en madera almacenada de pero de agua (*Syzygium malaccense*) se han recuperado hasta 80 ejemplares vivos de *Euplatypus* spp., así como larvas, pupas y adultos de *Throracidion buqueti*; en almendro (*Terminalia catappa*) se encontraron machos y hembras de *Chlorida festiva* y *Eburodacrys* sp. (Figura 4). En muestras de madera resultante de talas y podas fitosanitarias en árboles con pudriciones y manifestaciones de daño por hongos, se encontró que después de diez meses de observación en el laboratorio persistían los mismos grupos de insectos que estaban afectando a los árboles en el campo; esta evidencia indica una alta estabilidad de sus estructuras de protección, las cuales requieren una condición óptima para su reproducción, dispersión y colonización hacia nuevos hospederos.

Los ciclos de vida de estos insectos perforadores generalmente presentan una generación por año, por lo que sus estados larvales permanecen dentro del material talado, que es su fuente de alimentación; inclusive pueden alimentarse por varias generaciones, ya que la madera es descompuesta por los hongos que ingresaron inicialmente. La importancia ecológica de esta asociación insecto-hongo, que no es exclusiva del arbolado urbano del Valle de Aburrá (Reyes, 2007), radica en que el insecto lleva las esporas del hongo a la madera, el cual la descompone y la debilita, y las siguientes generaciones del insecto se alimentan de ella.



Figura.3.

Madera almacenada para la recuperación de insectos. A-B. Trozos de madera en fase inicial de secado. C-F: daño de perforadores. G-H. Galerías y aserrín de *Cerambycidae*. I. Daño de larva de picudo en palma.

Entre la corteza y la albura también hemos encontrado larvas ápodas de escarabajos grabadores, que son generalmente de cabeza muy plana y cuerpo corto. Estas larvas no logran penetrar hacia el interior (solo ocasionalmente en maderas blandas), por lo cual permanecen allí, y cuando ocurre desprendimiento natural o mecánico de la corteza, ya se encuentran en estado de pupa con los adultos próximos a emerger (Figura 5).

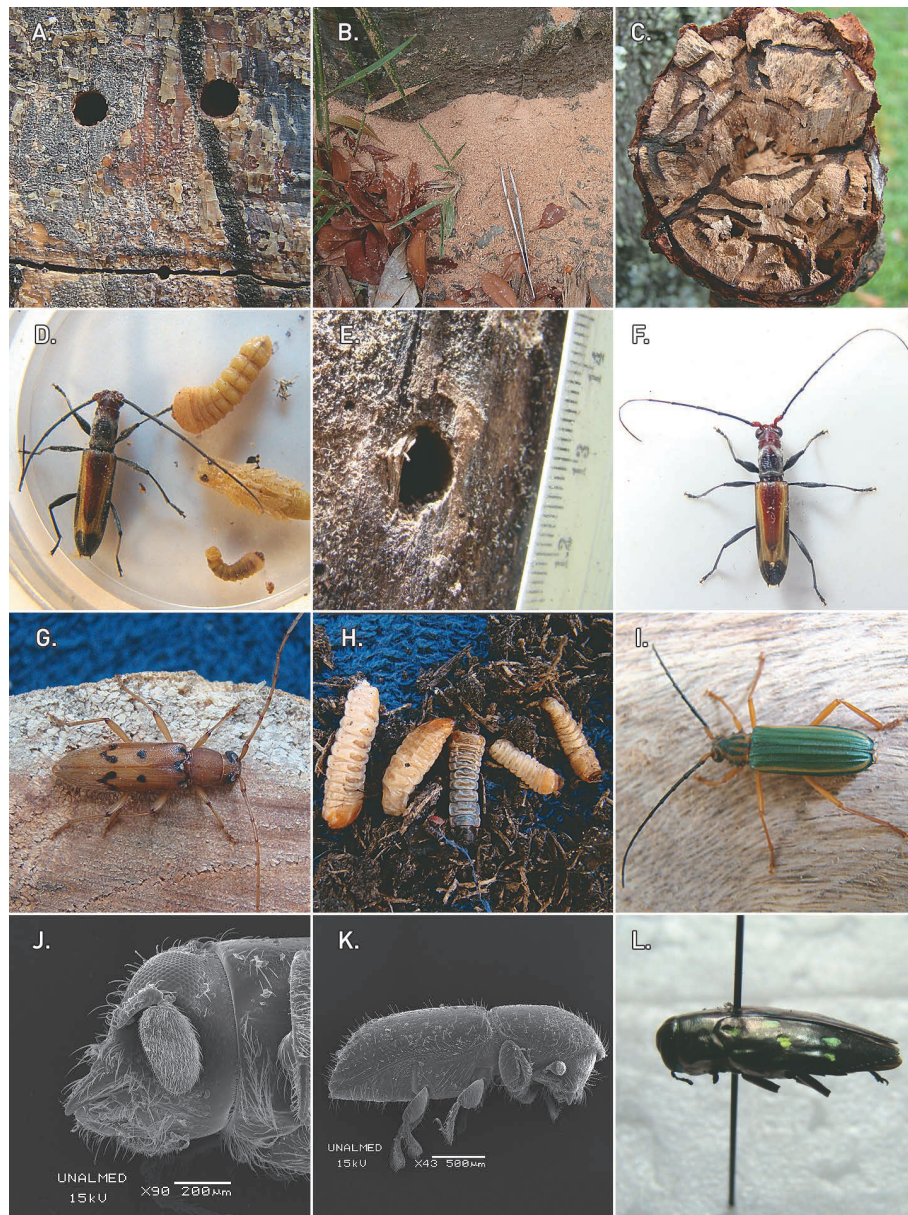


Figura 4.

Daños e insectos recuperados en maderas almacenadas.

A-B. Perforación y aserrín de *Xylopsocus capuccinus*. C. Galerías de *Xyleborinus* sp. D-F. Larvas, pupas y adultos de *Throracidium buqueti* Thoms. G. Adulto de *Eburodacrys* sp. H. Larvas y pupa de Cerambycidae. I. Adulto de *Chlorida festiva*. J. Adulto macho de *Euplatypus paralellus* (fotografía de microscopio electrónico de barrido, SEM). K. Adulto de *Xyleborinus* sp. (fotografía SEM). L. Adulto de *Crysobotris* sp.

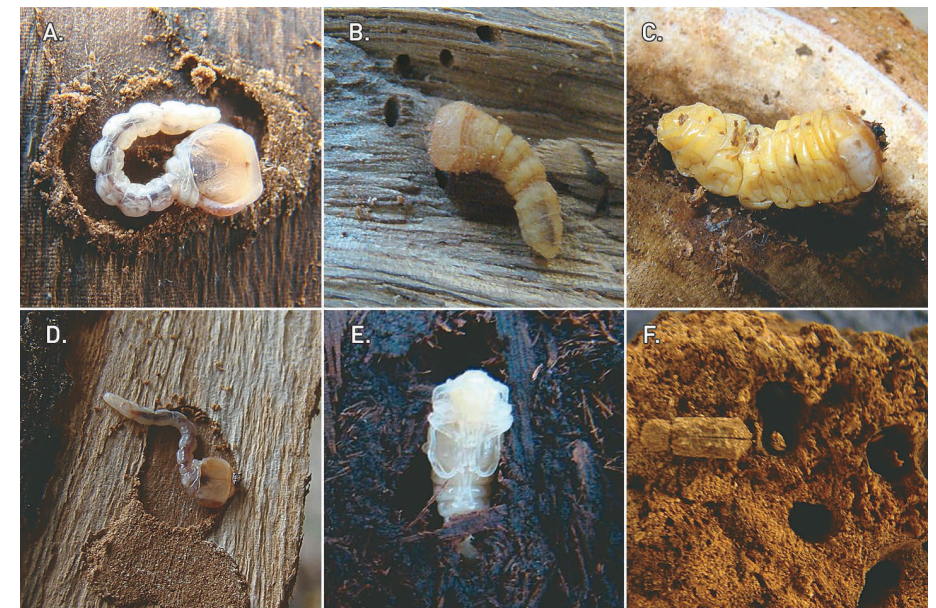


Figura 5.

A-D. Larvas de grabadores de la albura (Coleoptera: Cerambycidae). E. Pupa de Cerambycidae en la albura. F. Adulto de Bostrichidae en Samán (*Albizia saman*).

5.4.1. Deterioro progresivo y muerte del árbol urbano en el Valle de Aburrá

El deterioro progresivo se caracteriza por la marchitez de las ramas, generalmente las superiores, cuya primera manifestación es la caída de sus hojas y la muerte de yemas terminales; eventualmente este mal se propaga a toda la copa del árbol, con defoliación asincrónica, persistente, generalizada y muerte del árbol. En nuestras investigaciones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional, 2014) encontramos que la probabilidad de ocurrencia de deterioro progresivo está asociada con el tamaño del árbol, la especie, el sitio de plantación (zona verde, piso duro, contenedor) y el número de afectaciones que ha sufrido un árbol, tales como podas inadecuadas, heridas en el tallo, vandalismo (Figura 6), quemas, anillamiento, presencia de hongos e insectos. En general, los árboles de mayor tamaño (y por tanto de mayor edad) son más susceptibles de sufrir deterioro, por lo cual, para detectarlo y corregirlo a tiempo, estos individuos deben recibir mayor atención y seguimiento. Así mismo, el deterioro es mayor en árboles plantados en piso duro y contenedor, comparados con los establecidos en zonas verdes amplias.



Figura 6.
Árbol con fuerte afectación por vandalismo y depósitos de basuras

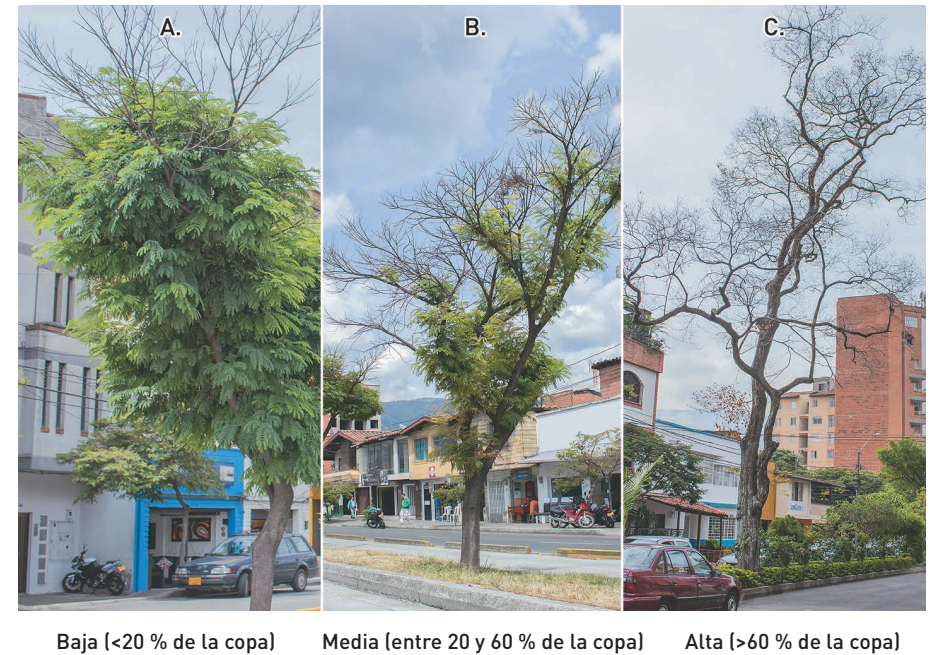
En síntesis, el deterioro progresivo se presenta principalmente en árboles poco vigorosos, generalmente como consecuencia directa de las condiciones precarias del sitio y las prácticas inadecuadas de manejo. La calidad del sitio se ve afectada principalmente por el espacio reducido, suelo compactado, con baja aireación, mal drenaje y deficiencias nutricionales. En otras zonas del mundo también se ha encontrado que las afectaciones al arbolado y la reducción del tamaño de la zona verde aumentan la probabilidad de muerte, mientras que el aumento en el ancho de la zona verde del árbol se correlaciona positivamente con el mejor estado de los árboles (Koeser, Hauer, Norris, & Krouse, 2013).

La sequía prolongada puede causar diversos procesos, entre ellos el desprendimiento de las hojas como respuesta para evitar la deshidratación en los árboles caducifolios o semicaducifolios; si además de sequía persisten altas temperaturas,

las yemas terminales se pueden secar y no rebrotar, lo que eventualmente trae como consecuencia la muerte de ramas y su posterior colonización por hongos e insectos. De acuerdo con nuestras investigaciones en el Valle de Aburrá, durante este periodo los árboles pueden pasar por tres fases bien definidas, que se diferencian entre sí por sus síntomas:

- La primera se caracteriza por secamiento parcial de ramas. Según la causa o etiología del problema, el secamiento puede ser ascendente o descendente. El primero es un secamiento que avanza de la base de las ramas hacia las puntas, o globalmente: de la base de la copa hacia la(s) yema(s) líder(es). El descendente (o *die-back*) avanza de las puntas de las ramas o yemas terminales, hacia la base (Figura 7A).

- La segunda fase se caracteriza por el secamiento total de varias ramas (Figura 7B).
- Una fase acelerada de defoliación total, que es la fase final del deterioro. En este estado generalmente no se obtiene respuesta alguna a ningún tratamiento. Así mismo, en esta etapa es común el hallazgo de insectos perforadores de la familia Curculionidae: Scolytinae y abejas carpinteras del género *Ptiloglossa* (Figura 7C).



Baja (<20 % de la copa)

Media (entre 20 y 60 % de la copa)

Alta (>60 % de la copa)

Figura 7.
Fases del deterioro progresivo. Calificación del grado de afectación según el porcentaje de copa afectado.

5.4.2. Qué hacer para disminuir el riesgo de deterioro y muerte del bosque urbano

Los resultados de nuestras investigaciones refuerzan la idea de que el deterioro progresivo es producto de la interacción de causas naturales y antrópicas. Por lo tanto, el manejo integral del bosque urbano debe incluir las actividades que mejoren el vigor y sanidad de los árboles y disminuyan las causas de afectación de origen antrópico. Como se ha mencionado reiteradamente a lo largo de

La clave para un bosque urbano saludable radica en un manejo cuidadoso de todas las fases involucradas en su desarrollo

este capítulo, lo anterior implica contar con un sistema de monitoreo periódico del estado fitosanitario del bosque urbano y de actualización permanente de la base de datos georreferenciada del mismo, así como de un plan de manejo que contemple acciones preventivas para disminuir la ocurrencia de este fenómeno.

En síntesis, la clave para un bosque urbano saludable radica en un manejo cuidadoso de todas las fases involucradas en su desarrollo, desde la selección de semillas, producción en vivero, su transporte, la preparación del sitio de plantación y la selección apropiada de la especie para cada lugar, su establecimiento, la atención durante esta etapa y el manejo proactivo de árboles juveniles y adultos.

5.5. INTERVENCIONES EN EL BOSQUE URBANO

5.5.1. Riego y fertilización

El riego busca disminuir el estrés hídrico en las plantas, el cual puede desencadenar una cascada de efectos que conducen a su debilitamiento y muerte, no solo por causas estrictamente fisiológicas, sino también porque los hace vulnerables al ataque de plagas y enfermedades. Las necesidades de riego dependen principalmente del suministro adecuado de agua bajo condiciones naturales, el cual depende a su vez de la variabilidad climática y de las condiciones particulares del sitio de plantación. De acuerdo con las observaciones de campo y el análisis de los datos climáticos de la región metropolitana del Valle de Aburrá, los síntomas de deterioro del bosque urbano se manifiestan principalmente en la época seca.

Según se presentó en el capítulo 4, el régimen de precipitación del Valle de Aburrá es bimodal, con dos periodos de menor precipitación, aunque solo el primero es ecológicamente seco (el que ocurre entre diciembre y febrero, con precipitaciones promedias de 56 mm en enero), mientras que en julio, el mes más seco del segundo periodo de menor precipitación, llueve el doble (118 mm), por lo cual el efecto negativo de la reducción de la lluvia sobre el bosque urbano puede ser mucho menor en este periodo. El análisis de las series históricas de precipitación y temperatura a escala anual en diversas estaciones ubicadas en el Valle de Aburrá, durante el periodo 1942-2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional, 2014), arrojó que la precipitación anual está incrementando y el número de días secos está disminuyendo. A pesar de que aparentemente no se ha presentado un

cambio significativo en la disponibilidad histórica de agua para los árboles en el Valle de Aburrá, las observaciones de campo permiten afirmar que los sitios de plantación crean condiciones de baja disponibilidad hídrica, bien sea por los espacios reducidos, la compactación de los suelos o por el piso duro impermeable que los rodea.

Con relación a las tendencias históricas de temperatura, se registraron incrementos estadísticamente significativos en la temperatura media, en la temperatura mínima, en el número de días consecutivos con una temperatura mínima por encima de 16,5 °C y en el número de días con temperaturas medias por encima de los 21 °C (por ejemplo, se encontró un incremento de 0,2 °C por década en la estación del aeropuerto Olaya Herrera del municipio de Medellín). Si bien este incremento probablemente no representa repercusiones severas sobre los árboles, es posible que haya afectado las dinámicas de insectos al incidir en su ciclo reproductivo y aumentar sus densidades poblacionales, con potencial de afectar a los árboles urbanos.

El análisis detallado de las anomalías climáticas en el periodo 1990-2012 evidencia unos periodos críticos de efecto combinado de disminución de precipitación y aumento de temperatura que pueden someter a los árboles a estrés fisiológico, el cual altera los procesos de fotosíntesis, respiración y transpiración, con eventos recientes de sequía en 2002 y 2009 asociados al ENSO (fenómeno de El Niño), lo que pudo haber inducido estrés hídrico en los árboles urbanos del Valle de Aburrá. Por ejemplo, a finales del año 2009 y principios de 2010 se presentaron disminuciones de precipitación del 70 % con respecto al promedio del periodo 1942-2012, e incrementos de temperatura de 2,2 °C con respecto al mismo periodo. Según los resultados obtenidos en el estudio citado, la escala interanual explicó alrededor del 67 % de la varianza de la serie anual de anomalías de temperatura media observadas, mientras que la señal de cambio climático (es decir, la tendencia lineal de largo plazo y un promedio móvil de 50 años) solo explicó entre el 25 % y el 38 % de la misma. En conclusión, la variación interanual ha jugado un papel más significativo en las anomalías observadas en el Valle de Aburrá que la señal de cambio de largo plazo en las condiciones climáticas.

En síntesis, la creciente variabilidad climática y el evidente aumento de las temperaturas pueden tener efectos graves sobre la salud del bosque urbano, especialmente cuando ocurren periodos largos de sequía y temperaturas más altas, como los sucedidos durante los años ENSO. Por ello, al menos en los periodos críticos de los años ENSO así como en la estación seca de comienzo de año debería considerarse el riego como una medida preventiva y

La creciente variabilidad climática y aumento de las temperaturas pueden tener efectos graves sobre la salud del bosque urbano, especialmente cuando ocurren periodos largos de sequía y temperaturas más altas como en los años ENSO

No se recomienda el uso de agua potable para el riego del bosque urbano

de adaptación al cambio climático. Puesto que la experiencia local en esta labor es escasa, se recomienda adoptarlo de manera gradual y progresiva, inicialmente en temporadas secas muy largas, cuando pasen más de 15 días sin lluvia, especialmente a aquellos árboles que se consideren más vulnerables a déficit hídrico y en peligro de deterioro y muerte.

No se recomienda el uso de agua potable para el riego del bosque urbano. Alternativamente, se sugiere usar tecnologías de aprovechamiento de aguas lluvias y de aguas subterráneas; en algunos sitios, donde el agua subterránea esté disponible a poca profundidad (por ejemplo en la zona plana del valle, cerca al río) puede utilizarse energía solar para extraer el agua. Tal estrategia podría convertirse a su vez en una oportunidad de concientización y educación ambiental de la ciudadanía. Así mismo, debido a las dificultades y riesgos de aplicar riego en separadores de autopistas y otras vías de alto flujo vehicular, se recomienda la instalación de sistemas de riego por canaletas y otros mecanismos que funcionen sin intervención humana permanente. En tales espacios, o en sitios donde las raíces quedan confinadas en espacios estrechos o donde el ingreso del agua lluvia presenta alguna dificultad, se recomienda evaluar la efectividad de instalar sistemas de tubos perforados (al menos cuatro dispuestos en cruz por árbol) localizados en posición vertical dentro del suelo con la boca superior a ras del suelo, en los cuales se aplique el agua de riego.

La fertilización busca corregir deficiencias nutricionales o desbalances en el suministro de algunos nutrientes. Por tanto, su aplicación solo se justifica si existen evidencias de tales problemas (Zöttl & Tschinkel, 1971). En sentido estricto, para determinar deficiencias nutricionales es necesario contar con resultados de análisis químico de suelos completo (clase textural, pH, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mo, B, Cl, Mn) y foliar de nutrientes. No obstante, los síntomas de deficiencias nutricionales pueden ser identificados con facilidad por personal experto en la detección de síntomas visuales, aunque siempre existe el riesgo de confundirlo con algún otro fenómeno (por ejemplo, una enfermedad). Las fertilizaciones también se recomiendan para árboles con problemas fitosanitarios, que hayan sido trasplantados o que sean objeto de algún tratamiento o intervención especial (por ejemplo una poda severa, corte de raíces, etc.), así como para árboles especialmente valiosos.

La fertilización de árboles urbanos solo se recomienda en la fase de establecimiento, según se explicó en el capítulo anterior. Por fuera de las situaciones mencionadas, y mientras no se disponga de resultados de investigación que demuestren su eficacia sobre el bosque urbano, no se recomienda la aplicación de fertilizantes

como una medida de rutina para árboles adultos en las ciudades (City of Alexandria, 2010). Las dosis y composición de los fertilizantes deberán definirse para cada caso particular, según el problema por corregir, y, en todo caso, deben ser prescritas por un especialista. Una fuente alternativa de nutrientes es la aplicación de subproductos de podas, siempre que el material sea biológicamente seguro (que no represente un foco de diseminación de insectos, patógenos y otros agentes dañinos), según se describe en el capítulo siguiente. Este material tiene otra serie de ventajas, pues su descomposición aporta materia orgánica que mejora las propiedades del suelo, contribuye al control de malezas, a almacenar agua, a conservar la humedad de las raíces y es un excelente aislante térmico. En tales casos debe tenerse cuidado de no aplicar el material directamente en la base del árbol.

5.5.2. Podas

La poda consiste en cortar o quitar parte de las ramas de los árboles y otras plantas con el objetivo de mejorar su desarrollo o corregir alguna situación insatisfactoria o problemática. Puede hacerse reactivamente para remover ramas en riesgo de caer, o preventivamente para promover la salud, estructura y seguridad del árbol. Con estas últimas se busca principalmente, en el largo plazo, dirigir la estructura del árbol para producir una forma funcional y hermosa. Por ello, la poda debe comenzar temprano en la vida del árbol y realizarse a intervalos regulares cuando es joven, lo cual evita que las ramas laterales y los tallos crezcan tan rápido que echen a perder la buena estructura del árbol.

Las podas preventivas también buscan remover madera enferma o infestada por insectos, mejorar el flujo de aire para reducir enfermedades y plagas, remover ramas cruzadas o que rozan, desarrollar una estructura fuerte, remover ramas rotas para propiciar el cierre de heridas y evitar riesgos, y prevenir obstrucciones con señales y tráfico de peatones. Por ello, un programa de podas preventivas y bien realizadas es una de las estrategias más efectivas para disminuir el riesgo arbóreo. Podas tempranas de formación y podas de mantenimiento regulares evitarán el desarrollo o eliminarán muchos defectos en los árboles que son las causas principales de que fallen. Podas tempranas y regulares también reducirán los costos de podas posteriores, remoción de árboles y reemplazamiento (Gilman, 2002; Gilman & Bisson, 2007; Johnson, Hauer, & Pokorny, 2003).

Como todos los aspectos del manejo del bosque urbano contemplados en este capítulo, la poda debe realizarse de manera planificada y con calidad. Un programa de poda bien estructurado debe incorporar los elementos conceptuales básicos (la ciencia)

Un programa de podas preventivas y bien realizadas es una de las estrategias más efectivas para disminuir el riesgo arbóreo

y el arte (la técnica y el entrenamiento). Después de seleccionar la especie adecuada, plantar el árbol correctamente y en un sitio apropiado, y proteger el sistema de raíces de lesiones, la poda probablemente tiene el mayor impacto sobre la salud, vigor y longevidad del árbol. La poda de árboles jóvenes es un proceso simple comparado con el tratamiento de problemas posteriores (Gilman, 2002).

Es común que con las podas se busque corregir o minimizar problemas ocasionados por árboles mal seleccionados para el sitio; por tanto, si se realiza una buena selección de la especie para un sitio, como se indica en el capítulo anterior, estas podas se reducirán sustancialmente, pues los árboles se mantendrán en buena condición. Muchas veces es mejor reemplazar los individuos localizados en lugares donde requerirían podas frecuentes, las cuales afectan drásticamente su arquitectura, vigor y desarrollo, y generan un costo muy alto para el mantenimiento del bosque urbano.

Además de personal calificado, las intervenciones que se realicen sobre el bosque urbano deben ser realizadas con estricto apego a métodos y herramientas apropiados. De ahí la necesidad de definir estándares para cada tipo de procedimiento, tal y como ocurre en muchas ciudades del mundo (City of Pacific Grove, 2012). Infortunadamente esta intervención suele hacerse de manera inapropiada (Yan, 2006), particularmente en Colombia y en el Valle de Aburrá, por lo cual es urgente desarrollar estándares de poda. En los párrafos que siguen se presentan algunas recomendaciones generales.

Las hojas funcionan como productoras de los compuestos orgánicos necesarios para el crecimiento y actividad de los árboles; por ello, si se eliminan muchas hojas, el árbol tendrá dificultades para crecer vigorosamente, lo que generalmente induce a su debilitamiento y deterioro. En consecuencia, todas las podas producen estrés en el árbol; las ligeras producen estrés ligero y las fuertes suelen generar estrés severo debido no solo a la pérdida de superficie fotosintética, sino también a que el árbol pierde gran cantidad de energía que está almacenada en las ramas removidas; en consecuencia, la capacidad del árbol para defenderse contra insectos, enfermedades y daños mecánicos se reduce. Por ello, mientras más ligera sea la poda, mejor. En cualquier caso no se debería remover más del 10-15 % del follaje vivo del árbol en una sola intervención.

Las podas solo se deben realizar cuando realmente son necesarias, preferiblemente en la etapa juvenil, pues las heridas se pueden cicatrizar más fácilmente (Figura 8). Se debe preferir el corte de ramas secas, enfermas, reventadas o suprimidas por

falta de luz. La poda también disminuye e incluso puede detener el crecimiento de raíces (efecto que suele ser subestimado debido a que las raíces no se ven), porque el árbol intenta reemplazar las ramas removidas, lo que puede desencadenar una espiral descendente de vigor. En consecuencia, los árboles maduros con una estructura bien desarrollada necesitan mínima poda de sus ramas vivas (Gilman, 2002).



Figura 8. Árbol sin poda (izquierda) y el mismo individuo podado un año después (derecha), en el cual se eliminó un eje fustal.

A medida que un árbol envejece, disminuye la proporción relativa de follaje en comparación con la biomasa total del árbol; por esta razón debería disminuirse la cantidad de tejido vivo que se remueve, pero aumentar la remoción de ramas muertas. En consecuencia, las ramas vivas se deberían remover de árboles maduros solo si hay una buena razón. Sobrepodar árboles grandes puede ser extremadamente dañino, pues puede producir pudrición, rebrote excesivo, pérdida sustancial de área fotosintética y aun la muerte del árbol. Puesto que la complejidad y riesgo de las intervenciones aumenta con la edad del individuo, su valor representativo e interferencia con infraestructura, hay que ser especialmente cuidadosos con la planificación y ejecución de las podas en estas circunstancias, pues suelen ser muy costosas y pueden generar impactos visuales y ambientales muy notorios.

Tipos de poda

Las principales podas que se realizan a los árboles de la ciudad se suelen nombrar como: estructural, de limpieza, de aclareo, de realce, de reducción y compensación. A continuación se describe brevemente cada una de ellas.

Mientras más ligera sea la poda, mejor. En cualquier caso no se debería remover más del 10-15 % del follaje vivo del árbol en una sola intervención

- **Poda estructural:** también denominada de formación. Su objetivo es desarrollar árboles estructuralmente fuertes, con una forma balanceada, funcional y armónica. Consiste en mantener o propiciar el desarrollo de un tallo principal, distribuir las ramas laterales a lo largo del tronco de manera equilibrada, corregir deformaciones y eliminar ramas mal dirigidas o la proliferación de tallos (Gilman, 2002; Morales & Varón, 2006). Si existen ramas codominantes, es decir, que se forman de brotes apicales en el mismo tallo, se recomienda eliminar una de ellas, en lo posible la más inclinada o la menos gruesa; así mismo, cortar las ramas que presenten ángulos de unión estrechos en los que se propicia la formación de corteza incluida (aquella que queda encerrada en la horcadura de dos ramas que se están desarrollando) dado que ésta debilita la unión (ISA, 1999). Las podas estructurales son fundamentales cuando el individuo es joven. Deben ser mínimas en la fase adulta del árbol, pues tratar de formar los árboles maduros es casi imposible y puede traer como consecuencia su deterioro (Figura 9).



Figura 9.

Necesidad de poda estructural en individuos jóvenes. En ambos casos se debe podar la rama que compite con la líder, lo cual propicia una copa balanceada, tallo estructuralmente fuerte y evita la formación de corteza incluida y otros problemas en el árbol adulto.

