

Gestión estratégica de la arborización urbana: beneficios ecológicos, ambientales y económicos a nivel local y global

Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 9, p. 39-61. Medellín, julio-diciembre de 2012

Luis Fernando Molina-Prieto*, Orlando Vargas-Gómez**

* Arquitecto, Universidad Nacional de Colombia. E-mail: molinapriet@yahoo.com.ar

** Green Building Architect, University of Vermont. M.Sc. (c) in Sustainable Projects Manager, University of Vermont, United States. E-mail: orlando_486@hotmail.com

GESTIÓN ESTRATÉGICA DE LA ARBORIZACIÓN URBANA: BENEFICIOS ECOLÓGICOS, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS A NIVEL LOCAL Y GLOBAL

Luis Fernando Molina-Prieto, Orlando Vargas-Gómez

Resumen

El artículo aborda el tema de las arborizaciones urbanas, haciendo énfasis en los múltiples beneficios ambientales, ecológicos y económicos que ellas aportan –a las ciudades, sus habitantes y al planeta– cuando se gestionan estratégicamente, como la reducción de la contaminación y el ruido, un mejor microclima urbano, la mitigación del calentamiento global, la regulación del caudal de los cuerpos de agua, la fertilización del suelo o la conservación de especies de aves nativas, migratorias y endémicas, entre otros beneficios locales y globales. Se analiza, además, el impacto negativo que la gestión incorrecta del arbolado urbano causa en la infraestructura urbana, y los altos costos que conlleva su reparación. Se concluye, entre otras cosas, que la mala planificación de las arborizaciones urbanas impacta negativamente los recursos públicos de las ciudades, y en consecuencia, la sustentabilidad de las mismas, y además, incrementa el calentamiento global.

Palabras clave: Sustentabilidad urbana, Calentamiento global, Conservación de aves.

URBAN TREE PLANTING MANAGEMENT STRATEGIES: ECOLOGICAL, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC BENEFITS AT THE GLOBAL AND LOCAL LEVELS

Abstract

The article approaches the urban tree planting issue emphasizing on the variety of ecological, environmental and economic welfare it brings to