- **Poda de limpieza:** también denominada de mantenimiento. Consiste en la eliminación de ramas secas, deterioradas, enfermas, suprimidas o muertas, y de chupones o rebrotes. Tiene el objetivo de mejorar la

salud y apariencia del árbol, al igual que disminuir los riesgos para personas y bienes. Los rebrotes que se forman en las ramas y en la base del tronco pueden ser muy agresivos y constituirse en una carga fisiológica para el árbol e impedir la apropiada distribución de recursos. Adicionalmente, se deben eliminar las plantas parásitas que pueden llegar a matarlo y otros objetos que pueden afectar su salud (Gilman, 2002).

- **Poda de aclareo:** consiste en la eliminación selectiva de algunas ramas para permitir la entrada de luz y la circulación del aire a través de la copa, y además reducir su peso. El objetivo es prevenir y reducir los daños mecánicos producidos por el viento y la incidencia de plagas y enfermedades, y mejorar la estructura del árbol (Gilman, 2002). Las ramas se cortan desde su inserción en el tronco o de otra rama, y luego se realiza el despunte (disminución de longitud) de otras ramas laterales, con el fin de compensar la copa. Siempre se debe dejar una rama tirasavia, la que ayudará a irrigar con savia la parte afectada por la poda y facilitar la cicatrización (Morales & Varón, 2006). En este tipo de poda se debe tratar de mantener una distribución uniforme del follaje a lo largo de la rama. Las dimensiones de la copa (altura y amplitud) quedan de un tamaño similar al original. Se debe tener precaución de no producir un efecto conocido como "cola de león", el cual es causado por la eliminación de las ramas laterales internas solamente y poco o nada de los extremos de la copa. Esto puede causar el rompimiento de las ramas por descompensación en la distribución del peso, estimular rebrotes y afectar la estética del árbol (ISA, 1999). Esta poda no debe sobrepasar el 30 % del follaje.
- **Poda de realce:** consiste en remover las ramas bajas del árbol para dar mejor visibilidad al tráfico y estimular su desarrollo apical. Si el tráfico es de vehículos, la poda se realiza hasta 4 o 5 m de altura y si es peatonal, hasta 2,5 m. También permite el paso de luz hacia el suelo y facilita el establecimiento de plantas de cobertura (Figura 10).
- **Reducción de copa:** consiste en disminuir el tamaño del árbol, generalmente por razones de seguridad, dado que sus ramas están cercanas o en contacto con líneas de energía o construcciones y representan un riesgo. La reducción de la copa puede ser superior, lateral, en forma de V o en la parte inferior del árbol.

Los árboles que han recibido una adecuada poda estructural en estado juvenil serán más fuertes, saludables, balanceados y armónicos en su madurez, y requerirán menos intervenciones de manejo correctivo



Figura 10. Poda de realce para mejorar iluminación y visibilidad vehicular y de peatones. A. Poda realce bien realizada. B. Necesidad de poda de las ramas bajas para evitar interferencia del árbol con la luminaria.

La implementación de cables compactos o aislados en las líneas de energía eléctrica para reemplazar las crucetas tradicionales, aunque es costosa, ha permitido reducir considerablemente la intensidad de esta poda. Infortunadamente este es el tipo de poda que más se realiza y, puesto que genera tantas deformidades y daños a los árboles, en lo posible debería evitarse, para lo cual es urgente realizar programas de reemplazos masivos por especies apropiadas a cada sitio (Morales & Varón, 2006) (Figura 11).

El descopado, desmoche o *topping* elimina todo o casi todo el follaje para reducir el tamaño del árbol porque interfiere con construcciones y líneas de energía eléctrica. Aunque es considerado por algunos como un tipo de poda, en realidad es un procedimiento antitécnico y constituye, tal vez, una de las prácticas más lesivas que se le pueden hacer a un árbol, la cual se debe abolir por el daño irreversible que produce (City of Alexandria, 2010). Suele tener un efecto contrario al buscado y puede generar alto riesgo, pues al quedarse sin follaje, se activan las yemas latentes del árbol y se producen muchos rebrotes que rápidamente agotan las reservas de nutrientes del individuo, lo que puede matarlo; además, los rebrotes así generados son muy débiles y propensos a reventarse con la lluvia o el viento, con riesgo para el público (ISA, 1999).



Figura 11. Poda de reducción de copa. Arriba: ejemplos de podas con fuerte reducción del volumen de la copa con grave daño para los árboles. Abajo: la implementación de cables compactos o aislados en las líneas de energía eléctrica ha permitido reducir considerablemente la intensidad de poda.

La cicatrización de las múltiples heridas que sufre un árbol sometido a este tipo de intervención es difícil, lo cual sumado al fuerte estrés y disminución de vigor resultantes, genera alta probabilidad de ataques de insectos y patógenos, aparición de enfermedades y pudriciones que pueden llevar a la muerte del árbol. Así mismo, esta intervención es muy costosa y requiere de mucho seguimiento posterior. Por último, estéticamente el árbol pierde su forma, pues en realidad es una mutilación. Este tipo de intervención debería prohibirse y sancionarse a quien la realice, pues es una manifestación clara de irrespeto y subvaloración de los árboles.

- **Poda de compensación:** se realizan con el fin de balancear y equilibrar la copa, lo que mejora la salud y estética del árbol y disminuye los riesgos de caída o volcamiento. La descompensación se puede presentar por la existencia de infraestructura o límites físicos que permiten el ingreso de luz solo por un lado; y también cuando se realizan cortes de ramas que interfieren con

las redes aéreas de servicios públicos. Para evitar este tipo de situaciones, los árboles deben plantarse en sitios donde la fuente de luz sea preferiblemente vertical, o si es lateral, que no provenga de una sola dirección. Esta situación debe tenerse en cuenta en árboles muy cercanos a edificios o construcciones altas.

Recomendaciones sobre el procedimiento de poda

La poda de ramas mayores de 5 cm de diámetro se debe realizar en tres pasos, con el fin de evitar desgarramiento de corteza y facilitar la cicatrización: el primer corte se realiza a los 30-40 cm del tronco en la parte inferior de la rama y debe penetrar cerca de un tercio del diámetro; en el segundo paso, se corta la rama en sentido vertical de arriba hacia abajo, 5 cm arriba del primero y se profundiza hasta que la rama se desprenda, para liberar el peso y evitar un desgarre en el tallo; finalmente, se hace el tercer corte para eliminar la punta remanente de la rama (Figura 12).

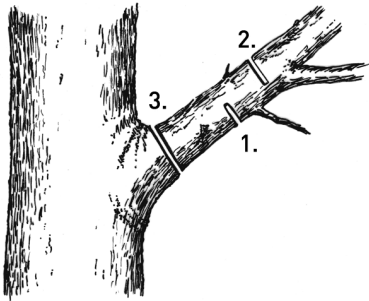


Figura 12.

Poda de ramas mayores de 5 cm de diámetro. 1. El primer corte se realiza a los 30 - 40 cm del tronco en la parte inferior de la rama. 2. En el segundo paso se corta la rama totalmente de arriba hacia abajo. 3. El tercer corte se hace para eliminar la punta remanente de la rama.

Para que la herida cierre completamente, el ángulo del último corte es muy importante; debe salir de la parte externa de la arruga de la rama hacia la parte superior del cuello de la misma, lo que produce un área de corte menor, evita la acumulación de agua y no se afecta el borde del callo cicatrizante (Figura 13). El cuello de la rama se localiza en su parte inferior. Se ha demostrado que conservar el cuello de la rama facilita el cierre de la herida (Ow, Ghosh, & Sim, 2013). La arruga de la rama se forma cuando el cambium del tronco y de las ramas produce una masa de células leñosas hacia el interior; en el punto de unión de la rama se genera presión que deforma los tejidos internos y se conforma una zona de madera muy dura.

Cuando hay desgarre en el punto de unión con el tronco, el callo cicatrizante queda incompleto y el cierre de la herida es parcial. Si el corte se realiza a ras del tronco,

en la parte inferior o superior, en las ramas que tienen un ángulo ascendente, aumenta el área expuesta y por tanto la dificultad para cicatrizar. En árboles cuyas ramas se insertan en ángulo casi recto (como la araucaria, *Araucaria excelsa*, y el almendro, *Terminalia catappa*), el corte puede ser paralelo al tronco y casi a ras sin dañar la arruga. En árboles con ramificación verticilada se debe evitar que las cicatrices generadas se unan, pues cuando esto ocurre es difícil la cicatrización y estas pueden formar un anillo que puede matar el árbol. En estos casos específicos, se recomienda hacer las podas de manera gradual.



Figura 13.

Ángulo de corte. A. Para que la herida cierre completamente el área de corte debe ser mínima (línea marcada con la palabra SÍ). El corte a lo largo de la línea marcada con la palabra NO, corta el cuello de la rama, lo que favorece la pudrición y dificulta la cicatrización. B. Corte mal realizado porque no elimina completamente la rama podada y porque el área de corte es grande. C: el mismo individuo podado de manera correcta.

¿Cuándo se debe podar?

Las podas se deben realizar preferiblemente en la estación seca, época en la cual hay menor probabilidad de infecciones por agentes patógenos, pero a la vez es ideal podar cuando el árbol tiene un metabolismo más activo, con el fin de facilitar el proceso de cicatrización. No se recomienda realizar podas con una frecuencia menor a tres - cinco años; si se requieren podas más frecuentes, es porque probablemente es necesario reemplazar la especie. Tampoco es conveniente dejar pasar mucho tiempo entre una poda y otra, pues los defectos en la estructura del árbol y otros problemas potenciales pueden acumularse (Gilman & Bisson, 2007).

Proceso de cicatrización y compartimentación

Desde el punto de vista fisiológico, la cicatrización tiene cuatro etapas y es conocida como compartimentación. En la primera, el árbol produce sustancias tóxicas para controlar posibles patógenos que puedan entrar; en la segunda se ocluyen los vasos con látex, gomas, cristales o resinas; en la tercera se incrementa el metabolismo de las células adyacentes a la herida; y en la cuarta etapa, las células del cambium y parénquima del floema se multiplican para recubrir la lesión y las células contaminadas, desde el borde hacia el centro. Está bien establecido que las heridas más pequeñas cicatrizan con mayor facilidad [Ow et al., 2013], mientras que cortes muy grandes difícilmente cicatrizan y comúnmente se convierten en focos de pudriciones (Figura 14).

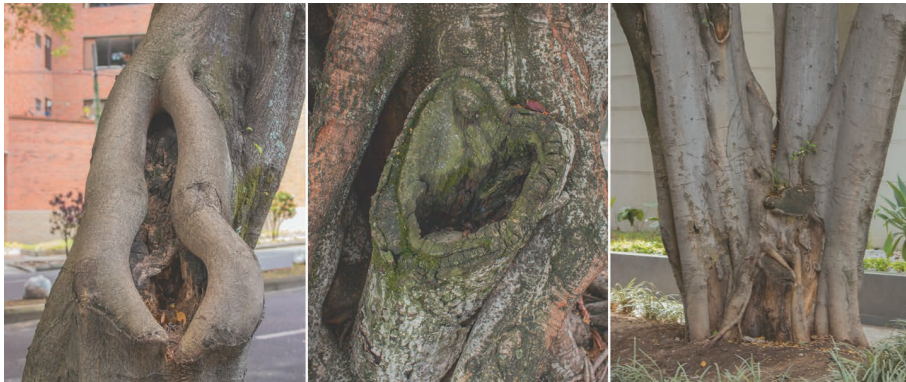


Figura 14. Daños basales, pudriciones y ausencia de cicatrización por cortes muy grandes y podas mal realizadas.

Aunque no hay consenso sobre la efectividad de la aplicación de sustancias en la zona de corte, se recomienda aplicar un protectante o desinfectante para evitar posibles infecciones en las heridas producidas, tipo caldo bordelés, de reconocida eficiencia histórica e internacionalmente. Se consigue ya preparado, o se prepara a muy bajo costo con oxiclورو de cobre más cal viva y agua, en proporción 1:2:6. Es importante tener en cuenta que solo se puede aplicar cal viva; otros tipos de cal no son solubles en agua. Se llama la atención de no aplicar formulaciones que se han vuelto populares entre algunos jardineros,

sin sustento científico, entre ellas la mezcla de acronal, aceite quemado y colbón. Aunque en algunos círculos se recomienda aplicar un cicatrizante hormonal, en la mayoría de situaciones no es necesario. Una poda realizada de forma técnica idealmente debería producir muy buena cicatrización; sin embargo, un mismo individuo puede presentar respuestas variables relacionadas con su vigor y con la época de corte.

Herramientas de poda

Se deben usar como herramientas solamente tijera podadora manual o tijerón para dos manos, serruchos, sierras fijas o plegables, podadoras de altura o motosierra. Se debe seleccionar la herramienta más apropiada de acuerdo con el tamaño y cantidad de ramas que se van a intervenir. No se debe utilizar el machete, pues puede producir cortes dispares, desgarres de corteza y a veces hasta del tejido mismo de las ramas; estos desgarres dificultan la cicatrización y generalmente provocan infecciones y pudriciones. En todos los casos, las herramientas deben ser desinfectadas antes y después de cada corte, o al menos entre árbol y árbol, con el fin de evitar la dispersión de infecciones a través del equipo utilizado. Para ello se puede usar hipoclorito de sodio al 5 % o 10 %, o agua oxigenada.

Otras recomendaciones para tener en cuenta al realizar podas

Debe delimitarse el área de trabajo alrededor del individuo que se va a podar, para lo cual se pueden emplear conos de tráfico y cintas de advertencia de peligro. Antes de iniciar la actividad se debe verificar la presencia de abejas, avispas y hormigas entre las ramas, así como nidos con polluelos; en el caso de encontrar estos últimos, deberán ser reubicados para evitar su afectación (ver métodos de ahuyentamiento y rescate de fauna en el capítulo siguiente). El personal que realice la labor debe ser certificado y usar equipo de seguridad, que comprende cinturón y arnés apropiado, casco, gafas, botas con puntera reforzada y guantes. Siempre la poda deberá ser supervisada por personal profesional experto para garantizar la calidad del procedimiento, y por tanto la supervivencia y vigor del árbol, así como la seguridad del operario, pues esta es una labor peligrosa en la cual han ocurrido accidentes graves con consecuencias nefastas. Finalmente, el manejo de los subproductos de la poda se trata en el capítulo siguiente.

5.5.3. Protección de árboles durante construcciones

Puesto que las actividades de construcción impactan negativamente al arbolado, se deben considerar medidas antes, durante y después, con el fin de proteger los árboles.

Antes de la construcción: para evitar o minimizar el daño, mitigar el riesgo y proteger la salud del arbolado en un sitio de construcción, deben identificarse con antelación los impactos potenciales de las actividades de construcción sobre los árboles. La planeación avanzada puede salvar muchos árboles y minimizar los riesgos asociados durante y después de la construcción (Johnson et al. 2003; Johnson, 2011). EPM-UNE & Universidad Nacional (2012) recomiendan que en esta etapa se diseñe un plan de protección del paisaje antes de que comience la obra; este plan consta fundamentalmente de tres componentes:

- 🌿 Demarcación de los límites de construcción de la zona: incluye las zonas donde se utilizará maquinaria pesada, sitios y profundidad donde habrá movimiento de suelos y donde se almacenarán los materiales. También es importante acopiar información completa sobre la ubicación de edificios, aceras, redes de servicios públicos subterráneos y otra infraestructura, así como de planes y proyectos de desarrollo del sitio.
- 🌿 Inventario de árboles: comprende el levantamiento de información como: ubicación, tamaño y salud de cada árbol, así como cualquier síntoma de estrés o enfermedad. Se debe poner especial atención a los árboles maduros, pues podrían presentar mayores problemas.
- 🌿 Selección de individuos que serán protegidos: examinar cuidadosamente el sitio y evaluar cómo cada árbol encaja en el paisaje futuro. Considerar la posibilidad de cambiar la ubicación de algún elemento constructivo (por ejemplo, una red) en caso de que sea necesario (por ejemplo, si la obra implica un daño considerable al sistema de raíces de los árboles). Johnson et al. (2003) sugieren proteger los árboles saludables y estructuralmente bien conformados (salvar lo mejor). La evaluación detallada de los individuos existentes antes de la construcción permitirá determinar cuáles conservar, trasplantar o talar. Se deben tener en cuenta la especie, tamaño, edad y condición. Así mismo, es recomendable tomar varias fotografías de cada árbol para documentar su estado antes de que comiencen las obras. Aunque los juveniles tienen una expectativa de vida

más larga que los árboles adultos, si estos últimos están saludables, bien vale la pena realizar esfuerzos por su protección y conservación.

Durante la construcción: se deben delimitar y aislar áreas de retiro para evitar el daño de ramas o raíces; como se indicó antes, las obras se deben realizar lo más lejos posible del árbol. Se recomienda dejar un retiro que se conoce con el nombre de “zona crítica de raíces” (el área que debería ser protegida durante la construcción para minimizar los impactos sobre el árbol) (City of Pacific Grove, 2012); aunque el tamaño recomendado de tal retiro puede variar según el país, acá se sugiere dejar por lo menos 10 cm por cada cm de diámetro del fuste. Así por ejemplo, si un árbol tiene 30 cm de diámetro, el área de intervención debería estar localizada a una distancia mínima de 3 m del árbol (Figura 15). El propósito es proteger los árboles de lesiones directas y su integridad estructural, y en general proteger la salud global de los árboles durante la construcción (City of Alexandria, 2010).

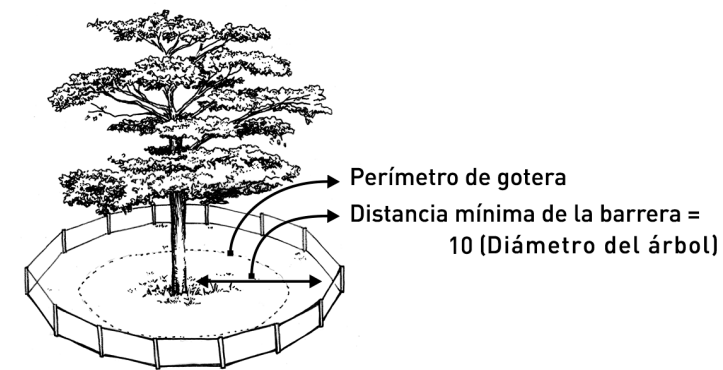


Figura 15. Zona crítica de raíces o área de retiro que se debe delimitar y aislar para evitar el daño de ramas o raíces durante cualquier proceso constructivo.

Se deben tomar medidas para minimizar daños en las raíces de los árboles durante las construcciones, sobre todo cuando hay alto flujo de personas y equipos, como la elaboración de plataformas y puentes para tránsito peatonal y de materiales, con algunos apoyos puntuales sobre el suelo (estas estructuras evitan la compactación del terreno y el impacto directo sobre los sistemas radicales de los árboles, que suelen estar concentrados en la capa superior del suelo). De forma similar, las redes de acueducto, alcantarillado u otros servicios pueden pasar por un pequeño túnel

Se deben tomar medidas para minimizar daños en las raíces de los árboles durante las construcciones

bajo el árbol (Figura 16). EPM-UNE & Universidad Nacional (2012) plantean que un contrato de protección del paisaje firmado por los contratistas ayudaría a cumplir con la protección efectiva de los árboles durante la construcción. Así mismo, es conveniente realizar visitas periódicas para inspeccionar y documentar (incluso con fotografías) que este contrato se esté cumpliendo y que los árboles están siendo protegidos de manera efectiva.

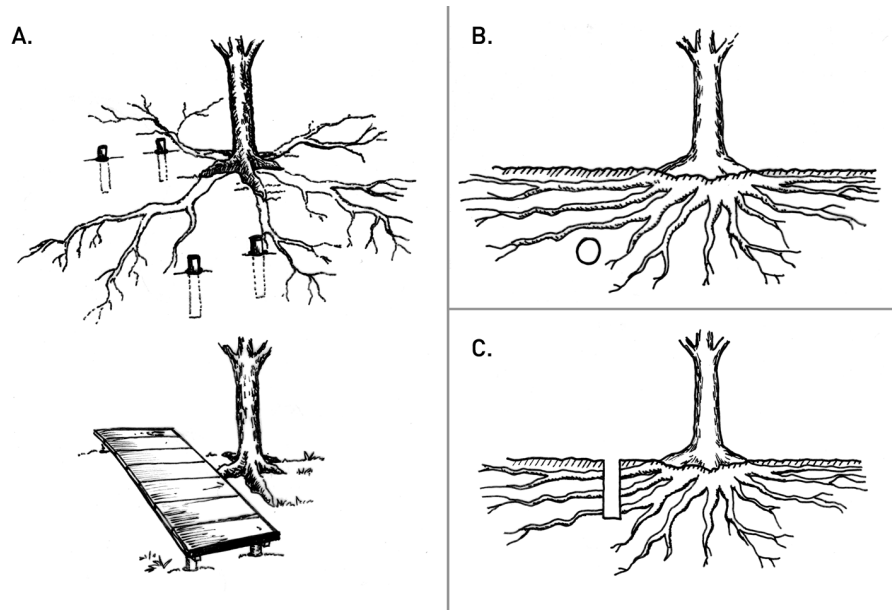


Figura 16.

Alternativas para protección de raíces durante construcciones.

A. Plataformas para tránsito peatonal y de materiales con apoyos puntuales sobre el suelo. B. Pequeños túneles para el paso de redes subterráneas reducen daños sobre las raíces. C. Zanjas cavadas en el área de crecimiento de raíces son altamente perjudiciales y deberían evitarse.

Después de la construcción: luego de terminada la construcción, se debe evaluar el estado de los árboles y buscar evidencias de estrés y daños (lo cuales a veces son difíciles de detectar, pues los síntomas pueden tardar años en aparecer). Las ramas reventadas deben podarse y cicatrizar; los desprendimientos de corteza por golpes se deben pulir para facilitar la cicatrización; además, se deberá aplicar riego periódico y fertilizantes ricos en fósforo y potasio para que se recuperen las raíces.

5.5.4. Intervenciones sobre las raíces

Las raíces son los órganos encargados de brindar anclaje y de absorber agua y nutrientes, requeridos para los procesos metabólicos del árbol; además sirven como órganos de almacenamiento. Según se explicó en el capítulo 3, las raíces también necesitan oxígeno en cantidad suficiente para su respiración. Por ello, es importante que el sitio de crecimiento supla estos requerimientos, es decir, agua, oxígeno y nutrientes en cantidad suficiente, así como un sustrato que brinde un soporte adecuado y facilite su crecimiento y anclaje. Por ello, cualquier intervención o evento que altere o interfiera con el crecimiento y desarrollo de las raíces genera un riesgo para la estabilidad y salud del árbol. Quizás el peor daño que se puede ocasionar a un árbol es el que se hace al sistema radical; por ello, la protección de las raíces durante los procesos constructivos es de la mayor importancia (City of Alexandria, 2010; City of Pacific Grove, 2012).

En ocasiones se presentan intervenciones a los árboles que dañan las raíces por compactación de suelo, vertimiento de sustancias, acumulación de escombros, golpes y otras lesiones; estas intervenciones afectan las raíces porque producen resistencia mecánica en el suelo que impide su crecimiento, desprendimiento de la corteza y mutilaciones que disminuyen su masa, o que producen heridas por donde penetran enfermedades y plagas.


En sitios de construcción, donde probablemente será necesario intervenir las raíces de los árboles, se recomienda seguir los lineamientos presentados en el numeral anterior (antes, durante y después de la construcción). No obstante, cuando las raíces están involucradas, el inventario de árboles debe incluir una exploración preliminar para ver cuáles son las condiciones existentes, evaluar las posibles afectaciones al sistema radical y definir las intervenciones que causen el mínimo impacto. Tal exploración debe realizarse con cuidado, mediante la excavación manual. Si hay muchas raíces, es posible que su poda produzca un gran deterioro del árbol luego de la intervención.

Como punto de partida, debe tenerse en cuenta que en un árbol adulto las raíces se pueden extender 1,5 veces el diámetro de la copa, con variaciones según las especies y el terreno; así mismo, en las áreas urbanas, cerca del 80 % de la raíces se pueden concentrar en los primeros 20-30 cm de suelo. Por esta razón, cualquier alteración o intervención dentro de este espacio debe evitarse.

EPM-UNE & Universidad Nacional (2012) analizan los factores asociados con los daños en los sistemas radicales de los árboles


Cualquier intervención o evento que altere o interfiera con el crecimiento y desarrollo de las raíces genera un riesgo para la estabilidad y salud del árbol

durante las actividades de mantenimiento, reposición y expansión de redes de servicios públicos subterráneos, los cuales también pueden ser aplicables para otros procesos constructivos. A continuación se describen brevemente los siguientes factores: daños mecánicos, compactación del suelo, sofocamiento de raíces, volcamientos y disminución en el nivel del terreno cerca al árbol, y se presentan lineamientos generales de manejo.


 **Daños mecánicos:** es posible que durante la excavación y desarrollo de muchos proyectos constructivos se corte una proporción importante de las raíces de muchos árboles. El grado de daño que un árbol puede sufrir por pérdida de la raíz depende en parte de qué tan cerca a la base del árbol se hace el corte. Cuando las raíces se podan y el árbol se confina en un espacio reducido para la construcción de aceras o pasos peatonales, es común que se produzca inestabilidad y deterioro del árbol. Se ha establecido que la probabilidad de muerte de los árboles aumenta a medida que disminuye la amplitud de la zona de enraizamiento; así mismo, los árboles tienen mayor probabilidad de morir prematuramente después de la construcción de obras civiles que impactan significativamente el sistema de raíces [Koeser et al., 2013]. Con frecuencia, un árbol dañado sobrevive varios años después de terminada la intervención y luego muere lentamente; sin embargo, para el momento de la muerte, el agente causal suele ser mal identificado, debido a que los daños causados por la intervención ya han sido olvidados [EPM-UNE & Universidad Nacional, 2012]. Por ello, es de gran importancia la supervisión detallada del manejo y medidas de protección de las raíces durante la construcción.

Las raíces de los árboles existentes se deben podar antes de que comience la obra, con el propósito de preparar el árbol para resistir su impacto. Una vez realizada la poda, tanto el espacio dentro del cilindro de raíces remanentes como por fuera del mismo debe llenarse con sustrato apropiado (textura franca, alta porosidad, rico en nutrientes, adecuada humedad, etc.), de manera que se facilite el crecimiento de raíces hacia el exterior del área donde se hizo la poda; tal espacio debe además permitir el buen drenaje (nunca el suelo alrededor del árbol podado se debe compactar, porque la compactación impedirá el crecimiento y desarrollo de raíces). El procedimiento recomendado permitirá que las nuevas raíces se produzcan con rapidez y por tanto que el árbol se recupere en corto tiempo.

De manera similar a las podas de ramas, los cortes de raíces deben ser limpios y realizados con una herramienta afilada y desinfectada. No se recomienda realizar corte de raíces con equipo pesado o con palas, pues pueden producir daños y rasgaduras que generan pudriciones; además, el crecimiento de nuevas raíces ocurre justo detrás del sitio donde se hizo un corte limpio, mientras que detrás de una rasgadura se suele presentar necrosis en longitudes variables.

 **Compactación de suelo:** como se indicó en el capítulo 3, el volumen de espacio poroso ideal para el crecimiento adecuado de las raíces debe ser al menos del 50 %, el cual debe estar ocupado por agua y aire. El equipo pesado que se usa en la construcción, así como el tráfico excesivo de personas y materiales producen compactación del suelo; esta disminuye el oxígeno y la entrada de agua, y genera resistencia al desarrollo de la raíz. La compactación del suelo probablemente es la principal causa de muerte de los árboles urbanos durante construcciones [Johnson, 2011]. Entre las medidas para evitar la compactación del suelo están las plataformas de tránsito peatonal y de materiales descritas en el numeral anterior, así como la adición al suelo, alrededor de los árboles en la zona de construcción, de material poroso que amortigüe posibles daños o accidentes, como subproductos de talas y podas (biológicamente inocuos).

Por fortuna, se vienen desarrollando esfuerzos por desarrollar métodos de construcción sostenibles y más amigables con los árboles; por ejemplo, se han propuesto varias alternativas para facilitar el crecimiento y desarrollo de las raíces en sitios de construcción de aceras y otra infraestructura urbana; entre ellas están la instalación de losas flotantes en cercanías de los árboles, con orificios para la penetración de agua e intercambio de gases sobre suelo no compactado.

 **Sofocamiento de las raíces por llenado con suelo:** amontonar suelo en la superficie alrededor del árbol puede producir asfixia en sus raíces; por ello, en algunos casos basta adicionar unos cuantos centímetros de suelo para matar un árbol maduro. Cuando se realiza un lleno sobre el área de crecimiento de las raíces, se dificulta la entrada de oxígeno, la salida de CO² y la infiltración del agua. En consecuencia, un lleno aparentemente pequeño, por ejemplo de 15 cm de profundidad sobre las raíces, puede ser mortal para algunas especies; más grave aún es taponar

el cuello de la raíz y la parte basal del tronco del árbol. Por esto, los llenos deben evitarse en la medida de lo posible.

Es común que se construyan jardineras alrededor de árboles muy grandes, representativos o singularmente valiosos, lo que requiere de poda drástica de raíces, pues el espacio disponible suele ser pequeño. Además, la jardinera se suele llenar con tierra alrededor del fuste, con las consecuencias mencionadas en el párrafo anterior. Esta intervención desencadena un proceso de deterioro que avanza a medida que las raíces mueren de manera paulatina. Por ello, no se recomienda la construcción de jardineras alrededor de los árboles. No obstante, si los llenos son necesarios, se recomienda colocar una capa de cantos rodados alrededor del árbol hasta la altura deseada y perforar canales de aireación. Tales canales se pueden construir con tubos de PVC de 5 a 10 cm de diámetro y 30 cm de profundidad, alrededor del fuste, separados 90 cm, como se muestra en la Figura 17; para evitar que queden expuestos se recomienda llenarlos con astillas de madera y piedras.



Figura 17. Perforaciones alrededor del sistema radicular para permitir entrada de oxígeno y salida de CO_2 .

Otra forma de airear el suelo es con zanjas de 10 cm de ancho y 30 cm de profundidad, extendidas radialmente en toda la zona de raíces, con el fuste como centro, similar a los radios de una rueda, hasta la proyección de la copa en el suelo (Figura 18). Estos canales deben estar separados por lo menos 20 cm de la base del tronco; durante su

excavación se debe evitar el corte de las raíces principales de soporte que se encuentren. Una vez construidos, es conveniente llenarlos con partículas de madera o piedra.

🌿 **Volcamientos:** las intervenciones en la zona subterránea por cualquiera de las causales mencionadas atrás pueden ocasionar severas alteraciones al sistema de anclaje de los árboles que los hacen más susceptibles a volcamiento, ya sea por eventos climáticos extremos como tormentas, lluvias y vientos fuertes, o incluso sin que exista una causa aparente. Para disminuir el riesgo de volcamiento, se debe minimizar la intervención sobre las raíces y evitar podas que produzcan desequilibrios estructurales.

🌿 **Disminución en el nivel del terreno cerca al árbol:** es otra intervención altamente dañina para los árboles de la ciudad, pues elimina tanto las raíces como el suelo donde se concentran la mayoría de estas, por lo cual debe evitarse. En caso de ser estrictamente necesario bajar el nivel del terreno alrededor del árbol, se recomienda conservar al menos la proyección de la copa del árbol adulto (zona de goteo). Sin embargo, si es necesario hacer eliminación lateral de raíces, se recomienda dejar al menos un retiro de tres veces el diámetro del árbol adulto, con el fin de conservar parte de las raíces de anclaje, lo cual busca evitar que el árbol pierda estabilidad y se pueda volcar.



Figura 18. Zanjas radiales alrededor de un árbol para mejorar la entrada de oxígeno y salida de CO_2 .

5.6. MANEJO DE ÁRBOLES DETERIORADOS Y ENFERMOS

De manera similar a lo planteado para la gestión del riesgo, el manejo efectivo de los problemas de salud del bosque urbano depende de su detección temprana. La identificación y localización de los árboles que presentan síntomas de deterioro es el paso fundamental para su tratamiento. Estos árboles deberán ser marcados y tratados según los protocolos que se establezcan en el plan de manejo del bosque urbano, para lo cual se dan algunas directrices en la presente guía. Puesto que los síntomas frecuentemente constituyen la única evidencia disponible para el diagnóstico, es de gran importancia su reconocimiento e interpretación (Boa, 2008).

La identificación temprana de los individuos deteriorados y enfermos debe ocurrir durante el monitoreo periódico del arbolado. Se recomienda que los formularios diseñados para este monitoreo tengan casillas donde se registre información relacionada con la salud de los árboles; por ejemplo, se deben consignar datos de evidencias de deterioro progresivo y su severidad (leve, moderado, fuerte), síntomas de deficiencias nutricionales, infestación de plantas epífitas o parásitas, evidencias de plagas y enfermedades, o árboles con problemas estructurales graves que puedan requerir algún refuerzo, entre otros. Así mismo, el personal que trabaja directamente en la evaluación inicial de la salud de los árboles y en el reconocimiento e interpretación de los síntomas de enfermedad o deterioro, debe tener las habilidades visuales necesarias para ese trabajo y, en consecuencia, deberá recibir capacitación.

A pesar de que hoy existen excelentes guías para el reconocimiento e interpretación de síntomas de daños y enfermedades, como la de Boa (2008), pueden presentarse dificultades para interpretar la amplia gama de síntomas. Por ejemplo, es posible que los árboles presenten pérdida masiva de hojas, lo que puede ser una característica de la especie, la respuesta a una sequía severa o producto del ataque de plagas o enfermedades (por ejemplo, presencia masiva de insectos que chupan savia, comen hojas o perforan las ramas, o de hojas cubiertas con hongos).

Frecuentemente se asume que los problemas de salud de los árboles son causados por insectos, porque estos son fáciles de encontrar en los árboles y también porque a menudo no se conocen las causas alternativas de la mala salud. Sin embargo, la determinación de la causa puede ser difícil cuando no se encuentra evidencia física de la presencia del insecto o patógeno. Por ejemplo, la identificación de deficiencias nutricionales con

base en síntomas u observaciones visuales puede ser frustrante e inadecuada, ya que otros factores diferentes pueden manifestar síntomas similares.

Es común que las deficiencias nutricionales se determinen con base en síntomas de las hojas (como amarillamientos, punteaduras, marchitez, enroscamientos o deformidades) distribuidos uniformemente dentro de las ramas del árbol, entre las hojas y dentro de ellas (Zöttl & Tschinkel, 1971); mientras que el ataque de plagas generalmente no presenta tal uniformidad. No obstante, síntomas similares se pueden asociar con problemas de toxicidades, contaminación del aire u otras causas. Otros síntomas anormales son el secamiento de ramas jóvenes y yemas terminales sin que exista una causa biótica o abiótica aparente (Ramírez, 1994, 2009).

A veces el agente puede ser fácilmente identificado; en otros casos puede ser necesaria una evaluación más profunda, como un análisis químico foliar complementado con análisis químico de suelos completo, incluyendo azufre para descartar desórdenes nutricionales, o la evaluación del interior del tronco y el sistema radical mediante equipos de radar, tomografía y resistografía mencionados en el numeral 5.2, los cuales se han usado en otras ciudades del mundo, como Hong Kong (Yan, 2006). Se recomienda que cada uno de los ejemplares afectados sea evaluado individualmente y, con base en tal evaluación, se dé un diagnóstico acerca de sus posibilidades de supervivencia, tratamiento o eliminación.

Por lo anterior, el adecuado diagnóstico y tratamiento de los árboles deteriorados y enfermos puede revestir gran complejidad. En consecuencia, una vez identificados y marcados los individuos con este tipo de problemas por el personal que realiza el monitoreo preventivo, deben ser objeto de una evaluación más profunda y detallada por personal especializado, el cual deberá definir el manejo que se les dará. Para facilitar su labor, se recomienda profundizar la investigación local, de tal manera que se tipifiquen categorías de daño y se avance en el desarrollo de protocolos y estándares de manejo con base en los problemas del arbolado de nuestras ciudades.

En síntesis, el manejo exitoso de la salud del bosque urbano requiere capacidad para desplegar una acción inmediata dirigida a corregir y prevenir eventuales problemas; por ejemplo, contar con brigadas de emergencia arbórea o equipos de reacción inmediata para el tratamiento de árboles en riesgo inminente. Así mismo, se requiere capacidad para prescribir, aplicar y evaluar tratamientos efectivos que conduzcan a recuperar la salud de los árboles. Lograrlo implica contar con la capacidad institucional (personal idóneo y disponible), conocimiento (mediante investi-

El manejo efectivo de los problemas de salud del bosque urbano depende de su detección temprana

El manejo exitoso de la salud del bosque urbano requiere capacidad para desplegar una acción inmediata dirigida a corregir y prevenir eventuales problemas

gación y su adecuada transferencia en estándares, protocolos y manuales), infraestructura técnica (equipamiento e insumos) y logística (transporte y herramientas). En las secciones que siguen se discuten brevemente los tratamientos para tres situaciones de deterioro, comunes en el arbolado urbano: infestación por epífitas y parásitas, árboles con síntomas de deterioro progresivo y árboles con defectos estructurales que requieren aplicación de refuerzos.

5.6.1. Eliminación de plantas epífitas o parásitas

Las plantas epífitas son aquellas que crecen sobre el fuste o ramas del árbol, pero no se alimentan directamente a expensas de este; sin embargo, su proliferación puede facilitar las condiciones para que los individuos se deterioren, pues reducen la cantidad de luz que llega al follaje, acumulan agua, polvo y detritos que afectan el intercambio gaseoso y crean microambientes propicios para el ataque de hongos e insectos. De este tipo de plantas, las más conocidas son la llamada melena o barbas de viejo (*Tillandsia usneoides*), que puede llegar a matar al hospedero, así como *T. recurvata*, bromelias, orquídeas, musgos, algunos helechos y la *Rhipsalis cassytha* de la familia Cactaceae. Las plantas epífitas se pueden eliminar manualmente, mediante desprendimiento de la rama o tronco, sin ocasionar heridas.

Por su parte, las parásitas viven a expensas de su hospedero; los síntomas más conspicuos son invasión parcial o total del follaje, mal estado general, lento crecimiento, muerte de ramas y formación de agallas y tumores; de llegar a ser muy abundantes, conducen a la muerte del árbol; de estas son especialmente críticas la familia Loranthaceae, con las denominadas golondrinas, de los géneros *Aetanthus*, *Phoradendron*, *Struthanthus* y *Psittacanthus* y de la familia Moraceae, algunas especies del género *Ficus* como el *F. dendrocida*. Para eliminar las plantas parásitas, al tener órganos que invaden y penetran los tejidos del hospedero, se corta la rama. El empleo de chorros de agua a presión para eliminar plantas epífitas, polvo y partículas en el follaje e insectos ha mostrado alguna efectividad, pero tiene limitaciones en puntos de difícil acceso como la parte superior de las ramas.

5.6.2. Aplicación de tratamientos en árboles con síntomas de deterioro progresivo

Las investigaciones que hemos desarrollado en los últimos años en el Valle de Aburrá han permitido avanzar en la comprensión del complejo fenómeno del deterioro progresivo (DP). Debido a la carencia de antecedentes sobre el tratamiento para revertir este síndrome, se inició un estudio piloto en el año 2013 con el

fin de evaluar el efecto combinado de un tratamiento general (consistente en podas fitosanitarias y aplicación de fertilizantes y riego) a una muestra de árboles afectados, así como tratamientos específicos (consistentes en la aplicación de fungicidas e insecticidas sistémicos). Con el tratamiento general se busca disminuir el estrés hídrico, mejorar el estado fisiológico y nutricional del árbol, y eliminar los tejidos muertos o en proceso de pudrición que pueden actuar como focos de diseminación de insectos y patógenos.

Con los tratamientos específicos se aplicó al suelo una mezcla de diferentes especies de hongos antagonistas: *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. koningii* y *T. viridae*), los cuales inhiben el crecimiento y desarrollo de hongos fitopatógenos del suelo. El hongo antagonista *Trichoderma* sp. utiliza distintos mecanismos de acción como rápido crecimiento y competencia por nutrientes y espacio, producción de antibióticos, parasitismo sobre el micelio de hongos fitopatógenos y estimulación de los mecanismos de defensa de las plantas. También participa en el ciclaje de nutrientes y compostaje debido a que puede descomponer la materia orgánica; es ampliamente utilizado en el control biológico de microorganismos fitopatógenos como *Mycosphaerella* sp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* sp., *Phytophthora* sp., *Phytium* sp., *Sclerotinia* sp., *Botrytis cinerea* y otros hongos causantes de *damping-off* (SAFER, 2015).

Otro tratamiento específico consistió en la inyección intracambium en la base del árbol de un fungicida y un insecticida sistémico. Estos productos atacan insectos en diferentes etapas de desarrollo y actúan sobre huevos de ácaros y hongos fitopatógenos superficiales. Permiten la acumulación del producto sobre el follaje, lo cual genera un efecto repelente o disuasor contra la alimentación y la oviposición de insectos y previenen la entrada de hongos (como *Mildeo* y *Royal*), además de otros efectos benéficos.

Esta línea de trabajo tiene gran potencial y es novedosa, ya que después de una exhaustiva revisión de literatura no se encontraron experiencias de investigaciones previas realizadas en árboles urbanos con el propósito de revertir el deterioro progresivo. No obstante, los resultados obtenidos hasta el presente son preliminares, pues solo se realizó una aplicación en el año 2013, la cual se repitió en el 2015. Por ello, aún no existe información para evaluar la eficacia de la aplicación repetida de estos tratamientos. Identificar y evaluar la efectividad de tratamientos dirigidos a controlar el deterioro progresivo del arbolado requiere investigación continua y de largo plazo.

Con lo que se sabe hasta el presente, la prescripción de podas sanitarias, fertilizaciones, riegos periódicos (en caso de que se tenga evidencia de asociación del deterioro con la sequía), así

como la aplicación de microorganismos antagónicos y fungicidas e insecticidas sistémicos parecen opciones con gran potencial. No obstante, aún no hay evidencia suficiente para recomendar uno u otro tratamiento, por lo cual el manejo específico de estos casos debe quedar en manos de especialistas, cuyas recomendaciones deben producirse de manera individual, después de analizar las particularidades de cada caso.

5.6.3. Refuerzos estructurales de árboles

Esta sección se basa en las recomendaciones de la Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA, 2015), Morales & Varón (2006) y MacKenzie, Dunlap, Spears, & O'Brien (2003). Cuando un árbol acumula defectos que exceden un cierto nivel, se convierte en un riesgo inaceptable y debe ser corregido o removido. La poda, el cableado o los refuerzos pueden corregir muchos defectos que representan riesgo. La aplicación de cableado y refuerzos suele ser un último recurso para evitar la remoción y reemplazo del árbol. No obstante, el uso de estas técnicas para corregir árboles defectuosos es tan importante, controversial y complejo desde el punto de vista técnico, que es imprescindible que los tratamientos sean realizados por personal altamente calificado y con herramientas e implementos apropiados.

Como punto de partida, el cableado y la aplicación de refuerzos como tratamiento para árboles en riesgo solo se recomienda en árboles con valor histórico, ecológico o paisajístico significativo. La aplicación de estos tratamientos no debería tomarse a la ligera, pues es críticamente importante que tales procedimientos se hagan correctamente, para lo cual se requiere tomar decisiones bien informadas, así como desarrollar protocolos apropiados de manejo del riesgo.

La instalación de cables y refuerzos es la práctica de adicionar un sistema de soporte a un árbol para reducir la tensión sobre uniones débiles de ramas. Se usan para evitar que se revienten ramas o troncos con bifurcaciones débiles por factores como tormentas, vientos o exceso de peso en el follaje. También sirven para restaurar árboles con daños; por ejemplo, cuando se revienta alguna rama accidentalmente y las demás quedan descompensadas, o cuando una unión débil se abre. Así mismo, muchos árboles tienen uniones de ramas en un ángulo demasiado agudo, en forma de V, con corteza incluida que actúa como una cuña que debilita y separa la unión.

Una situación similar ocurre cuando dos fustes de igual tamaño se forman después de la pérdida del tallo principal (de ahí la importancia de realizar podas de formación en edades tempranas).

Puesto que la corteza de cada uno de los dos tallos presiona contra la otra, las dos ramas líderes no tienen una conexión fuerte al tallo principal. Por ello, a medida que el árbol crece, estos defectos estructurales aumentan, lo cual puede conducir a que uno de los dos tallos colapse. La adición de un cable o refuerzo apropiadamente instalado reducirá la tensión en la unión de la rama y extenderá la vida del árbol. El cableado y refuerzo también puede usarse para corregir otros problemas en árboles con arquitectura pobre, algunos de ellos originados por podas mal realizadas (por ejemplo, podas excesivas).

Este tipo de ayudas se debe instalar solo en ramas que puedan soportar el esfuerzo realizado. Algunos árboles se beneficiarán de la remoción de peso en las ramas antes de la instalación de los cables y refuerzos. En consecuencia, se recomienda hacer todas las podas necesarias antes del cableado del árbol. Debe tenerse en cuenta que remover las principales ramas laterales crea grandes heridas que pueden conducir a la pudrición del tallo principal. Si se encuentra que es necesaria la reducción de peso, lo más apropiado es tal vez una reducción ligera de la copa mediante una poda de aclareo. Debe sopesarse el posible daño de podar excesivamente un árbol para remover una cantidad significativa de peso; en la mayoría de los casos, solo será necesaria una poda de rutina para remover ramas muertas.

Una vez concluida la corrección de defectos mediante cableado y refuerzos, debe realizarse monitoreo y mantenimiento de manera regular. No realizar inspecciones regulares cada año y no corregir cualquier problema que pueda surgir (por ejemplo, reemplazo de las estructuras instaladas cuando se juzgue la existencia de riesgo), puede indicar negligencia, con graves consecuencias en caso de ocurrir algún accidente (MacKenzie et al., 2003).

Los cables de acero para reforzar ramas con uniones débiles, troncos múltiples o bifurcaciones estrechas pueden instalarse en varias formas, de las cuales las más comunes son la directa, la triangular, en polígono y radial (Figura 19). Los cables se ubican al menos a dos tercios de la distancia entre el punto débil y la longitud de la rama. La perforación para instalar el perno o varilla no debe ser mayor a 1/6 del diámetro de la rama. Se sugiere que la perforación sea en un solo sentido, que atraviese la rama en su totalidad y que el ángulo entre la rama ascendente y el cable sea de 45° para proporcionar el mejor efecto de palanca y soporte.

Las varillas de acero son refuerzos rígidos, que atraviesan las ramas o el tronco en el punto débil o cerca de él y se fijan con arandelas y tuercas. Las varillas solas tienen poco efecto y deben combinarse con los cables para un refuerzo efectivo. En una bifurcación estrecha que aún no se ha reventado, el mejor refuerzo se

La aplicación de cableado y refuerzos suele ser un último recurso para evitar la remoción y reemplazo del árbol

Una vez concluida la corrección de defectos mediante cableado y refuerzos, debe realizarse monitoreo y mantenimiento de manera regular

consigue al colocar la varilla arriba del punto débil a una distancia equivalente a una o dos veces el diámetro de la rama, además de otras varillas dispuestas de varias formas (Figura 20). Si se trata de dos ramas con diámetros muy diferentes, se recomienda perforar completamente la rama más delgada y la gruesa solo hasta la mitad.

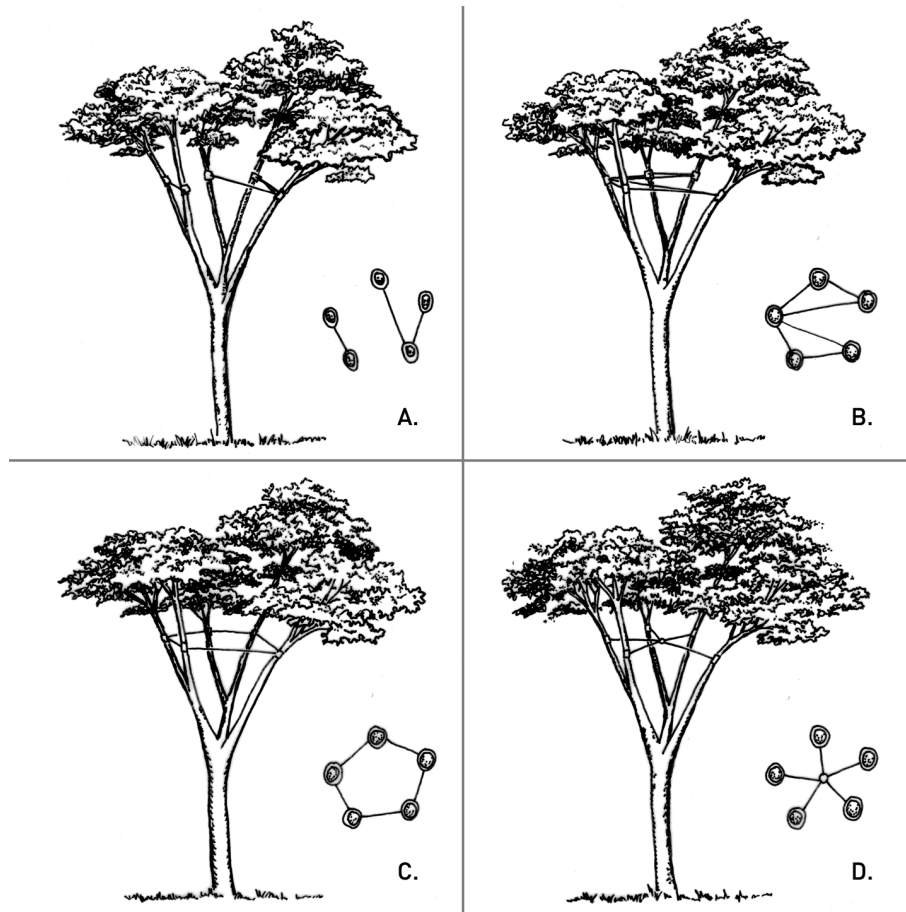


Figura 19.

Principales tipos de amarre con cables.

A. El amarre directo consiste en unir dos partes del árbol, por ejemplo dos ramas, dos troncos o una rama y un tronco

B. En el amarre triangular se unen las partes del árbol en combinaciones de tres. Es un sistema ideal cuando se requiere un soporte fuerte.

C. Los amarres en polígono unen cuatro o más partes del árbol. Este sistema se recomienda cuando se requiere un soporte directo mínimo.

D. En el sistema radial hay un punto de amarre central al cual se unen los tres o más radios. Se recomienda cuando no es posible utilizar otros métodos.

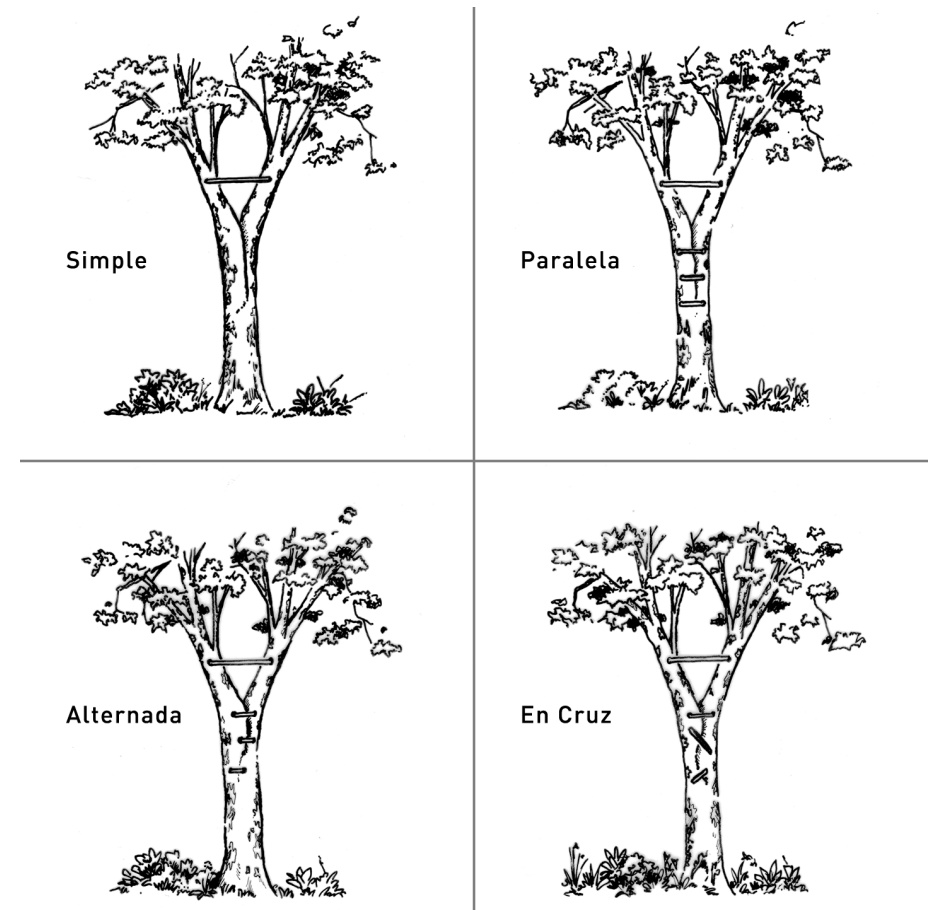


Figura 20.

Diferentes formas de instalación de varillas.

5.7. SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES

El bosque urbano ofrece múltiples funciones ambientales, entre las cuales se destacan la remoción de contaminantes atmosféricos, la regulación microclimática, la oferta de hábitat y alimento para la fauna silvestre y el mejoramiento paisajístico. Estos beneficios redundan en la calidad de vida de la población en tanto mejoran su salud física y mental. Sin embargo, si los árboles y su vegetación asociada se encuentran en estado de deterioro, bien sea por problemas fitosanitarios o mecánicos, no solo dejarán de

La participación activa y concertada de los diferentes actores que intervienen la vegetación urbana es un requisito fundamental para garantizar el éxito de las acciones encaminadas a la protección y mantenimiento del bosque urbano.

cumplir su función, sino que pueden representar un riesgo para las personas y los bienes materiales.

Con el fin de mantener la salud y vigor del bosque urbano en el largo plazo, se recomienda que cada ente territorial o municipio diseñe e implemente un plan de manejo integral que responda a una visión y en el que se definan unos objetivos y metas por cumplir en diferentes lapsos, para lo cual es necesario contar con una estructura institucional apropiada, así como con los recursos humanos, físicos, tecnológicos y financieros necesarios. El plan debe incluir todas aquellas labores de mantenimiento preventivo y de control, las cuales se deberán realizar por personal idóneo y capacitado. La definición de tales actividades y, por tanto, la calidad del plan descansa en el monitoreo periódico del bosque urbano, especialmente de los árboles con síntomas de deterioro o en riesgo. Se recomienda hacer una evaluación periódica del plan de manejo, la cual permitirá identificar los logros y las acciones correctivas que deberán implementarse.

En esta guía se presentan unos criterios y lineamientos técnicos generales para la realización de las labores de manejo del arbolado; no obstante, es necesario avanzar en la definición precisa de estándares, con el objeto de evitar errores, optimizar el manejo del bosque urbano y facilitar la supervisión de las labores realizadas. El desarrollo de tales estándares demandará investigación, innovación y adaptación de tecnología de manera continua, persistente y de largo plazo.

La participación activa y concertada de los diferentes actores que intervienen la vegetación urbana, entes encargados de su manejo, empresas prestadoras de servicios públicos, desarrolladores de proyectos y la comunidad es un requisito fundamental para garantizar el éxito de las acciones encaminadas a la protección y mantenimiento del bosque urbano.

5.8. REFERENCIAS

- Albers, J. S., Pokorny, J. D., & Johnson, G. R. (2003). How to Detect and Assess Hazardous Defects in Trees. En J. Pokorny et al. (Eds.), *Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation* (pp. 41-116.). St. Paul, MN: USDA Forest Service, Northeastern Area.
- Alcaldía de Medellín. (2011). *Árboles nativos y ciudad, aportes a la silvicultura urbana de Medellín*. Secretaría del Medio Ambiente, Fondo Editorial Jardín Botánico de Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Consultoría Colombiana - CONCOL, & Arredondo y Madrid - AIM. (2007). *Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/ZonasVerdes/Paginas/Publicaciones.aspx>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional. (2007). *Intervención del componente arbóreo que presenta un riesgo inminente para la comunidad en los municipios de Sabaneta, la Estrella, Girardota y Copacabana*. Informe final. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia (2014). *Aunar esfuerzos técnicos y económicos para el desarrollo e implementación de un plan de manejo integral para el arbolado urbano del Valle de Aburrá con énfasis en intervenciones para el control de la muerte súbita*. Convenio 471 de 2012. Medellín.
- Boa, E. (2008). *Guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles. Reconocimiento e interpretación de síntomas y daños*. San Salvador: FAO.
- City of Alexandria. (2010). *Alexandria Manual of Urban Forestry Standards*. Recuperado de: https://www.academia.edu/1349641/Alexandria_Manual_of_Urban_Forestry_Standards. (Consultado el 10 de abril de 2015).
- City of Pacific Grove. (2012). *Urban Forestry Standards*. Recuperado de <http://www.ci.pg.ca.us/modules/showdocument.aspx?documentid=3422>. (Consultado el 10 de abril de 2015).
- City of Seattle. (2007). *Urban Forest Management Plan*. Recuperado de <http://www.seattle.gov/trees/management.htm>. (Consultado el 10 de abril de 2015).
- City of Sidney. (2013). *Tree Management Policy*. Recuperado de <http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/live/trees/urban-forest/tree-policies>. (Consultado el 10 de abril de 2015).
- City of Toronto. (2013). *Sustaining & Expanding the Urban Forest. Toronto's Strategic Forest Management Plan*. City of Toronto, Parks, Forestry and Recreation Division.
- City of Burlington. (2010). *Urban Forest Management Plan 2011-2030*. Recuperado de <http://cms.burlington.ca/AssetFactory.aspx?did=15736>. (Consultado el 10 de abril de 2015).
- Dunster, J., Smiley, T., Matheny, N. & Lilly, S. (2013). *Tree risk assessment manual*. s.l.: International Society of Arboriculture.
- Empresas Públicas de Medellín, UNE, & Universidad Nacional de Colombia (2012). *Segunda fase del plan de manejo del componente arbóreo (PMCA fase II), en los corredores de distribución de servicios de transmisión y distribución de energía, de conducción de agua potable y alcantarillado de EPM E.S.P.; y de las líneas de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) de UNE EPM Telecomunicaciones S.A., ubicadas dentro de las zonas urbanas de los municipios del Valle de Aburrá*. Medellín: Empresas Públicas de Medellín

- Escobedo, F., Northrop, R. & Zipperer, W. (2014). *Developing an Urban Forest Management Plan for Hurricane-Prone Communities*. University of Florida IFAS Extension. Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu>. (Consultado el 10 de abril de 2015).
- Gerhardt, D. (2010). *A Survey of Urban Tree Management in Local Authorities in Germany* (Tesis de maestría, Myerscough College). Recuperado de <http://www.myerscough.ac.uk/downloads/pdfs/Subjects/Arboriculture%20-%20Daniel%20Gerhardt%20dissertation/A%20Survey%20of%20Urban%20Tree%20Management%20in%20Local%20Authorities%20in%20Germany%20by%20Daniel%20Gerhardt.pdf>.
- Gilman, E. F. (2002). *An Illustrated Guide to Pruning* (2nd ed.). Albany NY: Delmar Publishers.
- Gilman, E. F. & Bisson, A. (2007). *Developing a Preventive Pruning Program in your Community: Mature Trees*. Urban Forest Hurricane Recovery Program Series ENH 1063, University of Florida. Recuperado de http://hort.ufl.edu/woody/documents/ch_13_mw06.pdf
- Hauer, R. J. & Johnson, G. R. (2003). Tree Risk Management. En J. Pokorny et al. (Eds.), *Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation* (pp. 5-10). St. Paul, MN: USDA Forest Service. Northeastern Area.
- Hubbard, W. 2000. Developing a Restoration Plan That Works. En M. Duryea, E. Kampf y L. Korhnak (Eds.), *Restoring the Urban Forest Ecosystem* (cap. 5). School of Forest Resources and Conservation, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida.
- International Society of Arboriculture (ISA). (1999). *Manual de arboricultura: guía de estudio para la certificación del arborista*. México.
- International Society of Arboriculture (ISA). (2013). *Using the ISA basic tree risk assessment form*. s. l.: s. n.
- International Society of Arboriculture (ISA). (2015). *Trees are good*. <http://www.treesaregood.com/>
- Johnson, G. R., Hauer, R. J. & Pokorny, J. D. (2003). Prevention of Hazardous Tree Defects. En J. Pokorny et al. (Eds.). *Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation* (pp. 117-142). St. Paul, MN: USDA Forest Service. Northeastern Area.
- Johnson G. R. (2011). *Protecting Trees from Construction Damage: A Homeowner's Guide*. University of Minnesota.
- Koeser, A., Hauer, R., Norris, K. & Krouse, R. (2013). Factors influencing long-term street tree survival in Milwaukee, WI, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, 562-568.
- MacKenzie, M., Dunlap, T. T., Spears, B. J. & O'Brien, J. G. (2003). Correction of Hazardous Defects in Trees. En J. Pokorny et al. (Eds.), *Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation* (pp. 143-163). St. Paul, MN: USDA Forest Service. Northeastern Area.
- Morales, L. & Varón, T. (2006). *Árboles ornamentales en el Valle de Aburrá: elementos de manejo*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Morán, M., Campos, J. & Louman, B. (Eds.). (2006). *Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales*. Serie Técnica. Informe Técnico No. 347. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales No. 32. Costa Rica: CATIE.
- Nevada Division of Forestry. (2007). *Cleaner Air, Tree by Tree - A Best Management Practices Guide for Urban Trees in Southern Nevada*. Recuperado de http://forestry.nv.gov/wp-content/uploads/2009/03/ndf_bmp_guide07_.pdf
- Northern Grampians Shire Council. (2012). *Urban Tree & Nature Strip Management Plan*. Recuperado de <http://www.ngshire.vic.gov.au/Council-Services/Infrastructure-Services/Parks-Gardens>. (Consultado el 10 de abril de 2015).
- Ow, L. F., Ghosh, S. & Sim, E.K. (2013). Mechanical injury and occlusion: An urban, tropical perspective. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(2), 255-261.
- Ramírez-C., A. (1993). *Manual de patología forestal*. Ministerio de Agricultura – Inderena, No. 55. Santafé de Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Ramírez-C., A. (1994). *Síntomas de enfermedades y deficiencias nutricionales en pino y eucalipto*. Ministerio de Agricultura, Inderena – SNPF. Medellín.
- Ramírez-C., A. (2009). *Patología Forestal. Enfermedades infecciosas y carenciales*. En prensa. Medellín.
- Reyes-C., M. S. (2007). Asociación hongos-insectos xilófagos presentes en muestras de maderas ingresadas en el Laboratorio Regional del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) – Osorno. [Tesis de pregrado Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia]. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifr457a/sources/fifr457a.pdf>
- Sáenz, O. & Parra, R. (2009). *Evaluación del riesgo en árboles urbanos: una propuesta metodológica*. Buenos Aires: s.n.
- SAFER. (27 de febrero de 2015). Agrobiológicos SAFER. [Ficha técnica]. Recuperado de http://safer.com.co/images/pdf/ft/SafersoilWP_1.pdf
- Urban Forest Management Plan Toolkit. (2015). <http://ufmptoolkit.com/index.htm>
- Urban Forestry Best Management Practices for Public Works Managers: Urban Forest Management Plan. (s. f.). APWA Press. Recuperado de <https://www2.apwa.net/Documents/About/CoopAgreements/Urban-Forestry/UrbanForestry-4.pdf>

USDA Forest Service. (2013). *A guide: Developing a street and park tree management plan*. [v. 1.0]. University of Massachusetts. Recuperado de <http://www.umass.edu/urbantree/mgtplanguide.pdf>

Yan, K. C. (2006). *Systematic evaluation of the management and performance of public urban trees in Hong Kong* (Tesis de doctorado, University of Hong Kong). Recuperado de <http://sunzi.lib.hku.hk/ER/detail/hkul/3580985> (Consultado el 10 de abril de 2015).

Zöttl, H. W. & Tschinkel, H. (1971). *Nutrición y fertilización forestal. Una guía práctica*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín: Centro de Publicaciones.



Árbol talado en zona verde aledaña al río Aburrá-Medellín



6. TRASPLANTES Y TALAS DE ÁRBOLES URBANOS

Héctor Iván Restrepo

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
hirestrepoo@unal.edu.co

León Morales

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
iriartea@hotmail.com

Gonzalo Abril

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
gabril@unal.edu.co

José Fernando Navarro

Universidad de Antioquia
jfnavarrop@yahoo.com.mx

María del Pilar Arroyave

Escuela de Ingeniería de Antioquia
maarr@eia.edu.co

6.1. INTRODUCCIÓN

La conformación del arbolado urbano en términos de especies, edades y tamaños es el resultado, principalmente, de la intervención de los entes municipales, autoridades y entidades ambien-



Pero de agua (*Syzygium malaccense*) trasplantado exitosamente en el barrio Laureles de Medellín

tales, y de acciones individuales de los ciudadanos (Grey & Deneke, 1978). Una pequeña proporción de la vegetación urbana corresponde a áreas naturales remanentes o de regeneración, especialmente en las zonas de importancia ambiental como rondas o retiros de fuentes hídricas y ecosistemas estratégicos. En algunos casos, la vegetación establecida no es adecuada para el tipo de zona verde y, por lo tanto, pueden presentarse conflictos e interferencias con la infraestructura urbana y las redes de servicios públicos (aéreas y subterráneas). Por otra parte, las obras de desarrollo suelen producir un gran impacto sobre las áreas verdes existentes en la ciudad y sobre los espacios abiertos en las zonas periurbanas.

Como parte del proceso de evaluación de los proyectos de infraestructura es necesario implementar acciones que permitan desde la etapa de diseño, minimizar el impacto sobre la vegetación existente. Así, antes de considerar el trasplante o la tala de un árbol o grupo de árboles en áreas urbanas, se deben analizar los diseños del proyecto constructivo para identificar alternativas que permitan conservar al máximo la vegetación, sin intervención alguna. Sin

embargo, cuando no es posible realizar este tipo de modificaciones, los árboles deben trasplantarse o talarse, con las respectivas acciones de reposición y compensación exigidas por la legislación ambiental, asociadas a los impactos ambientales y sociales que genera su pérdida.

Los trasplantes y las talas del arbolado urbano son las intervenciones silviculturales de mayor impacto en las ciudades, no solo a nivel del paisaje, sino también por la pérdida de los servicios ambientales que proveen los árboles y los conflictos sociales que pueden generarse. En ambos procedimientos se pierde uno o varios individuos, generalmente adultos, en un lugar específico para dar paso a una construcción o a una superficie impermeable.

Este capítulo tiene como objetivo describir el procedimiento técnico para la planeación, ejecución y monitoreo de los trasplantes

y las talas en el ambiente urbano, y presentar algunas consideraciones ecológicas relacionadas. Asimismo, se describen las acciones para la prevención o mitigación de los impactos asociados a la fauna silvestre no doméstica. Se espera que estos conceptos y recomendaciones sirvan de referencia para los técnicos y profesionales que intervienen el arbolado urbano.

6.2. TRASPLANTE DE ÁRBOLES URBANOS

El trasplante corresponde a la acción de mover un árbol adulto de un lugar a otro, con el mínimo impacto posible para garantizar que continúe creciendo y desarrollándose adecuadamente (Pirone, 1950). En esta operación, por lo tanto, se deben procurar los cuidados necesarios que permitan la recuperación de las funciones vitales del árbol en el menor tiempo posible (Morales & Varón, 2006). El desarrollo de un trasplante de manera precipitada y sin los cuidados necesarios conduce inexorablemente al fracaso de esta operación y a la pérdida del árbol (Martínez, Medina, & Herrero, 1996).

Los trasplantes se han practicado desde épocas antiguas. Evidencia de ello son los grabados y pinturas egipcias que datan del 2000 a.C. en las que aparecen trabajadores transportando contenedores con árboles adultos del género *Boswellia* (Watson, 2005). Además, los egipcios transportaban árboles en barcos a distancias relativamente largas para plantarlos en Egipto (Campana, 1999). Asimismo, la cultura Maya plantaba árboles en jardines con camas elevadas (técnica *caanché*), para luego trasplantarlos en el lugar definitivo (Gomez-Pompa, 1987). No obstante, el desarrollo de esta práctica en nuestro medio es relativamente reciente.

A continuación se describen los criterios ecológicos y técnicos que se deben tener en cuenta para la ejecución de esta actividad.

6.2.1. Consideraciones y criterios para realizar un trasplante

Los principales factores que inciden en la supervivencia y desarrollo de un árbol trasplantado son: el tamaño, la especie, el tipo de sistema radical, la condición fisiológica, la procedencia, el tipo de suelo, la época del año, la preparación previa del árbol, la distancia al nuevo sitio y la relación entre el tamaño del pilón y de la copa (Bevinton & Castle, 1985; Gilman, 1990; Struve, Burchfield, & Maupin, 2000). En particular, el vigor del árbol es fundamental para continuar con su crecimiento y soportar las condiciones

En el desarrollo de proyectos de infraestructura es necesario implementar acciones que permitan desde la etapa de diseño minimizar el impacto sobre la vegetación existente

adversas que se inducen con esta operación, tales como heridas, podas de raíces y ramas, estrés hídrico y alteración de los procesos fisiológicos.

El factor que más afecta el crecimiento del árbol trasplantado es el estrés hídrico, debido a la pérdida de raíces para la conformación del pilón (Watson, 2005). Esta situación produce reducción en la absorción de agua y minerales esenciales, así como el gasto de carbohidratos almacenados para regenerar nuevas raíces (Lauderdale et al., 1995). El retraso en el crecimiento es más pronunciado durante los primeros días y semanas posteriores al trasplante (Gilman & Beeson, 1998). Asimismo, debido a las condiciones de estrés hídrico (y eventualmente térmico) en las que se encuentra el árbol, se incrementa la susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades (Watson, 1996).

Tamaño

El tamaño del árbol (referido en este caso a su diámetro) y su variable asociada, la edad, inciden en el éxito de un trasplante. Este se reduce en forma exponencial con el tamaño, debido principalmente a la pérdida de gran parte de las raíces (Watson, 1996). Por ejemplo, con base en el análisis de las experiencias de trasplantes realizados en las áreas urbanas de Medellín y el Valle de Aburrá, se encontró que, en promedio, por cada 10 cm de aumento del diámetro, se reduce la probabilidad de éxito del trasplante entre 4 y 5 %. Asimismo, los períodos de recuperación de árboles trasplantados aumentan con su tamaño; por ejemplo, Watson (2005) encontró que para árboles de 10 y 25 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho) se requieren 5 y 13 años, respectivamente. En consecuencia, es preferible trasplantar árboles de menor porte, ya que eventualmente superarán en talla y crecimiento a los árboles grandes (Watson, 1996). Es importante considerar la complejidad y el alto costo asociados al trasplante de árboles con diámetros mayores que 30 cm, dado que la tecnología disponible en la región y el país aún es incipiente.

Especie y su tolerancia a los trasplantes

Desde una perspectiva biológica, el ambiente de los árboles en áreas urbanas es radicalmente diferente del ambiente natural. El estrés térmico, reforzado por las islas de calor, y el estrés hídrico, derivado de la impermeabilidad de los suelos por la infraestructura, favorecen el desbalance fisiológico, el incremento de la susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades y, finalmente, la muerte de los árboles (Cregg & Dix, 2001). La tolerancia al estrés a me-

nudo está relacionada con la resistencia a sequías, a altas temperaturas y a salinidad del suelo, factores comunes en las ciudades (Levitt, 1980). Se ha encontrado que algunas especies son más tolerantes al estrés en ambientes urbanos y, dentro de una misma especie, algunos individuos responden de manera diferencial (Grantz, Garner, & Johnson, 2003). Estas presentan también mayores tasas de éxito ante un trasplante, debido a que el estrés inducido en dicha operación es comparable con aquel generado por el ambiente urbano. En consecuencia, la capacidad de aclimatación de las especies a las condiciones ambientales en las ciudades puede ser un indicador preliminar de su probabilidad de éxito al trasplante.

Las especies forestales con sistemas radicales compactos y fibrosos se pueden trasplantar más fácilmente y con menor impacto para el árbol que especies con raíces pivotantes (Pirone, 1950). En el ámbito local, y de acuerdo con las experiencias de trasplantes en el Valle de Aburrá, se ha identificado que varias especies son altamente sensibles a intervenciones en su sistema radical y, por tanto, a los trasplantes (Morales & Varón, 2006).

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de 53 especies comúnmente establecidas en las áreas verdes urbanas del Valle de Aburrá, con respecto a la probabilidad de éxito de trasplante, elaborada con base en las experiencias de esta intervención en la región.

Características del sitio origen

Las características del suelo donde se encuentra el árbol propuesto para trasplante determinarán la realización del mismo. Los árboles plantados en suelos arcillosos son mejores candidatos que aquellos plantados en suelos arenosos (Pirone, 1950). Los sitios arenosos, pedregosos o con escombros dificultan la conformación del pilón, lo cual afecta el sistema radical del árbol (Morales & Varón, 2006). Como se explicó en el capítulo 4, muchos de los suelos en las áreas urbanas del Valle de Aburrá están mezclados con gravas y piedras resultantes de construcciones. En consecuencia, se espera que en estos sitios las probabilidades de éxito del trasplante sean bajas.

Características del sitio destino

Los suelos en áreas urbanas pueden contener un amplio rango de materiales y sustancias químicas como vertimientos de desechos domésticos, lodos residuales y dese-

chos industriales. Los materiales más deletéreos pueden contener elementos y compuestos fitotóxicos como cadmio, plomo, níquel, mercurio, alquitrán, cianuro o fenoles (Moffat, 1989). Adicionalmente, sitios con baja fertilidad, presencia de escombros, nivel freático alto, o espacios reducidos, incidirán en el desarrollo de las nuevas raíces y, por lo tanto, en el éxito del trasplante.

Tabla 1.
Rangos de probabilidad de éxito de trasplante para 53 especies establecidas en las áreas verdes urbanas del Valle de Aburrá.

Probabilidad baja (<50 %)	
Nombre científico	Nombre común
<i>Anacardium excelsum</i>	Caracolí
<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón
<i>Artocarpus altilis</i>	Árbol del pan
<i>Brownea ariza</i>	Palo cruz
<i>Calliandra pittieri</i>	Carbonero
<i>Cojoba arborea</i>	Carbonero zorro
<i>Flacourtia indica</i>	Cerezo del gobernador
<i>Garcinia madruno</i>	Madroño
<i>Fraxinus uhdei</i>	Urapán
<i>Persea americana</i>	Aguacate
<i>Persea caerulea</i>	Aguacatillo
<i>Psidium guajava</i>	Guayabo
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	Chaquiro
<i>Mammea americana</i>	Mamey
Probabilidad media (50-75 %)	
Nombre científico	Nombre común
<i>Alistonia pittieri</i>	Alistonia
<i>Bischofia javanica</i>	Bischofia
<i>Buchenavia capitata</i>	Mulí
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja
<i>Pachira speciosa</i>	Cacao de monte
<i>Albizia saman</i>	Samán
<i>Sapindus saponaria</i>	Chumbimbo
<i>Spathodea campanulata</i>	Tulipán africano
<i>Syzygium malaccense</i>	Pero de agua
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Guayacán amarillo
<i>Zygia longifolia</i>	Suribio

Probabilidad alta (>75 %)	
Nombre científico	Nombre común
<i>Adenanthera pavonina</i>	Coralillo
<i>Andira inermis</i>	Congo de agua
<i>Bauhinia picta</i>	Casco de vaca
<i>Bauhinia variegata</i>	Casco de vaca
<i>Brownea stenantha</i>	Palo cruz
<i>Bucida buceras</i>	Olivo negro
<i>Bulnesia arborea</i>	Guayacán de bola
<i>Caesalpinia ebano</i>	Ébano
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	Acacia amarilla
<i>Cariniana pyriformis</i>	Abarco
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba
<i>Ceiba speciosa</i>	Ceiba rosada
<i>Delonix regia</i>	Flamboyán
<i>Erythrina fusca</i>	Búcaro
<i>Erythrina poeppigiana</i>	Cámbulo
<i>Ficus lyrata</i>	Pandurata
<i>Hymenaea courbaril</i>	Algarrobo
<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Flor de reina
<i>Magnolia grandiflora</i>	Magnolio
<i>Mangifera indica</i>	Mango
<i>Myrciaria cauliflora</i>	Guayabo jaboticaba
<i>Pithecellobium dulce</i>	Chiminango
<i>Pseudobombax septenatum</i>	Ceiba verde
<i>Schizolobium parahyba</i>	Tambor
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba
<i>Tabebuia rosea</i>	Guayacán rosado
<i>Terminalia catappa</i>	Almendro
<i>Terminalia ivorensis</i>	Terminalia

Por lo anterior, se considera pertinente la inversión de recursos suficientes en la preparación del sitio para el trasplante, la cual incluye las siguientes actividades: hoyado, repique, riego y aplicación de materia orgánica, fertilizantes, micorrizas e hidrorretenedores. Investigaciones locales sugieren que la aplicación de material vegetal picado, producto de talas, podas y rocerías, además de generar beneficios ambientales, tiene beneficios económicos derivados de la reducción de costos de fertilizantes

químicos y la disposición del material en botaderos o rellenos sanitarios (Parra, Sáenz, & Pulgarín, 2010).

De acuerdo con Moffat (1989), el nuevo sitio donde se establecerá el árbol trasplantado debe tener las siguientes características:

- **Adecuada profundidad:** las raíces requieren suficiente volumen en el suelo para su desarrollo y para dar soporte a la parte aérea del árbol. En suelos de ambientes naturales, los árboles requieren entre 1 y 3 metros de profundidad efectiva para el crecimiento de las raíces, medida que debería ser similar en las zonas verdes urbanas.
- **Oferta de agua:** el sitio debe tener las condiciones adecuadas de humedad para garantizar las reacciones biogeoquímicas del suelo y los procesos metabólicos del árbol. La cantidad de agua requerida varía con relación a la textura del suelo; se requiere más cantidad en suelos arenosos que en los arcillosos.
- **Oferta de oxígeno:** todas las plantas requieren oxígeno para respirar, principalmente en las raíces. El oxígeno constituye el 15-20 % de los gases que se encuentran en suelos bien drenados. Sin embargo, en suelos urbanos compactados existen pocos espacios porosos para contener oxígeno. En el capítulo 3 se describen las condiciones óptimas de aireación y humedad para el adecuado crecimiento de las raíces.
- **Nutrientes:** los suelos son una mezcla de materiales orgánicos y minerales que son absorbidos por las plantas a través de las raíces. Aunque los requerimientos de nutrientes pueden variar entre especies, en general los árboles requieren: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, cobre, boro, cloro, zinc y molibdeno. Un efecto de la composición del suelo es el pH, el cual incide también en el desarrollo de los árboles.

Adicional a las características del suelo, se debe analizar el entorno donde quedará establecido el árbol. Se debe prever que este, una vez trasplantado, continuará con su crecimiento y, por lo tanto, no se debe plantar sobre o bajo cualquier tipo de red de servicios (eléctrica, telecomunicaciones, acueducto, alcantarillado o gas). Además, no se recomiendan para trasplantes los sitios donde se proyecten construcciones en el corto o mediano plazo, ya

que someter el árbol a una nueva intervención provocaría su muerte. Por consiguiente, se recomienda aplicar los criterios de selección especie-sitio contenidos en el numeral 4.2 de la presente guía.

6.2.2. Procedimiento técnico para realizar un trasplante

El procedimiento técnico para la realización de trasplantes comprende tres fases: antes, durante y después. En la fase de preparación se deben considerar todos los elementos críticos relacionados con este tipo de intervención, como la caracterización exhaustiva del árbol y los sitios de origen y destino. La segunda fase consiste en la ejecución propiamente dicha del trasplante con los cuidados necesarios para garantizar el éxito, o, al menos, reducir los riesgos asociados con la operación. La tercera y última fase consiste en el mantenimiento y seguimiento del árbol trasplantado. Este procedimiento es una adaptación de lo sugerido por Morales & Varón (2006) y, aunque es relativamente detallado, se aconseja la ejecución de todas las acciones propuestas con el objeto de favorecer el desarrollo posterior del árbol. Asimismo, siempre se debe contar con la dirección y participación de personal experto.

Antes del trasplante

A continuación se presentan las actividades técnicas y de gestión que se deberán llevar a cabo antes de iniciar el trasplante. Es importante anotar que algunas de ellas requieren un tiempo significativo que, en algunos casos, puede durar hasta dos años.

Se debe tramitar la autorización del trasplante ante la autoridad ambiental con suficiente antelación y previo al inicio de las intervenciones silviculturales y obras de construcción. Adicionalmente, deberá elaborarse e implementarse el respectivo plan de manejo de fauna silvestre, el cual estará compuesto por las siguientes fases: ahuyentamiento, salvamento, relocalización o reubicación y monitoreo (ver numeral 6.3).

Igualmente, se debe identificar y caracterizar el árbol que será trasplantado, junto con los requisitos de información para el trámite de talas o trasplantes. Al respecto, es necesario tener en cuenta variables como: diámetro y volumen de copa, biomasa aérea, estado fitosanitario, especie y su

Adicional a las características del suelo, se debe analizar el entorno donde quedará establecido el árbol

sensibilidad al trasplante, estado fenológico para la fecha probable de trasplante, expectativa de vida posterior al trasplante y probabilidad de éxito del trasplante. También se recomienda identificar las especies de fauna silvestre asociadas al individuo que se va a intervenir, así como la funcionalidad ecológica y el impacto que podrá tener el árbol en el nuevo sitio.

Para determinar la capacidad de los equipos necesarios, se debe calcular el peso del árbol, del pilón y de otros componentes.

Con el fin de obtener el peso del árbol que se va a trasplantar, se puede recurrir a la ecuación más simple, que corresponde a la determinación del peso a través del volumen del árbol, así:

$$V = B_{vf} = ghf, \text{ con } g = \frac{\pi d^2}{40}$$

Donde V es el volumen del fuste (m³), B_{vf} es la biomasa verde del fuste (kg), g es el área basal (m²), d es el diámetro normal del árbol (cm), h es la altura del árbol (m) y f es el factor de forma, el cual se puede asumir igual a 0,5.

Para efectos prácticos, V se puede asumir igual a B_{vf}, ya que la densidad de la madera para la gran mayoría de las especies es igual a 1 en estado verde (Vásquez & Ramírez, 2005). Por otra parte, se puede inferir que B_{vf} corresponde al 70 % de la biomasa verde aérea (B_{va}) y que el restante 30 % de B_{va} es la biomasa verde de la copa (B_{vc}) (Zapata, Colorado, & Del Valle, 2003):

$$\begin{aligned} B_{va} &= B_{vf} + B_{vc} \\ B_{va} &= B_{vf} + 0,3B_{va} \\ B_{va} &= 1,43B_{vf} \end{aligned}$$

Valores similares se pueden obtener con ecuaciones alométricas para encontrar la biomasa aérea (masa seca) de árboles y palmas en bosques naturales primarios y secundarios de Colombia en función del diámetro, la altura y la densidad o peso específico de la madera (Tabla 2).

Tabla 2. Ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea de árboles y palmas (B_{va}, en kg) en Colombia en función del diámetro (d, en cm), altura (H, en m), densidad (ρ, t/m³) y longitud del estipe (L, m)

Ecuación	Tipo de bosque	Referencia
$B_a = 0,102 * d^{2,017} * H^{0,715} * \rho^{0,718}$	Bosques tropicales de Colombia	(Álvarez et al., 2012)
$B_a = 0,109 * d^{2,081} * H^{0,581} * \rho^{1,089}$	Bosques húmedos premontanos (Bh-PM) de Colombia	(Álvarez et al., 2012)
$B_a = 0,026 * d^{2,081} * H^{0,581} * \rho^{-0,36}$	Bosques húmedos tropicales (Bh-T) de Colombia	(Álvarez et al., 2012)
$B_a = 0,232 * d^{2,136} * H^{0,888} * \rho^{0,307}$	Bosques secundarios de Porce, Antioquia (Bh-PM)	(Zapata et al., 2003)
$B_a = 0,102 * d^{2,47}$	Bosques primarios de Porce, Antioquia (Bh-PM)	(Zapata et al., 2003)
$B_a = 0,072 * d^{2,067} * L^{0,7}$	Palmas	(Restrepo et al., 2003)

Dichas investigaciones relacionan la biomasa aérea en términos de su correspondiente masa seca, mientras que el interés es calcular el peso fresco del árbol, por lo tanto, se debe considerar también el agua contenida en sus tejidos. Así, el valor de B_a debe multiplicarse por 2 para obtener el peso verde o fresco (asumiendo un contenido de humedad del 50 %, el cual es común en tejidos vegetales). Se sugiere calcular el peso del árbol por diferentes métodos y escoger el mayor valor para tener un factor de seguridad suficiente.

Para calcular el peso del pilón se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$P_p = 1000 \frac{\pi D_p^2}{4} P \rho_a$$

Donde P_p es el peso del pilón (kg), P es la profundidad del pilón (m), ρ_a es la densidad aparente del suelo (t/m³) y D_p es el diámetro promedio del pilón entre el diámetro de la superficie y el diámetro en la base del pilón (coni-

cidad), y es igual a (diámetro mayor + diámetro menor)/2, que corresponde al diámetro en $P/2$, es decir, a la mitad de la profundidad del pilón. Cuando el diámetro mayor = diámetro menor = D_p , corresponde a un pilón en forma de cilindro. Un valor razonable de ρ_a es $1,3 \text{ t/m}^3$ (Jaramillo, 2002).

Adicionalmente, se debe considerar el peso de todos los elementos que se usarán para darle estabilidad al pilón, como tubos de hierro, estructuras en madera, conformaciones temporales en cemento o yeso, lonas o mallas, eslingas o cuerdas, cadenas, etc.

Es importante determinar la capacidad de los equipos, dado que cada máquina o grúa tiene una capacidad de carga que depende de la distancia a la cual se pueda anclar (r) y al ángulo de la pluma (boom), ya que no es posible contar solo con la capacidad nominal (Figura 1). La capacidad de la grúa debe ser al menos el doble de la suma del peso del árbol, peso del pilón y de otros elementos.

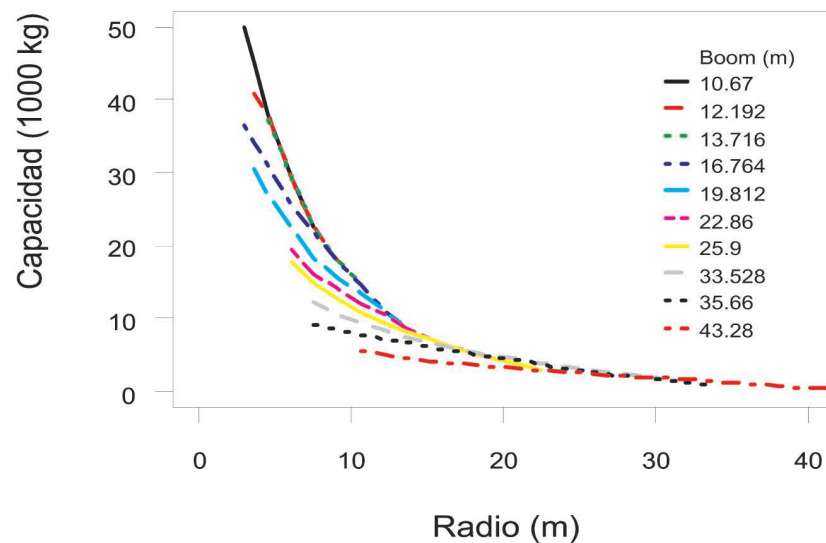


Figura 1. Capacidad de carga (kg) de una grúa Grove III con respecto al radio de giro (m) y al ángulo de la pluma (m).

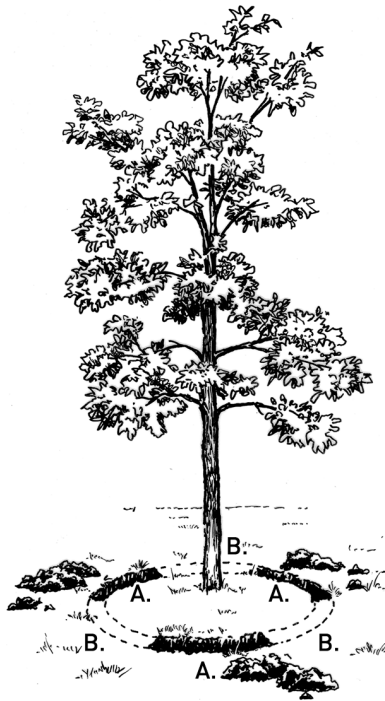
También se deben caracterizar los sitios de origen y destino e identificar si la infraestructura permite su preparación e izada posterior. Dadas las características de los suelos urbanos, se deben realizar análisis edáficos del sitio en donde se trasplantará el árbol. Además, se debe verificar previamente el acceso de la grúa y demás vehículos que se requieran, y si el terreno tiene la suficiente capacidad de soporte para estos equipos pesados. Para árboles cercanos a muros, postes, redes de gas y alcantarillado, o en zonas muy pedregosas o arenosas, no es posible conformar el pilón. Según Moffat (1989), el sitio destino debe tener, idealmente, las siguientes características: textura con menos de 40 % de arcillas, menos de 30 % con piedras de 5 cm, pH entre 4 y 8, conductividad eléctrica por debajo de 2 mS/cm y estar libre de semillas de arvenses. Se asume que el sitio origen no tiene problemas fitosanitarios, pero en caso de encontrarlos, se deben tomar las medidas correctivas necesarias.

Se debe realizar un recorrido previo para identificar posibles obstáculos y garantizar el éxito del transporte del árbol que se va a trasplantar, especialmente de aquellos de gran tamaño. En caso de que los limitantes sean insalvables, habría que pensar en otro sitio final o desechar la posibilidad del trasplante. Asimismo, es necesario implementar un plan de medios para dar a conocer a la comunidad posibles inconvenientes generados durante el proceso, y coordinar con las autoridades de tránsito el cierre de vías para todas las labores de amarre y cargue, así como el acompañamiento para el control de tránsito durante la movilización del individuo.

Se recomienda conformar un pilón (prepiloneo) de 9 a 12 veces el diámetro del tronco o fuste, proceso en el que se deben dejar raíces fisiológicamente funcionales de igual longitud al diámetro del pilón. Sin embargo, árboles con raíces superficiales requerirán pilones planos, mientras que árboles con raíces pivotantes requerirán un pilón más alto y de menor diámetro. Por otra parte, las raíces de árboles plantados en vivero que vayan a ser trasplantados deben podarse con regularidad para promover el desarrollo de raíces finas; así mismo, es conveniente su confinamiento desde edades tempranas para facilitar la operación y aumentar la probabilidad de éxito del trasplante (Pirone, 1950).

Las demás raíces que excedan el diámetro del pilón se deben cortar con serrucho y no con herramientas de impacto

Se deben caracterizar los sitios de origen y destino e identificar si la infraestructura permite la preparación, izada y transporte del árbol



como machetes, barras o palas. Se recomienda seguir el protocolo para el manejo de raíces descrito en el capítulo 5. En especies sensibles al trasplante o en las que se desconozca esta situación, se recomienda hacer un prepiloneo por secciones de circunferencia en diferentes momentos antes del trasplante. Así, se deben cavar zanjas en tres sextos no contiguos de la circunferencia del pilón en el momento en que se decida realizar el trasplante. Los otros tres sextos de la circunferencia se deben realizar seis meses después de haber cavado las primeras tres secciones y esperar otros seis meses para poder hacer el trasplante (Figura 2).

Figura 2. Procedimiento para realizar el prepiloneo. A. Zanjas que se deben cavar al inicio de la preparación del trasplante; B. Zanjas que se deben cavar seis meses después de haber realizado las primeras.

Si no se encuentran raíces hasta 1 m de profundidad en la primera sección trazada, se puede reducir el diámetro del pilón hasta el límite del tamaño de las raíces para facilitar el proceso de conformación del pilón (Moffat, 1989). Culminada cada una de las secciones, inmediatamente se rellenará el espacio de la brecha con sustrato enriquecido con fertilizantes (especialmente fósforo y potasio), materia orgánica, bioestimulantes y micorrizas. Posteriormente, se debe aplicar abundante riego. El pilón para las palmas puede ser más pequeño que el de árboles, debido a la característica fibrosa de sus raíces (Broschart, 2012). Se ha observado que algunas especies de palmas de los géneros *Bismarckia* y *Sabal* requieren un pilón más pequeño pero más profundo. Antes del trasplante se deben aplicar antiestresantes, antitranspirantes y recuperadores de raíces.

Aunque algunos autores sugieren podas aéreas como medida para compensar la pérdida de raíces (Pirone, 1950; Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2001), se recomienda una defoliación parcial (no una poda) por medios mecánicos o químicos para evitar pérdidas excesivas de agua en especies altamente sensibles.

En el sitio de destino se debe cavar un hoyo más ancho que el pilón, repicado en la base, y disponer de suficiente sustrato enriquecido con fertilizantes, bioestimulantes, materia orgánica y micorrizas. Esta actividad deberá realizarse antes del trasplante. Debido a que la mayor cantidad de raíces nuevas crecerán horizontalmente y se concentrarán en el primer metro de profundidad del suelo, se recomienda, siempre que sea posible, la conformación de un hoyo de tres veces el diámetro del pilón en el que se disponga suficiente sustrato enriquecido (Figura 3). Cuando se identifiquen condiciones de nivel freático alto, se recomienda la construcción de obras de desagüe con tubos, teniendo la precaución de no depositar gravilla en el fondo, ya que esto generalmente no mejora el drenaje (Watson, 1996).

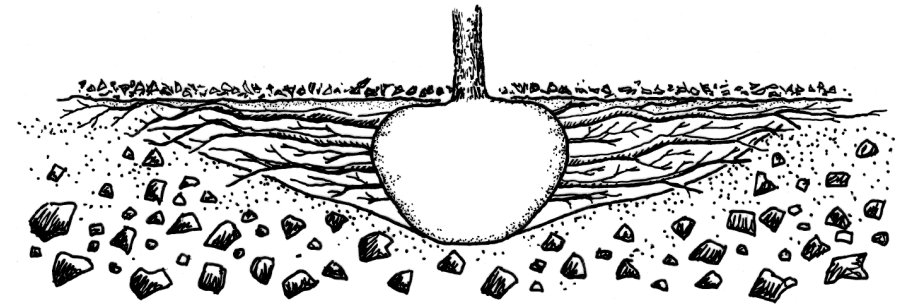


Figura 3. Forma del hoyo destino para el establecimiento del árbol que se va a trasplantar.

Durante el trasplante

Por tratarse de una operación de alto riesgo, la empresa contratista o entidad que realice el trasplante, así como sus técnicos, deberán contar con formación y experiencia específica en el desarrollo de dicha actividad. El personal que integre la cuadrilla debe tener perfectamente distribuidas sus funciones antes de iniciar el proceso.

El trasplante propiamente dicho inicia con el piloneo, que consiste en la conformación de un cono invertido. Cuando se presentan problemas de cohesión del pilón, se puede construir una cubierta temporal con malla metálica y cemento o yeso, a manera de contenedor, la cual debe ser

retirada cuidadosamente en el sitio destino. En árboles grandes se recomienda conformar adicionalmente una estiba con tubos metálicos (Figura 4).



Figura 4. Conformación del pilón en un árbol de gran tamaño. A. Conformación de estiba para la estabilidad del pilón; B. Amarres e izada del árbol.



Antes de mover el árbol se recomienda marcar un punto cardinal (norte) para conservar dicha orientación en el sitio destino. Los amarres deben hacerse desde el pilón y nunca desde el fuste (Figura 5). Una vez amarrado el pilón, se corta la raíz pivotante para posteriormente izarlo y transportarlo (Figura 6). La movilización del árbol se debe hacer en las primeras horas del día o al final de la tarde para evitar estrés térmico. El hoyo del sitio origen deberá rellenarse inmediatamente después del trasplante con el fin de evitar accidentes a los transeúntes.

Figura 5. Amarre de un pilón en un árbol para trasplante.

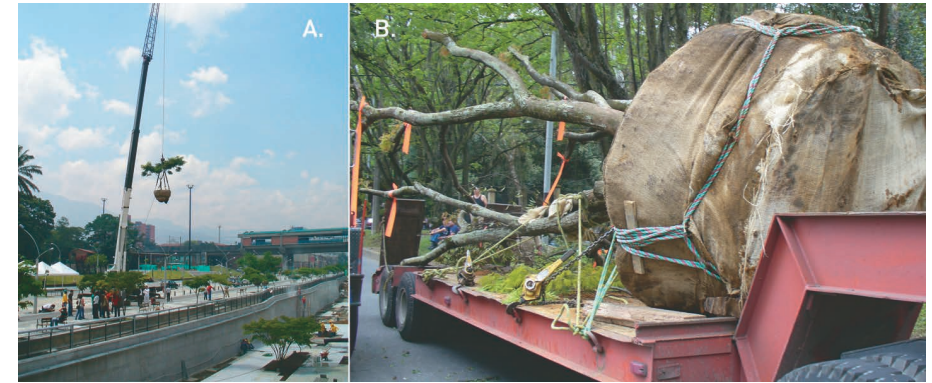


Figura 6. Transporte de árbol durante el trasplante. A. Procedimiento para izar el árbol; B. Transporte.

Se deberá disponer el pilón en el sitio destino con igual orientación de acuerdo con el punto cardinal marcado previamente (norte). Se rellenan los espacios con sustrato rico en materia orgánica y fertilizantes para propiciar el crecimiento de las raíces. Se debe compactar mecánicamente, pero no en exceso, para garantizar estabilidad del árbol. Se recomienda disponer el pilón entre 5 -10 cm por encima del nivel del suelo, debido a que este tiende a bajar con el tiempo. Alrededor del árbol se debe adecuar el suelo para facilitar la retención e infiltración del agua.

Si bien en algunos casos la disposición final de verticalidad del pilón estabiliza el árbol, la mayoría de las veces se debe tuturar mientras este se establece e inicia el crecimiento de nuevas raíces en su nuevo sitio. Se sugiere realizar tres amarres flexibles al árbol, espaciados en su perímetro, para evitar daños por el viento. Cuando esto no es posible, se pueden hacer uno o dos amarres que compensen la dirección de los vientos dominantes e inclinación natural del árbol.

Al izar las palmas se recomienda utilizar sogas de amarre lo suficientemente anchas y acolchonadas, en vez de cables, para evitar lesiones al momento del cargue al vehículo de transporte. La corona y la hoja bandera de las palmas deben ir protegidas y amarradas para evitar que se quiebren, ya que de este elemento depende el futuro desarrollo de la palma trasplantada en el sitio destino; si se quiebran, la palma morirá, ya que las monocotiledóneas no tienen crecimiento secundario.

Después del trasplante

Se recomienda la aplicación de material vegetal picado y fertilizantes ricos en fósforo y potasio para promover el desarrollo de nuevas raíces. La dosis que se debe aplicar depende tanto de las condiciones del sitio como de las características del árbol trasplantado, por lo cual se sugiere que esta sea definida por personal experto en cada caso. Se pueden realizar podas de algunas ramas afectadas por la operación, siguiendo los lineamientos sugeridos en el capítulo 5. Adicionalmente, se debe aplicar abundante riego.

Durante el primer año se debe realizar un monitoreo periódico (mínimo cada mes) de los árboles trasplantados con el fin de evaluar su vigor y crecimiento. Así mismo, es importante identificar oportunamente síntomas de estrés hídrico, especialmente en temporadas secas, y presencia de plagas y enfermedades, principalmente de insectos perforadores que son atraídos por árboles bajo estrés, como escolítidos y platipódidos. Después del primer año del trasplante se debe continuar el seguimiento periódico, y una vez culminada esta fase se deberán retirar los tutores.

Como regla general, el restablecimiento del sistema radical tarda aproximadamente un mes por cada centímetro de diámetro, aunque ello depende de las características de la especie, suelo, fertilidad y cuidados posteriores al trasplante (Watson, 1996). En caso de que el trasplante no fuese exitoso, se debe proceder con la reposición del árbol de acuerdo con las orientaciones del capítulo 7.

6.3. TALA DE ÁRBOLES EN AMBIENTES URBANOS

La tala consiste en la eliminación de un árbol. Esta operación se justifica cuando se constituye en un riesgo para las personas o los bienes materiales, o cuando presenta un estado avanzado de deterioro causado por heridas y pudriciones, daños mecánicos o ataques severos de insectos y patógenos, o está muerto en pie. En este último caso, se debe tener en cuenta que estos son el hábitat de especies de fauna silvestre, por lo tanto, se recomienda inspeccionar el árbol con el fin de detectar la presencia de individuos. En el caso de encontrarse fauna y ser un árbol riesgoso, se podrá reducir su tamaño con el fin de disminuir el riesgo y dejarlo

como albergue, lo cual se considera altamente deseable y debería privilegiarse. Paralelamente, se debe realizar una evaluación del riesgo del árbol, según se indica en el capítulo 5.

Adicionalmente, la tala se puede considerar como una alternativa cuando es imposible modificar los diseños de los proyectos de infraestructura, o cuando no es viable realizar un trasplante. Sin embargo, la decisión entre trasplante y tala debe basarse tanto en elementos de planificación urbana como en criterios ecológicos, sociales y económicos, pero, sobre todo, se debe siempre favorecer el árbol como elemento fundamental del paisaje urbano. En cualquier caso se deben seguir las disposiciones normativas que reglamentan este tipo de intervención (ver capítulo 7).

6.3.1. Criterios y consideraciones para realizar una tala

Las talas de árboles en las zonas urbanas se deben analizar en detalle, debido a la irreversibilidad que supone esta acción y a los impactos ambientales y sociales que generan. En todos los casos, se deben buscar soluciones de tal manera que esta intervención sea la última opción. A continuación se describen los criterios que se deben tener en cuenta para realizar una tala.

Los árboles que representan un alto riesgo para las personas o la infraestructura, bien sea porque tienen copas desbalanceadas o presentan un deterioro sin posibilidad de recuperación, deben ser eliminados con una intervención planificada. Se debe aplicar rigurosamente la metodología para la determinación del riesgo, descrita en el capítulo 5, con el fin de disponer de un soporte técnico y objetivo para la toma de decisión de la tala.

Es importante considerar que el riesgo se puede mitigar con estructuras metálicas que estabilicen el tronco y ramas; las heridas y pudriciones se pueden tratar con antisépticos; y los ataques de insectos y patógenos se pueden contrarrestar con control biológico, físico o químico.

Los procesos de construcción en las ciudades tienen impactos sobre las poblaciones de plantas y animales, la biodiversidad, el paisaje y la conectividad ecológica (Lodé, 2000; McDonnell & Pickett, 1990; Shochat et al., 2006; Villagrán-Mella, Aguayo, Parra, & González, 2006;). Tales efectos adversos se deben considerar en aquellas situaciones que requieran estudios de impacto ambiental, planes de manejo y planes de rescate de fauna silvestre. Estos instrumentos son de carácter preventivo, correctivo y compensatorio, y de obligatorio cumplimiento.

Puede inferirse que las intervenciones en el bosque urbano producen impactos negativos, pues, por leves que sean, interrumpen parcial o totalmente los flujos de movimiento de las especies de la fauna asociada. Por lo tanto, es ideal presentar alternativas de manejo de la vida silvestre cuando haya intervenciones que la afecten.

Los planes de rescate de fauna están enfocados en el destino de los animales y tienen por objetivo salvar individuos que de otra manera morirían por la eliminación de uno o varios árboles en un área verde urbana (Shine & Koenig, 2001). Las intervenciones que se realicen también pueden impactar la fauna a nivel de las poblaciones locales o residentes (Craven, Barnes, & Kania, 1998) y afectar su ecología (Cunningham, 1991; Madsen, Shine, Olsson, & Wittzell, 1999). La efectividad de las medidas depende de varios aspectos, entre los que se destacan: los organismos que serán afectados, el tipo de ambiente o hábitat, el tipo de dispositivos a utilizar, el tamaño de la población y la superficie que será intervenida, el esfuerzo de campo, la disponibilidad y las condiciones del hábitat receptor. En el siguiente numeral se incluyen las medidas para la conservación y rescate de fauna que deberán implementarse antes, durante y después de una tala.

6.3.2. Procedimiento para realizar talas

Antes de la tala


Igual que con los trasplantes, se debe identificar y caracterizar perfectamente el individuo que se va a talar, haciendo una revisión minuciosa del árbol con el fin de identificar pudriciones en el fuste que impliquen riesgos para los operarios durante el escalado requerido para realizar la tala por secciones. Es conveniente estimar la biomasa aérea del árbol para calcular las necesidades de transformación y transporte de material vegetal, procedimiento descrito en la sección de trasplantes del presente capítulo. Además se deberá identificar si existen abejas u otros insectos que puedan ocasionar accidentes por picaduras masivas a los operarios o transeúntes al momento de realizar la tala.

Se debe caracterizar el sitio de tala y estimar el tiempo requerido para la operación, de acuerdo con las siguientes variables: cobertura y pendiente del terreno, dirección de vientos dominantes, hora de mayor tráfico, elementos de infraestructura como redes aéreas, postes, construcciones, vías, entre otros. Adicional al informe de caracterización del sitio, se debe elaborar un plan de manejo de fauna, el cual debe contener medidas de conservación y manejo

de las especies e individuos presentes en el sitio de intervención, a través de las siguientes fases: ahuyentamiento, salvamento, relocalización o reubicación y monitoreo (Figura 7).

Antes de iniciar las actividades, se deben realizar campañas de campo con el fin de identificar la fauna presente en el sitio y que pudiese verse afectada por la tala. Es necesario considerar que la fauna silvestre no es una entidad estática, temporal ni espacialmente, por lo que presenta variaciones, tanto en su composición como en su abundancia en diferentes épocas del año. Por lo tanto, la determinación de una adecuada línea base dará los lineamientos y acciones efectivas para salvaguardar este recurso.

Se deberán implementar estrategias de ahuyentamiento (fase I), las cuales consisten en la generación de perturbación controlada, con el fin de inducir la emigración espontánea de los individuos afectados. Son acciones alternativas a la captura y manipulación de individuos que serán ejecutadas antes de empezar con cualquier actividad de la obra. Otras estrategias son la remoción gradual de la vegetación con la supervisión de profesionales idóneos con experiencia específica en manejo y atención médico-veterinaria de fauna silvestre en condición de emergencia, la instalación de elementos disuasivos visuales y el rastreo o ahuyentamiento con perros entrenados para dicha tarea (Frawely, 2000), si el área que se va a intervenir así lo requiere. También puede acudir a la reproducción de sonidos que anuncien peligro, como los emitidos por depredadores y llamados de alerta de las especies que se van a ahuyentar (Rodríguez & Cataño, 2009). Sin embargo, la perturbación sonora controlada es efectiva para ahuyentar a las aves y a los mamíferos, pero no a los anfibios y a los reptiles (especies de baja movilidad). Asimismo, la efectividad del uso de sonidos sobre la fauna varía de acuerdo con el grupo animal al que se enfoque, el nivel del ruido y el rango de frecuencia (Forman & Alexander, 1998). El uso de luminarias de gran potencia dirigidas hacia los árboles ayuda al ahuyentamiento; esta estrategia es utilizada solo para el grupo de las aves, y únicamente en áreas urbanas, por la disponibilidad de fuentes eléctricas cercanas.


Las intervenciones en el bosque urbano pueden interrumpir parcial o totalmente los flujos de movimiento de las especies de la fauna asociada

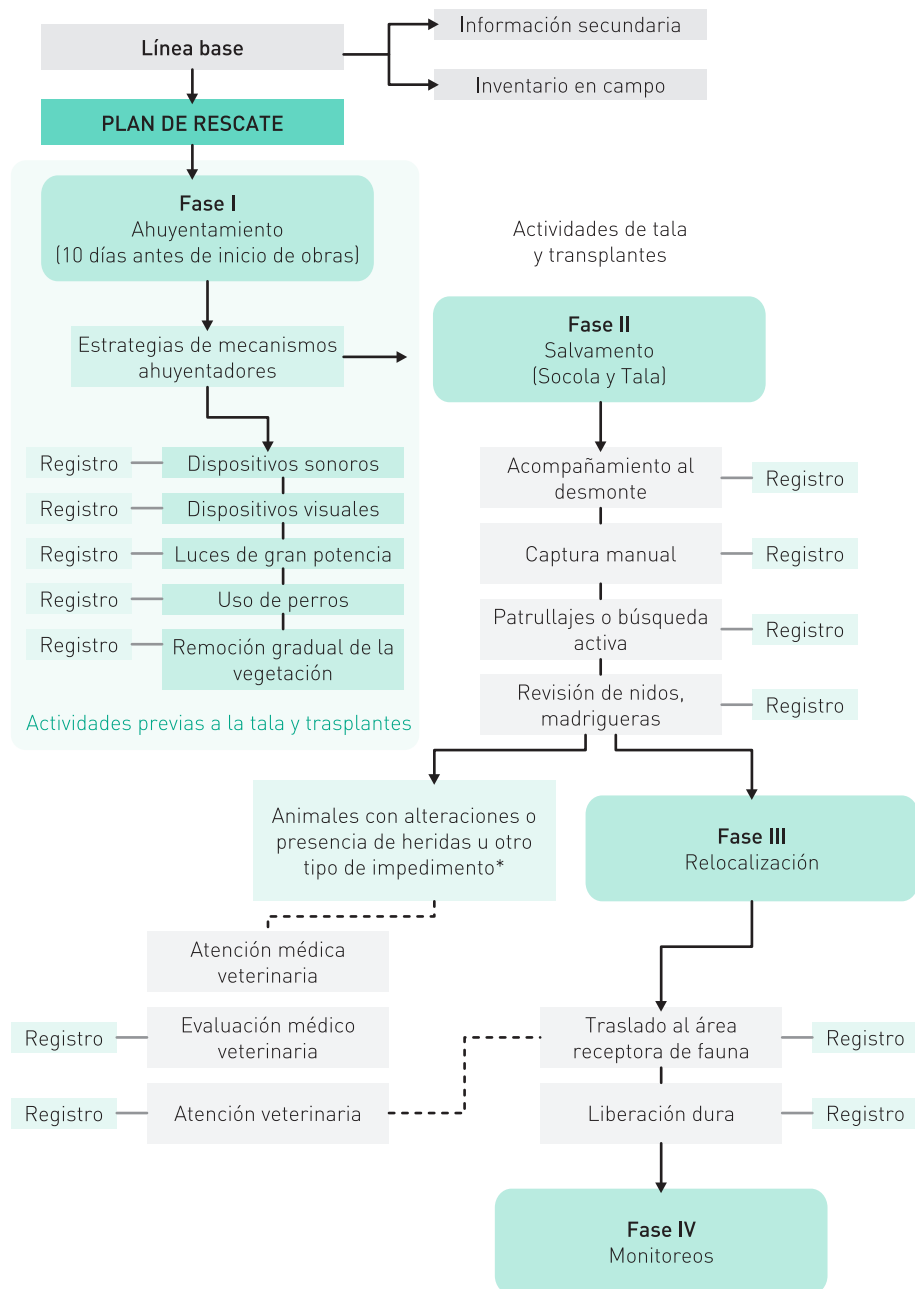


Figura 7. Flujograma del plan de manejo de fauna dentro de cada una de las obras o proyectos .

Debido a la sensibilidad y compromiso ambiental de las personas y grupos sociales hacia la vida silvestre (flora y fauna), y para evitar confrontaciones inesperadas por desinformación, se debe elaborar y ejecutar un plan socioambiental de acompañamiento a la intervención, teniendo como premisas la veracidad y la precisión, con información tranquilizadora y dinámica. Dicho plan debe contener, al menos, los siguientes componentes:

- Antecedentes y contexto social: ubicación espacio-temporal de los árboles que serán talados, identificación de antecedentes relacionados con las intervenciones, determinación de elementos sociales esenciales. Se debe tener en cuenta la sensibilidad ambiental de la comunidad y su reacción frente a las talas.
- Mensaje clave: definir qué es lo que se quiere transmitir.
- Objetivos comunicacionales: mencionar el propósito de la tala y su sustentación básica.
- Tono de la comunicación: proactiva, informativa, incluyente, sensibilizadora.
- Mapa de públicos: caracterización de las personas o grupos de personas a quienes va dirigido el mensaje.
- Canales de comunicación: prensa, redes sociales, cartas, ruedas de prensa.

Se deben solicitar con la debida antelación los permisos y el eventual acompañamiento de las autoridades de tránsito para realizar los cierres viales que sean necesarios. La empresa o contratista que hará las talas debe contar, además de los certificados de ley de constitución y existencia legal, con una póliza de responsabilidad civil contra daños a terceros. El personal debe ser idóneo, capacitado y certificado en trabajo en alturas y competencias laborales específicas; debe contar con afiliación a los sistemas de salud, riesgos laborales, pensiones y cesantías. Es recomendable que el personal esté cubierto por pólizas de seguros especiales.

Durante la tala

En el momento de la tala se deberán ejecutar la segunda y tercera fase del plan de manejo de fauna silvestre, a saber: salvamento y relocalización, tal como se describe a continuación.

- Salvamento (fase II): incluye la captura, el patrullaje y el acompañamiento al desmonte y tala. Pretende capturar el mayor número de especies e individuos que aún persisten en el sitio después de la ejecución del ahuyentamiento (fase I); los animales deberán ser trasladados a otras zonas para poder garantizar su sobrevivencia inmediata.

Se incluyen individuos que no sean capaces de valerse por sus propios medios, como neonatos y especies de baja movilidad. Los nidos inactivos (sin pichones, huevos o neonatos) se deben recoger o destruir para evitar su recolonización. Por el contrario, nidos ocupados por huevos, polluelos o neonatos se protegerán y evaluarán para determinar la especie, etapa de crecimiento (desarrollo) y viabilidad. Es deseable que el proceso de abandono de nidos o madrigueras se realice de forma natural, por lo tanto los individuos arbóreos serán marcados con el fin de no ser intervenidos y se realizará un proceso de seguimiento hasta su abandono, todo esto con la respectiva documentación. Los esfuerzos de captura serán dirigidos al rescate de individuos y carga génica, más que a salvar poblaciones completas, aunque idealmente se debe rescatar el mayor número de individuos (Griffith, Scott, Carpenter, & Reed, 1989; Fisher & Lindenmayer, 2000).

- Relocalización (fase III): propende hacia la continuidad espacio-temporal de las poblaciones de fauna. En esta fase se recomienda la liberación inmediata (liberación dura), para evitar el amansamiento, enfermedad y estrés de los individuos. La zona de liberación debe tener la misma extensión y características ecológicas iguales o superiores que las del hábitat original (Turberville, Clark, Buhlmann, & Gibbons, 2005). La reubicación, además de beneficiar las poblaciones desplazadas, es una alternativa para el repoblamiento de ecosistemas naturales degradados. Los reptiles y anfibios se deben transportar en bolsas de lona húmeda o recipientes plásticos con orificios y reubicarlos en varios sitios; los mamíferos se deben reubicar en menos de 24 horas y transportarlos en bolsas de lona o guacales, de acuerdo con su tamaño.

Con el fin de dar cumplimiento a los requerimientos de la autoridad ambiental, en el caso del encuentro de pichones o animales heridos, se recomienda vincular

una unidad médico-veterinaria que pueda atender las posibles eventualidades sobre la salud y brindar atención primaria a estos individuos. Dentro del plan de rescate se establecerán los contactos necesarios para cumplir esta actividad; se informará el lugar donde queden depositados los individuos con el fin de realizar visitas pertinentes de verificación y validación de las acciones técnicas ejecutadas y definir las actividades de liberación de los especímenes con el fin de dar estricto cumplimiento al plan de rescate de fauna silvestre. Todos los eventos serán documentados y anexados en el respectivo informe de ejecución del plan de rescate.

Debido a que la tala es la operación forestal de mayor riesgo, la cuadrilla debe estar perfectamente coordinada, para lo cual se definen las siguientes funciones:

a. Supervisor: profesional calificado con experiencia en el derribo direccional de árboles, responsable de planificar la operación en campo, coordinar la cuadrilla y administrar adecuadamente los equipos y materiales (motosierras, escaleras, arneses, cuerdas, mosquetones). Debe velar por la seguridad tanto de los miembros de la cuadrilla, como de todas las personas y bienes que puedan verse afectados por la caída de ramas y troncos, así como verificar el cumplimiento de las medidas de manejo de fauna. Debe controlar que todos los miembros de la cuadrilla, incluido él, usen los equipos de protección personal (casco, gafas y tapa oídos), además de usar una vestimenta y calzado adecuados.

b. Motosierrista: operario calificado, certificado para trabajo en alturas y con experiencia en la tala de árboles en ambientes urbanos. Debe inspeccionar el árbol y el sitio antes de iniciar la actividad para hacer un chequeo de elementos riesgosos para la operación. Debe además identificar la presencia de fauna en el árbol o grupo de árboles, tanto de insectos nocivos como de aves, mamíferos y otros grupos.

c. Auxiliares: todos los demás miembros de la cuadrilla, mínimo dos, que apoyan las actividades de desramado, limpieza, cierre temporal de vías y pasos peatonales; igualmente deberán poseer la respectiva certificación en competencia laboral.

El personal encargado de los trasplantes y las talas debe estar capacitado y calificado para estas labores

- Medidas de seguridad para los trabajadores:
 - a. Usar y mantener en buenas condiciones botas con puntas de acero, cascos, guantes y orejeras.
 - b. Mantener la motosierra y el equipo (cuñas, cuerdas, cables y otros) en buenas condiciones de trabajo.
 - c. Trabajar con señales y a distancias donde se puedan escuchar las indicaciones del supervisor. Regularmente se debe apagar la motosierra para comunicarse entre la cuadrilla como medida de precaución.
 - d. Se deben suspender las operaciones y alejarse del área de trabajo si existen fuertes vientos, lluvia, tormentas eléctricas o cuando se considere que la operación es riesgosa.
 - e. Remover los elementos que obstaculicen el área de la operación.
 - f. Elegir una o varias rutas de escape, las cuales deberán estar atrás o al lado de la dirección de la caída y cuando menos, deben tener 6 metros de distancia del tronco que se va a talar.
 - g. Utilizar las cuñas tanto como sea posible, para evitar que el árbol se asiente en el corte de derribo.
 - h. Advertir a los trabajadores que estén alrededor de la zona de trabajo cuando se va a iniciar el corte de derribo y antes de terminarlo.
 - i. Al momento del derribo, ubicarse en el lado opuesto del lugar de caída o de la inclinación del árbol.
 - j. Localizar las trozas producto de la tala en la parte baja de la pendiente
 - k. Nunca dejar iniciado el trabajo, ya que el material que queda en el sitio implica riesgo para peatones y vehículos.

En la operación de la tala se debe cerrar el área de influencia de caída del árbol, en un radio de aproximadamente dos veces la altura del árbol. Iniciar la tala del árbol desde la copa hasta la base, realizando los amarres necesarios y el direccionamiento adecuado del individuo. Se debe tener especial cuidado con líneas eléctricas debido al riesgo de electrocución.


Después de la tala

De acuerdo con lo estipulado en el inventario forestal y la propuesta de manejo presentada por el solicitante a la autoridad ambiental, es recomendable eliminar el tocón (destoconado), con el fin de adecuar el sitio para una nueva siembra. Para tal fin, se deberá tener especial cuidado con las redes subterráneas de gas, electricidad, telecomunicaciones, alcantarillado y acueducto. Una vez culminada la operación de destoconado, se debe cubrir el espacio vacío con sustrato enriquecido con fertilizantes (especialmente fósforo y potasio), bioestimulantes, mulch, materia orgánica o micorrizas, para facilitar el desarrollo del nuevo árbol. Para una adecuada selección de la especie de acuerdo con el sitio recuperado, se recomienda consultar el numeral 4.2 de la presente guía.

Con respecto al plan de manejo de fauna, se deberá ejecutar la fase IV de monitoreo, que consiste en la evaluación del efecto de recolonización natural de los animales en aquellos ambientes que fueron alterados por la tala de los árboles, como también la evaluación de la adaptación al nuevo hábitat de los individuos reubicados. Para ello se debe contar con un indicador ecológico diseñado en función de cada grupo animal, e incluso por especie. Al respecto, se evaluará el resultado de las medidas adoptadas, como por ejemplo, el retorno de la avifauna al sitio de intervención, así como el seguimiento de los pasos de fauna que se implementen para recomponer la conectividad funcional perdida por la eliminación de árboles, entre otras acciones.

Luego de realizada la tala, el lugar deberá dejarse completamente limpio de trozas, ramas y hojas para evitar accidentes con transeúntes o vehículos. El material resultante de la tala debe considerarse como un importante subproducto y no como desecho. En las zonas urbanas del Valle de Aburrá se generan anualmente 21542 toneladas de subproductos de tala, poda y rocería provenientes de zonas verdes (Parra et al., 2010). Este material puede usarse en la producción de biocombustibles, carbón activado, compostaje para diferentes usos (jardinería, producción de hongos comestibles, recuperación de suelos degradados), mobiliario urbano, construcción de trinchos como medida de conservación de suelos, aplicación directa como material vegetal picado alrededor de los árboles, entre otros.

Sin embargo, el material vegetal picado debe cumplir con


El material
resultante de
la tala debe
considerarse como
un importante
subproducto y no
como desecho

los requerimientos fitosanitarios necesarios, ya que investigaciones recientes en las zonas verdes urbanas del Valle de Aburrá demuestran la presencia de insectos y hongos en parte del material proveniente de árboles atacados por plagas y enfermedades (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia, 2014).

La separación del material directamente en el sitio no es una labor práctica, por lo que se recomienda llevarlo a un centro de acopio y allí picarlo o astillarlo, y tratarlo de ser necesario. Solo en los casos en los cuales se identifique que el material es una fuente de contagio, por ejemplo en palmas muertas por amarillamiento letal, se justifica el aislamiento y tratamiento especial. Transportar el material a un centro de acopio responde, en gran medida, a la dificultad de llevar la máquina picadora o astilladora (*chipper*) a los sitios de intervención, o a que en algunos casos los volúmenes son muy bajos para garantizar su eficiencia. Cuando se justifique el tratamiento para evitar propagar focos de plagas y enfermedades en este material, la aplicación de hongos antagonicos puede ser una solución práctica.

El material no infectado y resultante de talas por obras de infraestructura o por riesgo (no relacionado con condiciones fitopatológicas), podas de formación, de realce y de equilibrio puede picarse y aplicarse directamente en el sitio. Las piezas de mayores dimensiones se pueden transformar para elaborar mobiliario público (banacas y mesas de parque, contrahuellas en escalas, jardineras) y otros usos que se consideren de interés para la comunidad.

6.4. CRITERIOS TÉCNICOS DE DECISIÓN PARA TRASPLANTE Y TALA

La construcción de nueva infraestructura en las áreas urbanas tiene efectos negativos sobre el ambiente; es importante identificar y evaluar estos impactos con el fin de diseñar estrategias de prevención, mitigación y compensación. Por esta razón, antes de decidir la intervención sobre los árboles ubicados en un sitio donde se proyecta una construcción, ya sea tala o trasplante, se debe hacer la pregunta ¿es posible modificar los diseños de la obra? Si la respuesta a esta pregunta es afirmativa, lo más apropiado sería conservar el árbol en el sitio original y no proceder a ninguna intervención sobre él.

Así, los diseños de nuevos proyectos deberían prever la coexistencia en el espacio urbano con árboles y zonas verdes, y planificar los desarrollos de infraestructura en ese sentido. Lo ideal es que antes de elaborar el diseño del proyecto se realice una evaluación muy precisa de todos los árboles presentes y se defina el tratamiento para cada uno ellos. Esto permitiría hacer ajustes en el diseño que permitan conservar algunos árboles en su sitio sin necesidad de intervención. Estos aspectos se desarrollan con mayor profundidad en el capítulo 1.

Cuando un proyecto constructivo afecte una masa arbórea que haga parte de una red ecológica o esté cerca de esta, la autoridad ambiental puede solicitar estudios complementarios relacionados con el recurso faunístico, por lo cual se deberán evaluar los impactos sobre la conectividad ecológica. Estos estudios serán el soporte técnico para la autorización o no de la intervención arbórea, y para la exigencia de implementación de medidas de mitigación de los impactos generados sobre la flora y la fauna.

Asimismo, se deberán valorar los árboles propuestos para tala o trasplante en términos de su importancia cultural, social, paisajística y de singularidad ecológica (especie amenazada, rara o vedada).

Sin embargo, cuando es imposible decidir en favor del árbol, se debe tomar la decisión de trasplante o tala con base en criterios de fácil aplicación. Luego de una evaluación minuciosa de todos los aspectos que se deben considerar cuando se va a talar o a trasplantar un árbol, el criterio técnico debe guiar la decisión, la cual debe estar apoyada por otros aspectos como el social, el cultural, el ecológico y, finalmente, el económico.

Si la especie es sensible al trasplante, se debe considerar la opción de la tala. Se ha encontrado, por ejemplo, que especies originarias de zonas de vida de bosque seco tropical son más resistentes al trasplante que las especies de otras zonas de vida. No obstante, existe muy poca información publicada sobre las respuestas particulares al trasplante de las especies plantadas en nuestras ciudades, lo cual solo se podrá subsanar con investigación sistemática y de largo plazo.

Otros aspectos que se deben considerar para la toma de decisión sobre el trasplante o la tala de los árboles son: el riesgo de volcamiento o caída, el estado físico y fitosanitario, las condiciones del suelo y el acceso al sitio de equipos para el caso de trasplantes, así como las posibilidades de movilización hacia el nuevo sitio (vías, obstáculos), la época climática del año (lo ideal en nuestro medio es que sea en periodos lluviosos) y el tiempo de preparación del árbol.

Cuando un proyecto constructivo afecte una masa arbórea que haga parte de una red ecológica o esté cerca de esta, la autoridad ambiental puede solicitar estudios sobre la conectividad ecológica

Cuando se presentan problemas fitosanitarios leves, se recomienda hacer todo lo posible por recuperar el árbol antes de considerar su eliminación. En estos casos se debe prever el procedimiento y los tratamientos que se van a realizar para recuperar el árbol y así evitar su tala. Sin embargo, cuando se trata de árboles enfermos que no se pueden recuperar con ningún tratamiento, la mejor opción es la tala sobre el trasplante, pues el árbol ya tiene un alto grado de estrés, por lo cual es poco probable que supere con éxito el trasplante. Además, las condiciones fitosanitarias originales de deterioro también inducirán la reducción de la expectativa de vida del árbol.

Respecto al costo de los trasplantes, es importante considerar la información de experiencias locales, las cuales indican que este se incrementa con el tamaño del individuo. Sin embargo, cada caso deberá evaluarse para obtener los valores correspondientes a las condiciones específicas del árbol y su ubicación.

6.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL ÁRBOL EN AMBIENTES URBANOS

Las zonas verdes y el arbolado contribuyen significativamente al mejoramiento de la calidad ambiental en las ciudades en aspectos como: calidad del aire, regulación climática y mitigación de efectos de las islas de calor, captura de carbono, oferta de hábitat y alimento para fauna silvestre y mejoramiento paisajístico. En términos de la percepción de los habitantes de una ciudad, lo que más se valora son aspectos como la tranquilidad, la sensación de sentirse en el bosque y la naturaleza (Tyrväinen, Mäkinen, & Schipperijn, 2007). Una visión similar tienen los habitantes de Bogotá, Cali y Pereira, quienes consideran la riqueza, frecuencia e interconectividad de los fragmentos de bosque y áreas verdes como aspectos especialmente importantes del arbolado urbano (Ordóñez & Duinker, 2014). En el Valle de Aburrá se realizó un estudio piloto sobre la valoración social de redes ecológicas en el sector sur oriental y occidental del municipio de Medellín. Entre sus resultados se encontró una alta valoración social positiva de las áreas verdes como únicos elementos físicos y bióticos urbanos que se asocian con la naturaleza y que son fundamentales para el bienestar de la población (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia, 2009).

Al respecto, para el corredor ecológico Aguacatala – Belén Rincón (sur del municipio de Medellín), se evaluó la disponibilidad para pagar por parte de los habitantes en su área de influencia,

en torno a la propuesta del mantenimiento de las áreas verdes existentes en el corredor y su incremento en un 62 % (consistente en la incorporación al espacio público de dos clubes privados). El resultado obtenido arrojó que la comunidad está dispuesta a aportar recursos equivalentes a un 16 % por encima del valor presupuestado en el estudio, lo cual evidenció una clara viabilidad económica de la propuesta (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia, 2009).

En el Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CONCOL, & AIM, 2007) se desarrolló un modelo de valoración económica del árbol urbano con el objetivo de disponer de una herramienta para la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental urbana para evaluar la afectación por acciones antrópicas o de otro orden y, en consecuencia, establecer con mayor acierto los correspondientes permisos, reposiciones, sanciones, multas o compensaciones. El modelo inicialmente propuesto incluyó 32 variables; sin embargo, luego de una revisión cuidadosa, se identificaron posibles problemas de autocorrelación y multicolinealidad entre las variables que lo explican. Por lo tanto, se realizó una corrección al modelo con base en un análisis estadístico riguroso y en la aplicación de un ejercicio piloto, que dio como resultado la siguiente ecuación:

$$T = -131227 + 76623,9 \cdot DAP + 62574,9 \cdot AIEP + 12058,2 \cdot APE$$

Donde,

T: valor del árbol en pesos

DAP: diámetro a la altura del pecho en centímetros

AIEP: aptitud del individuo dentro del espacio público verde donde está ubicado; las opciones para su calificación son: 10 (óptima), 7 (adecuada) o 1 (inadecuada).

APE: aporte paisajístico de la especie; las opciones para su calificación son: 10 (alto), 6 (moderado) y 2 (bajo).

Con el modelo de valoración económica del arbolado urbano propuesto para el Valle de Aburrá se espera generar un cambio con respecto a la asignación del número de reposiciones tradicionales (X número de árboles plantados por X número de árboles autorizados para tala). Al valorar los impactos ambientales asociados a la pérdida de dichos individuos, la autoridad ambiental podrá exigir una compensación monetaria con la cual es posible adelantar

acciones de mitigación más integrales de los impactos negativos asociados a la tala de árboles en el ambiente urbano.

Actualmente, el modelo se encuentra en una fase de ajuste y de calificación de las diferentes especies existentes en el área urbana del Valle de Aburrá, por parte de expertos en silvicultura urbana, para su posterior implementación en la región.

6.6. SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las consideraciones ecológicas y los criterios para el desarrollo de los trasplantes y talas de árboles en el Valle de Aburrá.

Adicionalmente, se propone un procedimiento técnico para cada una de estas dos intervenciones silviculturales, consideradas mayores por su impacto ambiental, y se resalta la importancia de contar con personal idóneo para el desarrollo de los procedimientos. La idoneidad del personal hace referencia a la capacitación por competencias, la certificación a través de instituciones reconocidas como el SENA, y la experiencia en la aplicación de protocolos silviculturales como los presentados en esta guía.

El trasplante se considera la operación forestal más severa sobre el árbol, y como tal, se debe hacer seguimiento periódico para garantizar su éxito. Asimismo, el trasplante se considera terminado cuando el sistema radical alcanza un tamaño comparable al de un árbol no trasplantado, lo cual puede ocurrir, en términos generales, después de dos años. En caso de que el trasplante no fuese exitoso después de ese periodo, se debe realizar la correspondiente reposición. Se considera imprescindible fortalecer las investigaciones con estudios sistemáticos que permitan mejorar las técnicas de trasplante, la determinación de especies susceptibles a esta intervención y demás aspectos relevantes en el tema.

Por otra parte, la tala de árboles en ambientes urbanos representa riesgos, tanto para los operarios y habitantes de la zona, como para todo el sistema biótico y la vida silvestre asociada a estas áreas. Estos riesgos se deben controlar con protocolos como los propuestos en la presente guía, en los cuales se asignan roles claramente definidos a cada uno de los responsables de cada obra o intervención.

Asimismo, los impactos asociados a las talas se deben mitigar mediante la aplicación estricta de los protocolos establecidos en el plan de manejo de fauna o planes de rescate, donde se ejecutarán

cada una de las fases propuestas: ahuyentamiento, salvamento, reubicación y monitoreo de la fauna que se encuentre asociada a los árboles que se van a intervenir. De igual manera, se debe identificar si existe un impacto sobre grandes áreas que rompa la conectividad ecológica existente y que impida la distribución de flujos de energía sobre los diferentes grupos de fauna que se presenten en el área. Con respecto a las medidas compensatorias, se debe seguir lo previsto en el capítulo 7 de la presente guía.

6.7. REFERENCIAS

- Álvarez, E. et al. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forest of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297-308.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Aunar esfuerzos técnicos y económicos para el desarrollo e implementación de un plan de manejo integral para el arbolado urbano del Valle de Aburrá con énfasis en intervenciones para el control de la muerte súbita*. Convenio 471 de 2012. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Consultoría Colombiana - CONCOL, & Arredondo y Madrid - AIM. (2007). *Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/ZonasVerdes/Paginas/Publicaciones.aspx>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia. (2009). *Caracterización biótica, valoración social y económica de las áreas verdes asociadas a una red de conectividad ecológica, como base para el manejo y gestión de la red ecológica en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Convenio 207 de 2007. Medellín. Recuperado de: [http://www.metropol.gov.co:9000/ZonasVerdes/Documents/Caracterización%20Biótica,%20Valoración%20Social%20y%20Económica%20de%20las%20Áreas%20Verdes/IF_Convenio207_VersionFinal_Junio\(Preliminares\).pdf](http://www.metropol.gov.co:9000/ZonasVerdes/Documents/Caracterización%20Biótica,%20Valoración%20Social%20y%20Económica%20de%20las%20Áreas%20Verdes/IF_Convenio207_VersionFinal_Junio(Preliminares).pdf)
- Bevinton, K. & Castle, W. (1985). Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110(6), 840-845.
- Broschart, T. (2012). *Transplanting palms in the landscape*. University of Florida - IFAS Extension.
- Campana, R. (1999). *Arboriculture: History and development in North America*. East Lansing: Michigan State University.
- Craven, S., Barnes, T., & Kania, G. (1998). Toward a professional position

- on the translocation of problem wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 26, 171-177.
- Cregg, B. & Dix, M. (2001). Tree moisture stress and insect damage in urban areas in relation to heat island effects. *Journal of Arboriculture*, 27(1), 8-17.
- Cunningham, A. (1991). Bovine spongiform encephalopathy and British zoos. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 22, 304-308.
- Empresas Públicas de Medellín, UNE, & Universidad Nacional de Colombia (2012). *Segunda fase del plan de manejo del componente arbóreo (PMCA fase II), en los corredores de distribución de servicios de transmisión y distribución de energía, de conducción de agua potable y alcantarillado de EPM E.S.P.; y de las líneas de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) de UNE EPM Telecomunicaciones S.A., ubicadas dentro de las zonas urbanas de los municipios del Valle de Aburrá*. Medellín: Empresas Públicas de Medellín
- Fisher, J. & Lindenmayer, D. (2000). An assessment of the published results of animal translocations. *Biological Conservation*, 96, 1-11.
- Forman, R. & Alexander, L. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207-231.
- Frawely, E. (2000). *Adiestramiento policial de perros de rastreo*. [En línea] Recuperado de <http://leerburg.com/spanish9.htm>. Consultado el 18 de abril de 2014.
- Gilman, E. & Beeson, R. (1998). Nursery production method affects root growth. *Journal of Environmental Horticulture*, 14, 88-90.
- Gilman, E. F. (1990). Tree root growth and development. II. Response to culture, management and planting. *Journal of Environmental Horticulture*, 8, 220-227.
- Gomez-Pompa, A. (1987). On Maya silviculture. *Mexican Studies*, 3(1), 1-17.
- Grantz, D., Garner, J., & Johnson, D. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2), 213-239.
- Grey, G. & Deneke, F. (1978). *Urban Forestry*. New York: John Wiley and Sons.
- Griffith, B., Scott, J., Carpenter, J., & Reed, C. (1989). Translocation as a species conservation tool: status and strategy. *Science*, 245, 477-480.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Jardín Botánico José Celestino Mutis. (2001). *Manual de arborización para Bogotá*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Lauderdale, D. et al. (1995). Tree transplant size influences post-transplant growth, gas exchange, and leaf water potential of 'October Glory' red maple. *Journal of Environmental Horticulture*, 13(4), 178-181.
- Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stress* (vol. I). New York: Academic Press.
- Lodé, T. (2000). Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *Ambio*, 29, 163-166.
- Madsen, T., Shine, R., Olsson, M. & Wittzell, H. (1999). Restoration of an inbred Adder population. *Nature*, 402, 34-35.
- Martínez, J., Medina, M., & Herrero, M. (1996). *Árboles en la ciudad. Fundamentos de una política pública ambiental basada en el arbolado urbano*. s.l.:Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- McDonnell, M. & Pickett, S. (1990). Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71, 1232-1237.
- Moffat, A. (1989). The new site. En: B. Hibberd (Ed). *Urban forestry practice* (pp. 40-47). London: HMSO Books.
- Morales, L. & Varón, T. (2006). *Árboles ornamentales en el Valle de Aburrá: elementos de manejo*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Ordóñez, C. & Duinker, P. (2014). Urban forest values of the citizenry in three Colombian cities. *Society & Natural Resources: An International Journal*, 27(8), 834-849.
- Parra, R., Saénz, O., & Pulgarín, J. (2010). *Guía para el manejo de los productos de tala, poda y rocería*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Pirone, P. (1950). *Maintenance of shade and ornamental trees*. New York: Oxford University Press.
- Restrepo, D. et al. (2003). Ecuaciones de biomasa para palmas del subdosel y sotobosque. En S. Orrego, J. del Valle, F. Moreno (Eds.), *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático* (pp. 121-143). Bogotá: Panamericana.
- Rodríguez, J. & Cataño, M. (2009). *Diseño y construcción de un sistema electrónico de ahuyentamiento de aves por medio de recursos sonoros y visuales para la protección de campos de cultivo*. Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Shine, R. & Koenig, J. (2001). Snakes in the garden: an analysis of reptiles "rescued" by community-based wildlife cures. *Biological Conservation*, 102, 271-283.
- Shochat, E. et al. (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 186-191.
- Struve, D., Burchfield, L. & Maupin, C., 2000. Survival and growth of transplanted large- and small-caliper red oaks. *Journal of Arboriculture*, 26, 162-169.
- Turberville, D., Clark, E., Buhlmann, E. & Gibbons, J. (2005). Translocation as a conservation tool: site fidelity and movement of repatriated gopher tortoises (*Gopherus polyphemus*). *Animal Conservation*, 8, 349-358.

- Tyrväinen, L., Mäkinen, K., & Schipperijn, J. (2007). Tools for mapping social values of urban woodlands and other green areas. *Landscape and Urban Planning*, 79, 5-19.
- Vásquez, A. & Ramírez, A. (2005). *Maderas comerciales en el Valle de Aburrá*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Villagrán-Mella, R., Aguayo, M., Parra, L. & González, A. (2006). Relación entre características de hábitat y estructura del ensamble de insectos en humedales palustres urbanos del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79, 195-211.
- Watson, G., (1996). Tree transplanting and establishment. *Arnoldia*, 56(4), 11-16.
- Watson, W., (2005). Influence of tree size on transplant establishment and growth. *HortTechnology*, 15(1), 118-122.
- Zapata, M., Colorado, G. & Del Valle, J. (2003). Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. En S. Orrego, J. del Valle, F. Moreno (Eds.), *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático* (pp. 87-144). Bogotá: Panamericana.





7. NORMATIVA ASOCIADA A LA GESTIÓN DE LA FLORA Y EL ARBOLADO URBANO


María Cristina Cardona
mariacardonav1@gmail.com

Nicolás Darío Ramírez
Área Metropolitana del Valle de Aburrá
nicolas@metropol.gov.co

7.1. INTRODUCCIÓN

Los graves problemas ambientales que desde hace décadas agobian al planeta obligaron al establecimiento de políticas y normas ambientales que respondieran, aunque todavía de manera no muy eficaz, al deterioro del entorno natural, por lo que se dio inicio a su valoración jurídica y política.

En el ámbito internacional, la protección al medio ambiente como derecho fundamental se trató por primera vez en la Conferencia de Estocolmo en 1972, cuya declaración consagró 26 principios, entre los cuales el más importante es el del medio ambiente como un derecho humano fundamental. Posteriormente, en la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 se promulgó la Declaración de Río, la cual mediante 27 principios busca desarrollar la Declaración de Estocolmo, con énfasis en el desarrollo sostenible. En 1994, la Resolución 45 de la Asamblea General de Naciones Unidas


En el ámbito internacional, la protección al medio ambiente como derecho fundamental se trató por primera vez en la Conferencia de Estocolmo en 1972

declaró la necesidad de asegurar un medio ambiente sano para el bienestar de las personas.

En el ámbito nacional, Colombia dio un paso importante en el establecimiento de normas ambientales a partir de la expedición del Código de Recursos Naturales y del Medio Ambiente en 1974 y del Código Sanitario Nacional en 1979. Sin embargo, el derecho ambiental colombiano cobra vida a partir de la nueva Constitución Política, que se erige como ecológica en 34 de sus disposiciones. Consecuentemente se expide la Ley del Medio Ambiente (Ley 99 de 1993) que las desarrolla, y el Estado suscribe y aprueba convenios, tratados, convenciones, acuerdos y pactos internacionales, tanto multilaterales como bilaterales, sobre medio ambiente, pues los correctivos para minimizar los impactos negativos en un mundo globalizado no dan espera.

En consonancia con el espíritu de la Constitución Política, la Corte Constitucional, por su parte, concluye en la sentencia T-608 de agosto 12/2011 (M. P. Juan Carlos Henao Pérez) que:

[...] a nivel internacional la protección del medio ambiente se entiende como un derecho fundamental, por el cual los Estados deben procurar su defensa con el fin de proteger generaciones futuras, de tal forma que se debe abstener de desarrollar conductas que atenten contra la naturaleza y se logre la sostenibilidad de la misma.

De acuerdo con lo anterior, tenemos en el derecho internacional la primera fuente del derecho ambiental colombiano, bajo el postulado del desarrollo humano sostenible; no obstante, este es un concepto mal entendido y peor aplicado en nuestro país, pues más del 70 % de la población actual de Colombia se concentra en los centros urbanos (Baldión, Salamanca, & González, 2008), los cuales en la mayoría de los casos han tenido un crecimiento desordenado, producto de una débil planificación. Este fenómeno obedece más a las consecuencias de la violencia vivida en las zonas rurales que a políticas estatales, lo cual ha producido concentraciones de población en zonas no aptas para los asentamientos humanos, que otrora cumplían una función ecológica. Los municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) no son ajenos a esta problemática, por lo cual aún hoy se sigue presentando la destrucción de zonas verdes en las laderas y riberas del río Medellín-Aburrá, que hasta hace pocas décadas conservaban vestigios de bosques naturales, sin que la comunidad ni las autoridades emprendan medidas y tomen acciones que se compadezcan del daño ambiental causado.

En este capítulo se presenta el mapa jurídico que regula la gestión del recurso flora y el arbolado urbano en Colombia y específica-

mente en el Valle de Aburrá (Figuras 1 y 2). Para ello se analiza el sistema normativo en orden jerárquico, comenzando por la Constitución Nacional, las leyes y decretos nacionales, hasta llegar a las normas locales y la identificación de instrumentos de gestión, con el fin de orientar a la comunidad sobre la normatividad aplicable al arbolado urbano y las zonas verdes.

Como marco de referencia, en la Figura 1 se presenta un esquema de la estructura del derecho ambiental colombiano y en la Figura 2, la tipología y estructura jerárquica de las normas ambientales en Colombia. Así mismo, al final del capítulo se proponen algunos lineamientos para que sean regulados por la autoridad ambiental, con el fin de fortalecer su quehacer en torno a la gestión integral y la protección de las zonas verdes y el arbolado urbano en su jurisdicción.

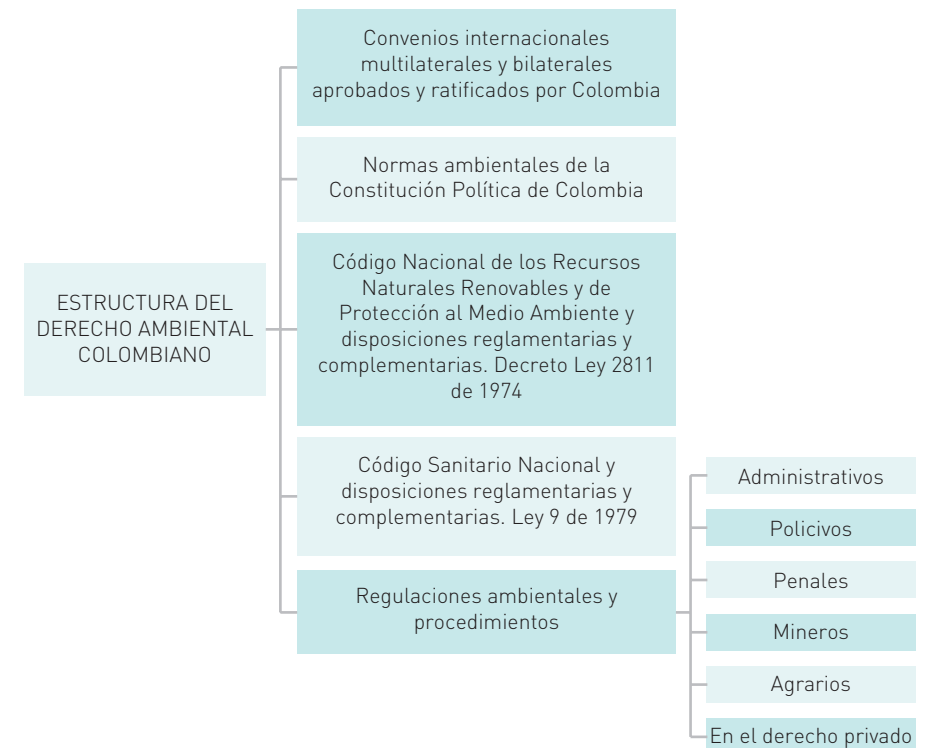


Figura 1. Estructura del derecho ambiental colombiano.

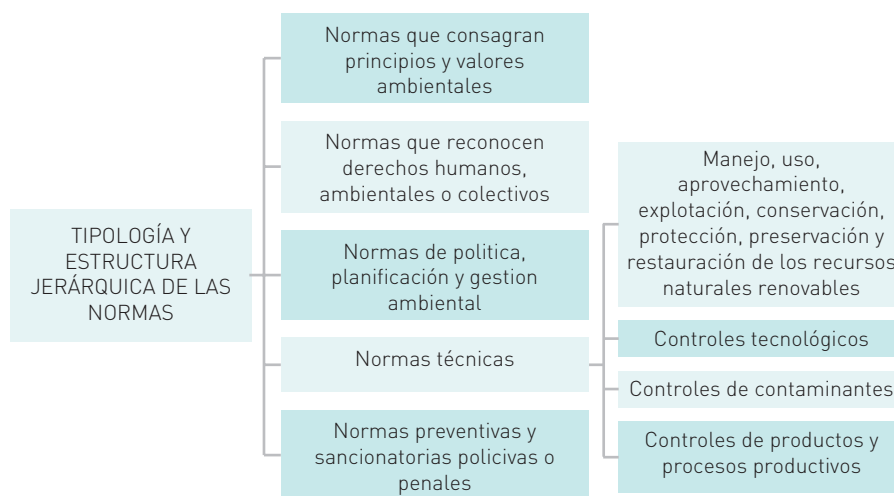



Figura 2.
Tipología y estructura jerárquica de las normas ambientales en Colombia.

7.2. NORMAS NACIONALES

7.2.1. Constitución Política de 1991

La Carta le asigna al Estado la función de planificar, administrar, proteger y aplicar las medidas sancionatorias que sean necesarias para garantizar la defensa y adecuado manejo de los recursos naturales; impone deberes en cuanto a su protección y la conservación de un ambiente sano; y le atribuye a la propiedad privada una función ecológica, lo cual quiere decir que prima el derecho colectivo sobre el derecho particular [artículos 8, 58, 79, 80, 81, 82, 84 y 95, numeral 8, de la Constitución Nacional].

En el artículo 79 establece que

-  Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Así mismo, la Corte Constitucional en la Sentencia T-415 de 1992 (M. P. Ciro Angarita Barón) se pronunció con relación al derecho a un ambiente sano:

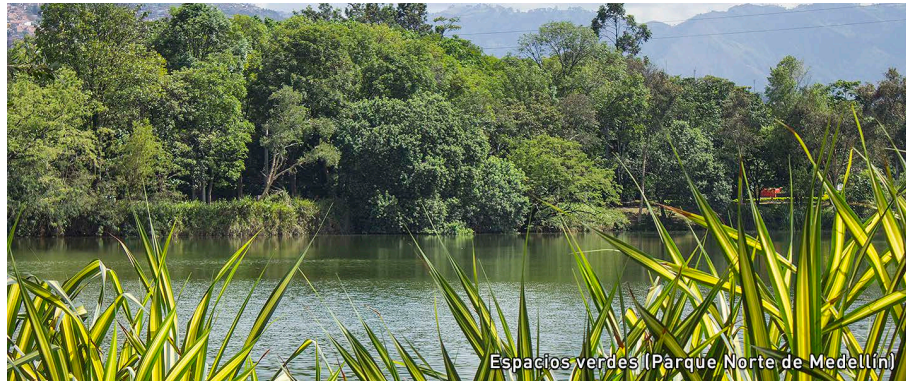
El derecho al medio ambiente y, en general, los derechos de la llamada tercera generación han sido concebidos como un conjunto de condiciones básicas que rodean al hombre, que circundan su vida como miembro de la comunidad y que le permiten la supervivencia biológica e individual, además de su desempeño normal y desarrollo integral en el medio social. De esta manera deben tenerse como fundamentales para la supervivencia de la especie humana.

Se destaca del precepto constitucional de un ambiente sano como una necesidad para un desarrollo social armónico, concepto muy amplio que, desde los recursos y las necesidades básicas, está muy lejos de ser una realidad en nuestras zonas urbanas. La calidad del aire, el ruido, la contaminación y la falta de espacios verdes como generadores y hospederos de vida no lo garantizan. En el proceso de urbanización de los municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la escasa planificación no tuvo en cuenta durante décadas el crecimiento demográfico y modificó sin ningún reparo las zonas verdes y la flora que antes abundaban en el territorio. Esta es la razón por la cual se debe priorizar la recuperación de las zonas degradadas en la medida de lo posible, integrando al ciudadano a través de la educación y la concientización como veedor, gestor y ejecutor de las políticas relacionadas con el tema.

7.2.2. Decreto Ley 2811 de 1974 o Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente

El Decreto Ley 2811 de 1974 o Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente es la principal norma sustantiva en el campo ambiental. Este Decreto Ley tiene como fin la preservación y manejo sostenible de los recursos naturales renovables del país, lo cual requiere que se armonice el desarrollo del hombre con estos, teniendo en cuenta que son la base para la salud y el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Para ello fija límites e impone restricciones a la contaminación producto de las actividades económicas y prioriza la protección y restauración de áreas naturales del territorio nacional de especial valor ecológico. Sin embargo, a pesar de la claridad y coherencia de este código, su aplicación no ha producido los efectos deseados, si se tiene en cuenta la falta de voluntad política para ponerlo

*Todas las personas
tienen derecho
a gozar de un
ambiente sano*



en práctica y la cultura de depredación que tanto arraigo tiene en el ciudadano colombiano; además, las autoridades ambientales no ejercen su función con la severidad requerida. Por ejemplo, en establecimientos dedicados a la comercialización de maderas en todo el país se ofrecen piezas de especies vedadas por encontrarse en peligro de extinción, lo cual muestra que desde el bosque hasta el centro de consumo no se aplicaron las normas ambientales que las protegen.

Con relación al uso de suelos no agrícolas, el Código establece cómo se debe planificar el desarrollo urbano y su zonificación espacial, y contempla el establecimiento de zonas verdes con arborización ornamental, de manera que se garantice el derecho a un ambiente sano (Título II, Capítulo I, Usos urbanos, habitacionales e industriales, arts. 187-189). De estos artículos se infiere la obligación por parte de los entes territoriales de planificar el desarrollo urbano sobre la base de la arborización necesaria en los espacios determinados para tal fin, y se destaca la importancia ambiental de los individuos arbóreos en su función ecológica, con lo que se da cumplimiento al principio fundamental de garantizar un ambiente sano para la comunidad: (Figura 3).

El crecimiento desordenado y las ocupaciones de hecho o “invasiones” de terrenos que por sus condiciones de pendiente, entre otras, no deberían ser habitados, agrupan a la mayoría de la población urbana del Valle de Aburrá, con consecuencias nefastas como la desaparición de zonas verdes y flora en general, así como riesgos de tragedias, especialmente en épocas lluviosas, todo lo cual disminuye sensiblemente la calidad del ambiente y de vida de sus moradores.

Aunque el Código se expide con mucha antelación a la Constitución Política de 1991, su vigencia es inobjetable en el sentido de que vela por la conservación y cuidado de la flora como componente básico ambiental (Figura 4), camino que sigue la Carta

Magna, en cuanto destaca la importancia de implementar las medidas de protección que garantizan la conservación de este recurso, medida que en los centros urbanos es particularmente importante, pues es precisamente allí donde, por los fenómenos poblacionales anteriormente expuestos, corre mayor peligro de desaparecer.

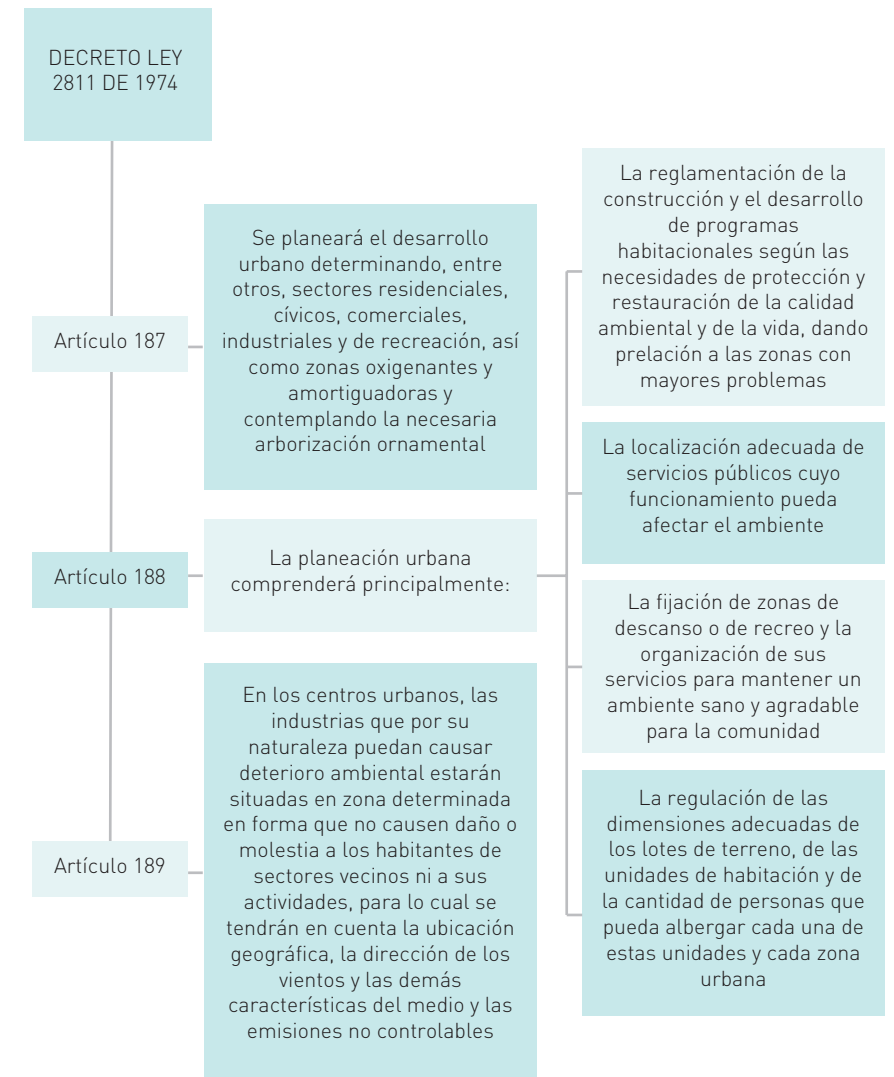


Figura 3. Planeación urbana en el Código de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente.

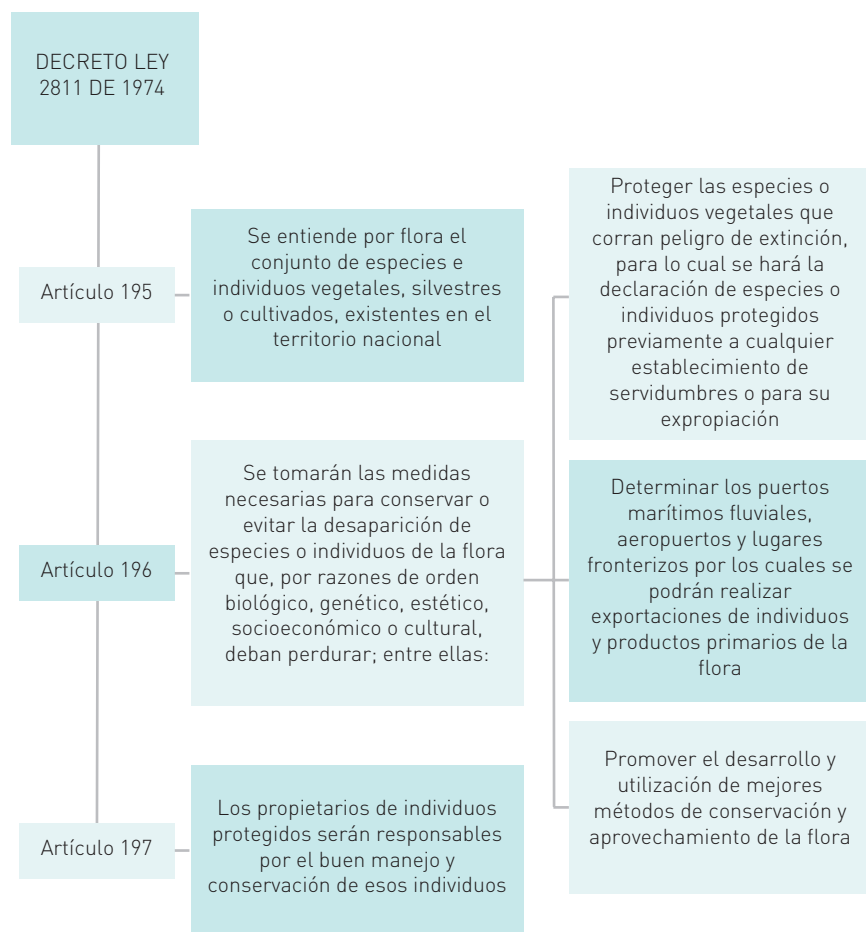


Figura 4.
Manejo y conservación de la flora en el Código de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente.

El Código de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente marcó la pauta para construir un sistema normativo ambiental en Colombia, que posteriormente se afianzó con la Constitución de 1991 y la Ley 99 de 1993. Las tres normas contienen casi todos los elementos que permiten proteger el medio ambiente en forma integrada como un sistema, partiendo del concepto de desarrollo sostenible. Sin embargo, en las tres se superponen elementos que en su interpretación reflejan posturas diversas sobre la relación sociedad-naturaleza, las cuales generan conflicto sobre el futuro del medio ambiente en Colombia. Este hecho es particularmente crítico, habida cuenta de la necesidad imperiosa e inmediata de

políticas claras y contundentes que reordenen las zonas urbanas de manera que podamos vivir en ciudades con calidad ambiental óptima.

Se necesita entonces establecer políticas y prácticas educativas que fomenten entre los ciudadanos el respeto, la apropiación y el cuidado de los árboles y las zonas verdes, pues de poco sirve tanta legislación frente a la falta de compromiso, especialmente de los ciudadanos como destinatarios finales del derecho fundamental a un ambiente sano.

7.2.3. Ley 99 de 1993

En desarrollo del mandato constitucional, en especial de lo consagrado en los artículos 79 y 80 de la Carta, el Congreso de la República expidió la Ley 99 de 1993, por medio de la cual se creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), cuyo fin es estructurar la autoridad ambiental, administrar los recursos naturales renovables (recuperación, conservación, manejo, uso y aprovechamiento) y propender por una relación armónica entre el hombre y la naturaleza, en aras de un desarrollo sostenible.

Hacen parte de dicho sistema las Corporaciones Autónomas Regionales y los Grandes Centros Urbanos, dentro de los cuales se encuentra el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, cuya función incluye la formulación de políticas y normas que permitan la preservación y control de los recursos naturales y del ambiente dentro de su territorio y el control y vigilancia de los mismos.

Con relación al tema que nos ocupa, la citada Ley establece:

Artículo 1 Principios Generales Ambientales. La política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales:

[...]

3. Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

[...]

6. La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, **las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución** conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas efica-

Se necesita establecer políticas y prácticas educativas que fomenten entre los ciudadanos el respeto, la apropiación y el cuidado de los árboles y las zonas verdes

ces para impedir la degradación del medio ambiente.

(...)

8. El paisaje por ser patrimonio común deberá ser protegido.

(...)

13. Para el manejo ambiental del país, se establece un Sistema Nacional Ambiental, SINA, cuyos componentes y su interrelación definen los mecanismos de actuación del Estado y la sociedad civil.

14. Las instituciones ambientales del Estado se estructurarán teniendo como base criterios de manejo integral del medio ambiente y su interrelación con los procesos de planificación económica, social y física. (Negritas nuestras).

En el entorno urbano, el derecho de los seres humanos a una vida saludable está indisolublemente ligado a la permanencia, cuidado e incremento de las zonas verdes con su respectivo componente florístico; la calidad de vida que producen los árboles y las zonas verdes en el suelo urbano es inconmensurable en la medida en que contrarrestan los efectos negativos de la transformación y la intervención humana en la construcción de obras civiles. Además, la consideración del paisaje como patrimonio común implica para todos la responsabilidad de su conservación; teniendo en cuenta que el arbolado como parte del paisaje es un recurso cada vez más escaso, necesita de una atención prioritaria.

Artículo 2 Creación y Objetivos del Ministerio del Medio Ambiente. Créase el Ministerio del Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente Ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

(...)

Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente coordinar el Sistema Nacional Ambiental, SINA, que en esta Ley se organiza, para asegurar la adopción y ejecución de las políticas y de los planes, programas y proyectos respectivos, en orden a garantizar el cumplimiento de los deberes y

derechos del Estado y de los particulares en relación con el medio ambiente y con el patrimonio natural de la Nación.

La Ley 99 de 1993 creó el SINA con la finalidad de poner en marcha los principios generales ambientales contenidos en ella (artículo 1º), a través de normas, recursos, programas e instituciones, que son el fundamento de las políticas de desarrollo y sostenibilidad ambiental, en las cuales la conservación de la biodiversidad se establece como prioritaria, teniendo en cuenta que es un patrimonio nacional de interés para la humanidad.




Artículo 3 Del concepto de Desarrollo Sostenible. Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

El concepto de desarrollo sostenible se idealiza y su aplicación se dificulta, pues para lograrlo tenemos que utilizar los recursos naturales renovables sin agotarlos y garantizar el derecho al disfrute de ellos por parte de las generaciones futuras. Conciliar este principio con la realidad del manejo y aprovechamiento de los recursos, particularmente en nuestro país, actualmente es imposible, teniendo en cuenta que su explotación y el deterioro medioambiental están produciendo fenómenos climáticos desastrosos, así como una acelerada desaparición de recursos de todo tipo. Se reitera que lamentablemente se produjeron daños irreparables en el proceso de urbanización del Valle de Aburrá, motivo por el cual el desarrollo sostenible debe ser asumido como un duro desafío para la autoridad ambiental y la ciudadanía; el

reto se plantea desde la gestión, la educación y la concientización, pues, insistimos, de nada sirve la legislación y la coerción en su aplicación.

El acelerado fenómeno de urbanización y en general de construcción de obras civiles demanda la ocupación de las escasas zonas verdes existentes en nuestra región metropolitana. La reposición de individuos arbóreos se establece como una fórmula mediante la cual se reemplazan los árboles intervenidos para compensar el daño causado, pero no necesariamente es así, pues un árbol pequeño, recién plantado no compensa los servicios ambientales que provee un árbol adulto. Por ello, la compensación se debe cuantificar en términos de una adecuada valoración de la función ecológica del arbolado; así mismo, es deber de los constructores planificar la labor más bajo el principio de conservar y aprovechar las bondades de los árboles y sus servicios, que en proponer ante la autoridad ambiental el permiso de aprovechamiento forestal con el compromiso de la reposición. Es decir, planificar con el árbol, no sin él.


 **Artículo 4** Sistema Nacional Ambiental, SINA. El Sistema Nacional Ambiental, SINA, es el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales contenidos en esta Ley. Estará integrado por los siguientes componentes:

- Los principios y orientaciones generales contenidos en la Constitución Nacional, en esta Ley y en la normatividad ambiental que la desarrolle.
- La normatividad específica actual que no se derogue por esta Ley y la que se desarrolle en virtud de la ley.
- Las entidades del Estado responsables de la política y de la acción ambiental, señaladas en la ley.
- Las organizaciones comunitarias y no gubernamentales relacionadas con la problemática ambiental.
- Las fuentes y recursos económicos para el manejo y la recuperación del medio ambiente.
- Las entidades públicas, privadas o mixtas que realizan actividades de producción de información, investigación científica y desarrollo tecnológico en el campo ambiental.

El Gobierno Nacional reglamentará la organización y funcionamiento del Sistema Nacional Ambiental, SINA.

Parágrafo. Para todos los efectos la jerarquía en el Sistema Nacional Ambiental, SINA, seguirá el siguiente orden descendente: Ministerio del Medio Ambiente, Corporaciones Autónomas Regionales, Departamentos y Distritos o Municipios.

El SINA no solo está constituido por entidades públicas, sino que reclama también la presencia de otros actores, entre ellos los ciudadanos; por ejemplo, la aplicación de la Ley 99 de 1993 en la solución de la problemática ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá implica la participación de todos sus habitantes; además, como habitantes del planeta demandamos recursos naturales durante el transcurso de nuestra existencia, y es esta la razón por la cual estamos en la obligación de actuar permanentemente en procura de la sostenibilidad.


 **Artículo 66.** Competencia de Grandes Centros Urbanos. Los municipios, distritos o **áreas metropolitanas** cuya población urbana fuere igual o superior a un millón de habitantes (1.000.000) **ejercerán dentro del perímetro urbano las mismas funciones atribuidas a las Corporaciones Autónomas Regionales, en lo que fuere aplicable al medio ambiente urbano.** Además de las licencias ambientales, concesiones, permisos y autorizaciones que les corresponda otorgar para el ejercicio de actividades o la ejecución de obras dentro del territorio de su jurisdicción, las autoridades municipales, distritales o metropolitanas tendrán la responsabilidad de efectuar el control de vertimientos y emisiones contaminantes, disposición de desechos sólidos y de residuos tóxicos y peligrosos, dictar las medidas de corrección o mitigación de daños ambientales y adelantar proyectos de saneamiento y descontaminación (...). (Negritas nuestras).

En este artículo, el legislador establece que las funciones atribuidas a las Corporaciones Autónomas Regionales las cumpla la autoridad ambiental en los grandes centros urbanos. Esto las convierte en las entidades gubernamentales con las que la comunidad y los industriales tienen mayor contacto, pues son las encargadas del licenciamiento de proyectos y expedición de permisos ambientales en su jurisdicción, además de ser receptoras de quejas de la comunidad, que cobran particular importancia, pues son el punto de partida para iniciar los procedimientos administrativos que den cuenta del cumplimiento de la normatividad ambiental.

La autoridad ambiental es el contacto directo entre el Estado y la comunidad en cuanto al medio ambiente se refiere; es por ello que permanentemente se debe fortalecer esa relación, pues resulta

complejo para la autoridad percatarse de todas las infracciones que se cometen, y más bien son los habitantes de cada una de las comunas y barrios los que a través de la manifestación de sus inconformidades le suministran información para el cumplimiento de sus funciones.

El quehacer del Área Metropolitana del Valle de Aburrá debe estar orientado al cumplimiento de las funciones y los principios que se establecen en esta ley y en el artículo 4° de la Ley 128 de 1994, por la cual se expide la Ley Orgánica de las Áreas Metropolitanas.

 **Artículo 4.** Funciones. Son funciones de las Áreas Metropolitanas, entre otras, las siguientes:

- 1ª. Programar y coordinar el desarrollo armónico e integrado del territorio colocado bajo su jurisdicción.
- 2ª. Racionalizar la prestación de los servicios públicos a cargo de los municipios que la integran, y si es el caso, prestar en común algunos de ellos.
- 3ª. Ejecutar obras de interés metropolitano (ver Ley 9 de 1989, Ley 2 de 1991, Ley 388 de 1997).

La aplicación del principio de precaución que se consagra en el numeral 6 del artículo 1° de la Ley 99 de 1993 se convierte en una prioridad para la protección de los recursos naturales, pues, como su nombre lo indica, su función es evitar y prever el daño antes de que se produzca. Este principio tiene su fundamento en el *in dubio pro natura*; por lo tanto, ante el desconocimiento o incertidumbre sobre los impactos que tendrá cierta actividad sobre los recursos naturales y la salud de los seres vivos, la autoridad ambiental debe aplicarlo.

En el mismo sentido, es importante hacer referencia al principio de rigor subsidiario, consagrado en el artículo 63 de la Ley 99 de 1993, en concordancia con el artículo 288 de la Constitución Nacional, el cual determina que “el ejercicio de las funciones en materia ambiental por parte de las entidades territoriales se sujetará a los principios de armonía regional, gradación normativa y rigor subsidiario”. El rigor subsidiario hace referencia a las autoridades competentes del nivel regional, departamental, distrital o municipal, y consiste en que estas pueden hacer más rigurosas las normas ambientales que regulan el uso, manejo, aprovechamiento y movilización de los recursos naturales renovables, cuando las condiciones locales especiales así lo requieran.


Con el fin de profundizar y aclarar el significado de este principio, se citan los siguientes apartes del pronunciamiento No. 1048 del

19 de marzo de 1998 de la Sala de Consulta y Servicio Civil del Consejo de Estado (C. P. Augusto Trejos Jaramillo):

Principio de rigor subsidiario

(...)

El artículo 288 superior determina que las competencias atribuidas a los diferentes niveles territoriales se ejercerán de conformidad con los principios de coordinación, concurrencia y subsidiariedad. El principio de subsidiariedad permite que las instancias superiores de autoridad puedan intervenir en los asuntos propios de las demás instancias solo cuando estas se muestran incapaces de hacerlo, o, a la inversa, que los municipios puedan ejercer competencias atribuidas a otros niveles territoriales, en subsidio de estos, cuando se cumplan plenamente las condiciones establecidas para ello.

 **Reparto de competencias y medio ambiente.** El ordenamiento constitucional radica en el Estado la obligación de proteger las riquezas naturales; en consecuencia le asiste a este velar por que se conserven la diversidad e integridad del ambiente y las áreas de especial importancia ecológica; así mismo le corresponde planificar el manejo y aprovechamiento de dichos recursos. El derecho a disfrutar de un medio ambiente sano es un derecho constitucional exigible por medio de diversos medios jurídicos, tales como la acción de cumplimiento (ley 393 de 1997), las acciones populares (art. 88 C. N.) aún no reglamentadas y acciones policivas.

La Constitución Nacional contiene preceptos que permiten deducir que el medio ambiente es un tema compartido por los órdenes nacional, departamental y municipal; es así como les otorga a las asambleas departamentales la facultad de expedir disposiciones relacionadas con el ambiente y a los concejos municipales las de reglamentar el uso del suelo y dictar normas necesarias para el control, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural del municipio. Lo anterior indica que existen unos aspectos ambientales que se agotan en el límite municipal y pueden ser regulados autónomamente por el municipio. Ellos conforman el llamado “patrimonio ecológico”.

El Congreso puede expedir una legislación básica nacional que evite el deterioro del patrimonio ecológico municipal y proteja el derecho al medio ambiente sano en ese ámbito local, y compete a los municipios y a las autoridades in-

dígenas proferir la correspondiente regulación en el nivel local. Es decir, la competencia del Congreso y la de los municipios y autoridades indígenas, en relación con el patrimonio ecológico local, es concurrente en cumplimiento de lo dispuesto por la Constitución Nacional en su artículo 288.

Nuestra Carta Política en su artículo 84 señala que “Cuando un derecho o una actividad hayan sido reglamentados de manera general, las autoridades públicas no podrán establecer ni exigir permisos, licencias o requisitos adicionales para su ejercicio”. **Ha de entenderse que si la Constitución atribuye a las entidades territoriales la facultad de dictar normas para la protección del ambiente y el patrimonio ecológico local, corresponde al legislador regular esas materias respetando la competencia propia de dichas entidades y en ningún momento podrá interpretarse que ese artículo establece una reserva de ley. La reglamentación que expida el Congreso, en relación con el ambiente y patrimonio ecológico local, debe conservar su carácter general y permitir la actividad de las entidades mencionadas sin invadir o restringir el espacio propio de las mismas, dado que las competencias son en este aspecto concurrentes.** (Negritas nuestras)

[...]

Cabe señalar que al referirse la norma que se comenta a **las autoridades competentes del nivel regional**, entre otras, como encargadas de la aplicación del rigor subsidiario, incluye a las Corporaciones Autónomas Regionales habida consideración de que estas, de acuerdo con lo dispuesto en el numeral 2º. del artículo 31 de la ley 99 de 1993, ostentan el carácter de “máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción” y que, por disposición expresa del artículo 8º. del decreto 1768 de 1994, las Corporaciones al expedir los actos relacionados con el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables deben dar aplicación al citado principio. (Negritas nuestras)

Para que se pueda dar aplicación al principio de rigor subsidiario resulta imperativo, de una parte, la existencia de una disposición de carácter superior que reglamente el recurso natural renovable y, de otra, que las circunstancias locales o regionales lo reclamen, pues el principio en mención solo es aplicable respecto de los recursos naturales renovables que tienen incidencia en la respectiva entidad territorial. (Negritas nuestras)

En conclusión, las autoridades ambientales de los niveles regional, departamental, distrital o municipal, en aplicación del principio de rigor subsidiario, pueden ejercer con mayor severidad sus funciones en cuanto a la conservación del medio ambiente se refiere y hacer más rigurosas las medidas tendientes a su preservación, lo que puede significar limitar el ejercicio de acciones individuales que atenten contra el arbolado urbano.

Culturalmente, tiene mucho peso el desconocimiento por parte de la comunidad de la normativa que protege el recurso flora. Debido a ello, por necesidad o por arbitrariedad, se realizan muchas intervenciones sin que la entidad se percate del hecho, o cuando esto sucede, el causante del daño ambiental no puede ser requerido, pues se desconoce su identidad.



Paseo peatonal y ciclorruta en el Parque Natural Regional Metropolitano Cerro El Volador

7.2.4. Decreto 1791 de 1996

En desarrollo de lo consagrado en la Ley 99 de 1993, se expidió el Decreto 1791 de 1996, en el cual se regulan las obligaciones de la administración pública y de los particulares respecto al uso, manejo, aprovechamiento y conservación de los bosques y la flora silvestre, con el fin de lograr su desarrollo sostenible. Los siguientes artículos de esta norma contextualizan el tema que nos ocupa:

- 🌿 **Artículo 57.** Cuando se requiera talar o podar árboles aislados localizados **en centros urbanos que por razones de su ubicación, estado sanitario o daños mecánicos estén causando perjuicio a la estabilidad de los suelos, a canales de agua, andenes, calles, obras de infraestructura o edificaciones, se solicitará por escrito autorización** a la autoridad competente, la cual tramitará la solicitud de inmediato, previa visita realizada por un funcionario competente que compruebe técnicamente la necesidad de talar o podar. (Negritas nuestras).

Artículo 58. Cuando se requiera talar, trasplantar o reubicar árboles aislados localizados en centros urbanos, para la realización, remodelación o ampliación de obras públicas o privadas de infraestructura, construcciones, instalaciones y similares, se solicitará autorización ante la Corporación respectiva, ante las autoridades ambientales de los grandes centros urbanos o ante las autoridades municipales, según el caso, las cuales tramitarán la solicitud, previa visita realizada por un funcionario competente, quien verificará la necesidad de tala o reubicación aducida por el interesado, para lo cual emitirá concepto técnico.

La autoridad competente podrá autorizar dichas actividades, consagrando la obligación de reponer las especies que se autoriza talar. Igualmente, señalará las condiciones de la reubicación o trasplante cuando sea factible.

Parágrafo. Para expedir o negar la autorización de que trata el presente artículo, la autoridad ambiental deberá valorar entre otros aspectos, las razones de orden histórico, cultural o paisajístico, relacionadas con las especies objeto de solicitud.

En aplicación de los artículos citados y teniendo en cuenta la gran cantidad de solicitudes que se reciben en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el usuario debe cumplir con los requisitos legales, de conformidad con lo establecido en el formulario SINA, y con la presentación de la información complementaria que se indica en el Anexo 1 del presente capítulo.

Lo relevante, además de la facultad que se otorga a la autoridad ambiental para la expedición de este tipo de autorizaciones, es la preocupación por la demanda exagerada de tales solicitudes, pues ello evidencia que en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá los particulares, constructores y el sector público requieren para el desarrollo de sus proyectos la ocupación de espacios verdes y la consecuente tala de individuos arbóreos. Estos espacios son cada vez más escasos en la jurisdicción de la entidad, con el agravante de que tampoco se dispone de zonas para la reposición de los árboles intervenidos, pues en el sitio de la construcción normalmente no caben los individuos que se repondrán, teniendo en cuenta que la proporción que se ordena es de 2:1 o 3:1, según el caso.

Especial cuidado merece este tema, porque los árboles adultos cuya función ecológica y paisajística es mayor son los más demandados para las intervenciones, por lo que es importante evaluar el impacto de las talas y el efecto de mitigación de las reposiciones propuestas. El cambio del entorno asociado a las intervenciones

arbóreas produce efectos negativos, de modo que sería recomendable, para reemplazar el árbol talado, evaluar los principales servicios ambientales que provee, por ejemplo, determinar cuánto carbono tiene retenido, cuánta radiación solar captura su copa, qué fauna asociada está presente, o qué aporte realiza al paisaje, entre otros. Para ello, es indispensable desarrollar y establecer instrumentos de valoración económica de los servicios ambientales que prestan las zonas verdes y el arbolado urbano, de manera que la reposición y compensación sean efectivas en términos de garantizar la minimización del impacto ambiental.

En las actuaciones administrativas por medio de las cuales se autoriza un aprovechamiento o intervención del árbol urbano es importante establecer las obligaciones de la manera más clara y precisa posible, con el fin de que, primero, el usuario lo haga sin afectar los recursos más allá de lo autorizado y, segundo, para que la autoridad ambiental, en ejercicio de su función de control y vigilancia, verifique el cumplimiento de lo ordenado, y en caso de que se compruebe una afectación a los recursos naturales, tenga los elementos probatorios necesarios para establecer la responsabilidad sobre los mismos e imponer la sanción administrativa de carácter ambiental a que haya lugar.

Guías técnicas

Artículo 39. Las Corporaciones elaborarán guías técnicas que contendrán la forma correcta de presentación de la solicitud, del plan de manejo forestal, del plan de aprovechamiento forestal y de las consideraciones ambientales, establecidas como requisito para el trámite de las diferentes clases de aprovechamiento, con el fin de orientar a los interesados en aprovechar los bosques naturales y los productos de la flora silvestre.

Artículo 40. Los términos de referencia generales para la elaboración de los planes de aprovechamiento forestal, de manejo forestal y de las consideraciones ambientales, así como de los estudios para el aprovechamiento de productos de la flora silvestre serán realizados por las Corporaciones. En todo caso el Ministerio del Medio Ambiente podrá establecer criterios generales a los cuales se deberán someter dichos términos de referencia. Las Corporaciones elaborarán términos de referencia de acuerdo con las características sociales, económicas, bióticas y abióticas de cada región.

Las guías técnicas de las que tratan los artículos citados son herramientas fundamentales para la gestión de las autoridades ambientales en cuanto al aprovechamiento del recurso, pero

Las guías técnicas son herramientas fundamentales para la gestión de las autoridades ambientales en cuanto al aprovechamiento del recurso

es importante indicar que, en la jurisdicción del AMVA, la flora silvestre es escasa y en el mismo sentido la autorización de aprovechamiento de este recurso se restringe al máximo. En cuanto a los términos de referencia de acuerdo con las características sociales, económicas, bióticas y abióticas de la región, la Guía para el manejo de los productos de tala, poda y rocería, proyectada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional, 2010), establece cómo deben desarrollarse técnicamente estas labores y el aprovechamiento de los subproductos resultantes de las mismas.

En cuanto al aprovechamiento de la madera resultante de la labor de tala y poda del arbolado urbano, especialmente de individuos grandes y de maderas comerciales, se debe tener en cuenta que esta es un bien público. Por lo tanto, en su destinación y uso debe conservar tal categoría, por lo cual se puede usar en muebles para parques, jardines, centros educativos o en la construcción de obras, entre otros.

Subproductos de la intervención del componente arbóreo

Artículo 59. Los productos que se obtengan de la tala o poda de árboles aislados, en las circunstancias descritas en el presente capítulo, podrán comercializarse, a criterio de la autoridad ambiental competente.

Con fundamento en el artículo 59, la autoridad ambiental se encuentra facultada para autorizar la comercialización de estos productos, para lo cual se propone lo siguiente:

Madera resultante de podas y talas:

- Comercializarse previa autorización de la autoridad ambiental.
- Darse como pago a terceros por la realización de las labores.
- Entregarse a entidades sin ánimo de lucro para su uso social (elaboración de implementos decorativos realizados por madres cabeza de familia, por ejemplo).
- Mobiliario urbano.

Material vegetal:

- Producción de abonos orgánicos para la recuperación de suelos.

- Insumos para la plantación, propagación u otras actividades propias de la arborización.
- Entregarse a entidades sin ánimo de lucro para su uso social o para los usos anteriormente mencionados.

Control y vigilancia

Artículo 84. De conformidad con la Ley 99 de 1993, corresponde a las Corporaciones, a las autoridades ambientales de los grandes centros urbanos y a las entidades territoriales, **ejercer las funciones de control y vigilancia, así como impartir los órdenes necesarios para la defensa del ambiente en general y de la flora silvestre y los bosques en particular.** (Negritas nuestras).


Artículo 89. Las Corporaciones, dentro de la órbita de sus funciones, competencias y principios establecidos en la Ley 99 de 1993, **podrán establecer condiciones adicionales a las contempladas en este Decreto** con el fin de proteger los bosques y la flora silvestre que por sus características especiales así lo requieran. (Negritas nuestras).

Con relación a estos artículos es importante resaltar, primero, que una de las funciones primordiales de la autoridad ambiental es el control y la vigilancia, con el fin de verificar el cumplimiento de las obligaciones impuestas a los usuarios, y que la intervención a los recursos naturales se realice de modo tal que garantice su sostenibilidad y sin generar afectaciones negativas. Segundo, que dichas autoridades tienen la facultad de regular aspectos que no se encuentren en esa ley, relativos a la protección del recurso flora.

De ahí deviene la competencia del Área Metropolitana del Valle de Aburrá para realizar los ajustes normativos que se requieran con el fin de fortalecer y proteger el recurso flora, en especial el arbolado urbano y las zonas verdes.

7.2.5. Resolución 1367 de 2000

Mediante esta resolución se establece el procedimiento para las autorizaciones de importación y exportación de especímenes de la diversidad biológica que no se encuentran listadas en los apéndices de la Convención CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), que es un acuerdo internacional concertado entre los gobiernos, cuya finalidad es velar porque el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituya una amenaza para su supervivencia. El artículo 7° señala:

 *Las Corporaciones, podrán establecer condiciones adicionales con el fin de proteger los bosques y la flora silvestre*



Espacio urbano arbolado (Parque Explora de Medellín)

Excepciones. Se exceptúan del procedimiento contemplado en la presente resolución los productos forestales en segundo grado de transformación, además, flor cortada, follaje y demás productos de la flora silvestre no obtenidos mediante aprovechamiento del medio natural; lo anterior sin incluir las semillas y material vegetal de especies forestales con destino a la reforestación, conforme al artículo 235 del Decreto-ley 2811 de 1974.

Parágrafo primero. Para efectos de dar cumplimiento a lo dispuesto en el presente artículo, los interesados en importar o exportar productos forestales en segundo grado de transformación, o flor cortada, follaje y demás productos de la flora silvestre no obtenidos mediante aprovechamiento del medio natural podrán adelantar sus trámites ante las autoridades de comercio exterior y de aduanas, anexando certificación de la Corporación Autónoma Regional o de la Unidad Ambiental de los grandes centros urbanos competentes donde conste que están dando cumplimiento a lo dispuesto en los artículos 64 a 68 del Decreto 1791 de 1996.

Este artículo 7° se encuentra reglamentado por la Resolución 454 de 2001, que por su parte establece:

Artículo 4. Certificación. Una vez las autoridades ambientales competentes verifiquen la información suministrada en el libro de operaciones y en el informe anual de actividades por parte de las industrias o empresas forestales, los criaderos, viveros, cultivos de flora o establecimientos de similar naturaleza expedirán la certificación a la que alude el parágrafo primero del artículo séptimo de la Resolución No. 1367 del 29 de diciembre de 2000 del Ministerio del Medio Ambiente.

Parágrafo primero. Para el efecto anterior, se establece el formato que se anexa a la presente resolución y hace parte integral de ella.

Por lo tanto, es obligación de la autoridad ambiental expedir la certificación a los viveros, previo cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 4° de la Resolución 454 de 2001, con base en el libro de operaciones y el informe anual de actividades que presenta el interesado. Esta herramienta de control es fundamental para garantizar que los viveros en los cuales se está produciendo el material vegetal que se destinará para el arbolado urbano cumplan con los requisitos de sanidad y calidad.

Además de la certificación ambiental, se requiere también la certificación sanitaria, que es competencia del ICA. De manera que cuando un usuario presente una propuesta de reposición de árboles, es imperioso exigirle que aporte ambos certificados para que no queden dudas sobre la procedencia del material vegetal que se va a sembrar.

7.2.6. Ley 1333 de 2009

Artículo 1. Titularidad de la potestad sancionatoria en materia ambiental. El Estado es el titular de la potestad sancionatoria en materia ambiental y la ejerce sin perjuicio de las competencias legales de otras autoridades a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, **las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible, las Unidades Ambientales de los grandes centros urbanos** a que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, los establecimientos públicos ambientales a que se refiere el artículo 13 de la Ley 768 de 2002 y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, UAESPNN, de conformidad con las competencias establecidas por la ley y los reglamentos. (Negritas nuestras).

Parágrafo. En materia ambiental, se presume la culpa o el dolo del infractor, lo cual dará lugar a las medidas preventivas. El infractor será sancionado definitivamente si no desvirtúa la presunción de culpa o dolo, para lo cual tendrá la carga de la prueba y podrá utilizar todos los medios probatorios legales.

Artículo 2. Facultad a prevención. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales; **las Corporaciones Autónomas Regionales y**

las de Desarrollo Sostenible; las Unidades Ambientales Urbanas de los grandes centros urbanos a que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993; los establecimientos públicos a los que hace alusión el artículo 13 de la Ley 768 de 2002; la Armada Nacional; así como los departamentos, municipios y distritos, quedan investidos a prevención de la respectiva autoridad en materia sancionatoria ambiental. En consecuencia, estas autoridades están habilitadas para imponer y ejecutar las medidas preventivas y sancionatorias consagradas en esta ley y que sean aplicables, según el caso, sin perjuicio de las competencias legales de otras autoridades. (Negritas nuestras).

Artículo 5. Infracciones. Se considera infracción en materia ambiental toda acción u omisión que constituya violación de las normas contenidas en el Código de Recursos Naturales Renovables, Decreto-ley 2811 de 1974, en la Ley 99 de 1993, en la Ley 165 de 1994 y en las demás disposiciones ambientales vigentes que las sustituyan o modifiquen y en los actos administrativos emanados de la autoridad ambiental competente. Será también constitutivo de infracción ambiental la comisión de un daño al medio ambiente, con las mismas condiciones que para configurar la responsabilidad civil extracontractual establece el Código Civil y la legislación complementaria, a saber: el daño, el hecho generador con culpa o dolo y el vínculo causal entre los dos. Cuando estos elementos se configuren, darán lugar a una sanción administrativa ambiental, sin perjuicio de la responsabilidad que para terceros pueda generar el hecho en materia civil.

Parágrafo 1. En las infracciones ambientales se presume la culpa o dolo del infractor, quien tendrá a su cargo desvirtuarla.

Parágrafo 2. El infractor será responsable ante terceros de la reparación de los daños y perjuicios causados por su acción u omisión.

El ejercicio de la potestad sancionatoria reposa en cabeza de la autoridad ambiental en los municipios de su jurisdicción, y como tal se encuentra facultada para iniciar procedimientos sancionatorios ambientales, cuando se compruebe dentro del debido proceso la comisión de una falta por acción u omisión, cuyo resultado final puede ser la imposición de multas y sanciones. Es importante indicar que la facultad sancionatoria ambiental del Estado se ejerce a través de sanciones administrativas y medidas preventivas.

Los daños causados al arbolado urbano por malas prácticas de podas, talas y encerramientos, entre otros, son permanentes, con el agravante de que a los ciudadanos, por desconocimiento o arbitrariedad en la comisión de este tipo de infracciones, no les preocupa mucho cuáles serán las consecuencias de su accionar, pues para la autoridad ambiental es muy difícil establecer responsabilidades, salvo cuando el individuo sea sorprendido en flagrancia o existan pruebas contundentes del daño ambiental. Por eso, se reitera la importancia del compromiso y apropiación ciudadana, de manera que cuando las zonas verdes y el arbolado urbano sean afectados por cualquier circunstancia, se ponga en conocimiento de la autoridad ambiental para que esta actúe de conformidad.

En materia sancionatoria ambiental, la responsabilidad es objetiva, es decir, le compete al investigado demostrar que él no es el responsable del hecho. Lo anterior, teniendo en cuenta que el bien jurídico protegido es el recurso natural; por ello es necesario comprobar la ocurrencia del daño y verificar la existencia de culpa o dolo en la generación del mismo y la existencia de un nexo causal entre los dos. En cuanto a las infracciones ambientales, la Ley establece que se presume culpa o dolo por parte del infractor, y que es a él a quien le corresponde desvirtuarlo; es decir, se le otorga la carga de la prueba, y si no lo hace se le sanciona definitivamente. En cuanto a los daños o intervenciones no autorizadas al arbolado urbano, la sanción es una multa.

7.2.7. Ley 1437 de 2011 (Código Contencioso Administrativo)

Artículo 47. Procedimiento administrativo sancionatorio. Los procedimientos administrativos de carácter sancionatorio no regulados por leyes especiales o por el Código Disciplinario Único se sujetarán a las disposiciones de esta Parte Primera del Código. Los preceptos de este Código se aplicarán también en lo no previsto por dichas leyes.

Las actuaciones administrativas de naturaleza sancionatoria podrán iniciarse de oficio o por solicitud de cualquier persona. Cuando como resultado de averiguaciones preliminares, la autoridad establezca que existen méritos para adelantar un procedimiento sancionatorio, así lo comunicará al interesado. Concluidas las averiguaciones preliminares, si fuere del caso, formulará cargos mediante acto administrativo en el que señalará, con precisión y claridad, los hechos que lo originan, las personas naturales o jurídicas objeto de la investigación, las disposiciones

En materia sancionatoria ambiental, le compete al investigado demostrar que él no es el responsable del hecho

presuntamente vulneradas y las sanciones o medidas que serían procedentes. Este acto administrativo deberá ser notificado personalmente a los investigados. Contra esta decisión no procede recurso.

El procedimiento sancionatorio ambiental está compuesto por diez etapas, que son:

1. Indagación preliminar
2. Archivo definitivo o apertura de la investigación
3. Notificación al infractor
4. Intervenciones
5. Verificación de los hechos
6. Formulación de cargos y notificación o cesación del procedimiento
7. Descargos
8. Práctica de pruebas
9. Determinación de responsabilidad y sanción
10. Notificación y publicación

Contra el acto administrativo sancionatorio proceden los recursos de reposición y apelación.


7.3. NORMAS LOCALES


7.3.1. Plan maestro de espacios públicos verdes urbanos de la región metropolitana del Valle de Aburrá (Acuerdo Metropolitano No. 16 de 2006)


El Área Metropolitana del Valle de Aburrá como ente planificador regional y como máxima autoridad ambiental urbana en los municipios de Medellín, Caldas, La Estrella, Itagüí, Sabaneta, Bello, Barbosa, Copacabana y Girardota, formuló y adoptó mediante Acuerdo Metropolitano No. 16 de 2006 el Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual se constituye en un instrumento de política mediante el cual se da inicio a una gestión continuada en el tiempo y

en el territorio de uno de sus principales activos ambientales: el espacio público verde y la flora urbana.


A continuación se presentan los cinco lineamientos de política propuestos por el Plan Maestro para la gestión integral de las zonas verdes y el arbolado urbano en el Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – CONCOL & AIM, 2007):


 **Lineamiento de Política 1** - Coordinación y cooperación interinstitucional en la gestión del espacio público verde y de la flora urbana: se desarrollarán las acciones de integración y coordinación interinstitucional necesarias de manera que se garantice el ágil y adecuado flujo de comunicación e información necesaria para la toma de decisiones e implantación de acciones en desarrollo de las diversas facetas de la gestión del sistema de espacios públicos verdes y de la flora urbana. Se gestionarán, además, de manera concertada entre los entes involucrados en los procesos propios de la gestión, las acciones tendientes a adoptar y administrar de manera dinámica y coordinada un sistema de estándares (instrumentos de gestión técnica, económica y normativa) a través de los cuales se cuente con la información y las herramientas tecnológicas y de conocimiento más adecuadas, de forma que se garanticen las mejores prácticas en la gestión del espacio público verde y de la flora urbana; para ello se formularán y adoptarán los mecanismos de aseguramiento de la calidad necesarios, regulando los procesos, procedimientos e instrumentos de intervención del espacio público verde y de la flora urbana.

 **Lineamiento de Política 2** - Gestión sostenible del suelo verde y conectividad ecológica: se gestionarán las acciones tendientes a ampliar y a sostener la oferta o infraestructura verde urbana metropolitana, incrementando los actuales índices de espacio público verde per-cápita a nivel regional y local, contribuyendo con ello a la configuración de un sistema metropolitano de espacios públicos verdes con criterios ecológicos, esto es, a la configuración de una Red Ecológica Metropolitana.

 **Lineamiento de Política 3** - Más y mejores espacios públicos verdes a través del enverdecimiento y la naturalización del paisaje urbano metropolitano: se inducirá un replanteamiento del manejo de las áreas verdes urbanas en su rol de espacios públicos verdes, en términos del reconocimiento de su funcionalidad ecológica en el marco de su carácter urbano y social y se propenderá por articular los propósitos urbanísticos con procesos ecológicos,

admitiendo que estos espacios, además de sus funciones estéticas, visuales y recreativas, constituyen hábitat para la fauna urbana no doméstica y están llamados a ser espacios de flujos bióticos y abióticos y de dinámicas ecológicas claves para la sustentabilidad ambiental urbana. Esta articulación será la base de un proceso de mayor naturalización del paisaje urbano metropolitano, de manera que el enverdecimiento no se limitará al manejo de árboles individualmente, sino de áreas (espacios públicos verdes), sobre las cuales se apliquen principios ecológicos relacionados con la estructura y función de los ecosistemas urbanos.

 **Lineamiento de Política 4** - Participación ciudadana para la apropiación y cogestión del espacio público verde: se adelantarán programas interadministrativos e interinstitucionales a través de los cuales se promueva la apropiación por parte de las comunidades del espacio público verde y de la flora urbana en su connotación de bien prestador de fundamentales servicios ambientales, incentivando y estimulando a las organizaciones cívicas a desarrollar prácticas tendientes a la vigilancia, protección y conservación de este recurso en sus ámbitos territoriales. Se fomentará con ello la participación ciudadana y la educación, formación y sensibilización ambiental tendiente a promover y construir una cultura verde en torno a los espacios públicos verdes y a la flora urbana.

 **Lineamiento de Política 5** - Innovación y conocimiento para la gestión del espacio público verde: se desarrollarán acciones de investigación, de educación especializada y de adopción y transferencia de nuevas tecnologías, buscando mejorar, en el contexto propio de la gestión del espacio público verde y de la flora urbana en la región metropolitana, el estado del arte en técnicas silviculturales, diseño ecológico y ecología del paisaje, para desarrollar instrumentos técnicos de conocimiento que aumenten la eficacia de las acciones propias de la gestión.

7.3.2. Resoluciones Metropolitanas No. D0000218 del 25 de febrero de 2011 y No. D0000243 del 7 de marzo de 2011

Luego de la adopción del Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos mediante el Acuerdo Metropolitano No.16 de 2006, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá expidió la Resolución D0000218 de 2011, la cual en su artículo 1º exige a las personas naturales o jurídicas, de naturaleza pública o privada, interesadas

en adelantar un trámite de aprovechamiento forestal ante la Entidad que, además del Formulario Único Nacional establecido por el SINA debidamente diligenciado, deberán realizar la entrega de planos y documentos de soporte con información detallada de la zona a intervenir y la posible afectación a la conectividad ecológica y la fauna silvestre (Anexo 1).

La Resolución Metropolitana No. D0000243 del 7 de marzo de 2011, modificó parcialmente el artículo 1º de la No. D0000218 del 25 de febrero de 2011, en el sentido de no solicitar la presentación de la información adicional al formulario SINA, teniendo en cuenta que la evaluación técnica es el elemento del cual depende su exigencia y el insumo que le permite a la autoridad ambiental decidir sobre la pertinencia de otorgar el permiso de aprovechamiento forestal.

7.4. ANÁLISIS DEL MAPA JURÍDICO Y LINEAMIENTOS


Del mapa jurídico de la normatividad aplicable a la protección de las zonas verdes y el arbolado urbano en Colombia, se concluye que este recurso necesita con urgencia una apropiación por parte de la comunidad, como punto de partida para garantizar su sostenibilidad, y la aplicación de los principios rectores de la Ley 99 de 1993 por parte de la autoridad ambiental.

Es fundamental que el ciudadano se apropie, respete y defienda las zonas verdes y el arbolado urbano, que exija de las autoridades la aplicación de la ley, para garantizar su protección y conservación. Este proceso requiere por parte de las autoridades ambientales, así como de los demás actores institucionales involucrar a la comunidad mediante la educación y la concientización, teniendo en cuenta que las zonas verdes y el arbolado urbano son un patrimonio común y, como tal, a todos nos cabe la responsabilidad de velar por ellos.

De acuerdo con el aporte de actores estratégicos de la región durante el proceso de elaboración de la presente guía, se proponen los siguientes lineamientos para ser regulados por la autoridad ambiental, con el fin de fortalecer su quehacer y proteger las zonas verdes y el arbolado urbano en su jurisdicción:

Expedición de fichas técnicas

En las cuales se consigne la información que se le debe solicitar al usuario cuando presenta una solicitud (adi-


Es fundamental que el ciudadano se apropie, respete y defienda las zonas verdes y el arbolado urbano

cional al Formulario Único Nacional de Aprovechamiento Forestal, si es el caso). La implementación de las fichas permitirá mejorar la atención, ya que dependiendo de la solicitud (árbol en riesgo, queja, infraestructura, etc.), el interesado presentará la información completa y se evitarán requerimientos posteriores para adicionar la información o el archivo del trámite, mediante acto administrativo por desistimiento. Adicionalmente, tener la mayor cantidad de información posible permitirá a las autoridades determinar la pertinencia de otorgar un permiso de aprovechamiento.

En cuanto a la reposición y la compensación:

Reposición: exigir al usuario que presente simultáneamente la solicitud de aprovechamiento y la propuesta de reposición, las cuales deberán contener la mayor cantidad de información posible, incluyendo la procedencia del individuo(s) que se repondrá(n). El Área Metropolitana del Valle de Aburrá trabaja actualmente en la adopción de un modelo de valoración económica del árbol en ambientes urbanos (ver capítulo 6), de cuya aplicación se espera una reposición que compense ambientalmente el impacto generado por la pérdida del individuo arbóreo.

Compensación: en muchos casos, y debido a la falta de espacio para realizar la reposición, es necesario establecer medidas de compensación tendientes a la conservación del espacio público verde. En caso de no ser posible, se debe instaurar un mecanismo de compensación monetaria. La región avanza hacia la valoración económica de los servicios ambientales que prestan las zonas verdes y el arbolado urbano, instrumento fundamental para establecer la compensación de zonas verdes desde lo ecológico, social, cultural y paisajístico, de tal forma que se mantenga el índice de espacio verde per cápita en niveles óptimos para garantizar la calidad ambiental urbana.

Establecer guías técnicas

Las autoridades ambientales deben establecer guías técnicas que permitan al usuario conocer qué se requiere para solicitar un permiso de aprovechamiento forestal, las especies aptas para la reposición, cuáles son las prácticas silviculturales que se deben cumplir para la siembra, establecimiento, mantenimiento y conservación de los árboles, así como las prácticas de manejo que se deben desarrollar en los viveros con el fin de garantizar la buena calidad de los individuos que proveen, entre otros.



Certificación en silvicultura urbana

Una vez se autorice la intervención, la autoridad ambiental debe exigir del usuario (tanto público como privado) la acreditación de la persona que realizará las intervenciones y la reposición, en relación con su idoneidad y capacidad técnica.

Certificación de viveros

En cumplimiento de lo ordenado en la Resolución 454 de 2001, es imperioso que las autoridades ambientales implementen la certificación de viveros con base en las buenas prácticas ambientales que garantizan la calidad del material vegetal que allí se produce.

Control y seguimiento

Es preciso cumplir con esta obligación impuesta por la ley a las autoridades. Ellas deben vigilar que las actividades autorizadas al permisionario se cumplan de conformidad con los lineamientos establecidos, así como los tiempos y las propuestas paisajísticas presentadas al momento de tramitar la solicitud. Para ello, es necesario que las obligaciones que se le impongan al usuario sean lo más claras y concretas posibles para que sean exigibles.

En conclusión, es preciso que las autoridades ambientales den aplicación efectiva a la normativa que regula la gestión del espacio verde y el arbolado urbano; así como que la comunidad se apropie del recurso y a través de los mecanismos de participación ciudadana exija a los entes territoriales la destinación de los recursos necesarios y permanentes para la protección y conservación de las zonas verdes y el arbolado urbano, en defensa del derecho fundamental al ambiente sano.

Es preciso que los entes territoriales destinen los recursos necesarios y permanentes para la protección y conservación de las zonas verdes y el arbolado urbano, en defensa del derecho fundamental al ambiente sano

7.5. REFERENCIAS

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Consultoría Colombiana - CONCOL, & Arredondo y Madrid - AIM. (2007). *Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín*. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/ZonasVerdes/Paginas/Publicaciones.aspx>






Baldión, E., Salamanca, L., & González, C. (2008). *Análisis de la estructura y composición de las principales variables demográficas y socioeconómicas del Censo 2005*. Informe final. [En línea]. DANE. Recuperado de www.dane.gov.co/censo/files/Grupo_mixto22%20_PUBL.pdf

Parra, R., Saénz, O., & Pulgarín, J. (2010). *Guía para el manejo de los productos de tala, poda y rocería*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín; Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

7.6. ANEXO 1. SOLICITUD DE INTERVENCIONES AL ARBOLADO URBANO ANTE LA AUTORIDAD AMBIENTAL (ÁREA METROPOLITANA VALLE DE ABURRÁ)

Todas las personas naturales y jurídicas, de carácter público o privado, están obligadas a tramitar la solicitud de intervención ante la autoridad ambiental, para realizar intervenciones a los árboles aislados en centros urbanos. Este procedimiento administrativo está contenido en el artículo 58 del Decreto 1791 de 1996, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Los documentos requeridos para presentar la solicitud ante el Área Metropolitana Valle de Aburrá son los siguientes:

En predios privados:

-  Formulario SINA diligenciado, el cual se puede descargar de http://www.metropol.gov.co/ciudadanos/FormatosSINA/aprove_bosque_naturales.pdf
-  Certificado de Existencia y Representación legal actualizado (si es persona jurídica)
-  Certificado de tradición y libertad del predio (fecha de expedición no superior a 3 meses)
-  Escrituras públicas del predio
-  Inventario forestal georreferenciado que contenga:

- Documento en el que se expliquen las características biofísicas y ecológicas del predio, antecedentes de uso del predio, interferencia de los árboles objeto de la solicitud, propuesta de cronograma de intervenciones.
- b. Base de datos detallada del inventario forestal con los siguientes campos: Id (código de identificación del individuo), ubicación (municipio, barrio, intersección vial más próxima o principal, coordenadas planas), identificación taxonómica (nombre común, nombre científico y familia), datos dendrométricos (diámetro, altura, cálculo de volumen), estado fitosanitario del individuo, tipo de intervención propuesta (trasplante, tala, poda o conservación), observaciones y campos adicionales que se considere mejoran la información.
- Registro fotográfico para relacionar de manera individual cada uno de los árboles. En tablas resumen se presentará el número de árboles con la intervención por individuo en columnas y la especie en filas.
- Marcar con números legibles los árboles ubicados en el predio; en ningún caso se podrá retirar la corteza, ni utilizar clavos u otro tipo de elementos que puedan causar daño.
- Con las especificaciones establecidas por la autoridad ambiental en cuanto a formato, sistema y origen de coordenadas, entregar mapas o planos con la localización del 100% de los individuos, con correspondencia a la marcación en campo.
- Identificar con un punto negro los individuos que permanecerán, con un punto rojo aquellos que se requiere talar, con un punto verde los que se requieren trasplantar y con un punto azul los que se requieren podar. Para proyectos constructivos, dicho plano deberá contener la localización del mismo y vías futuras, para visualizar la afectación que este tendrá sobre la vegetación.

El inventario forestal debe estar firmado por un profesional idóneo en la materia, para lo cual debe anexar certificación e información de contacto.

En predios públicos:

Cuando un particular requiera intervenir el arbolado urbano en espacio público deberá solicitar ante la Secretaría de Planeación Municipal la debida autorización y anexarla a la solicitud.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de esta guía se contó con los aportes de funcionarios de diversas instituciones tanto públicas como privadas, quienes participaron a través de múltiples talleres en los que se abordaron las distintas temáticas tratadas. Su participación fue de gran valor para abordar el tema del manejo del arbolado urbano en una perspectiva integral y desde diferentes ángulos, teniendo en cuenta tanto el conocimiento de la academia como la experiencia del día a día en este campo del saber. Expresamos nuestra gratitud a:

Agronomía Forestal Ingenieros
Acción Flora
Alcaldía de Barbosa
Alcaldía de Bello
Alcaldía de Copacabana
Alcaldía de Envigado
Alcaldía de Girardota
Alcaldía de Itagüí
Alcaldía de La Estrella
Alcaldía de Medellín
Alcaldía de Sabaneta
Área Metropolitana Valle de Aburrá
Ariza Forestales
Colnet S.A.S
Corantioquia
CVG Servicios Ambientales
Empresa de Desarrollo Urbano
Empresas Públicas de Medellín
Fundación Ezwama
Instituto Colombiano Agropecuario
Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe
Merstec
Precodes
Red de Mesas Ambientales de Medellín
Salix Forestal
Servicio Nacional de Aprendizaje
Traso Forestal S.A.S.
Une-Tigo
Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
Universidad Pontificia Bolivariana
Vivero El Mister
Vivero Tierra Negra



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



www.metropol.gov.co

ISBN: 978-958-8513-90-4



9 789588 513904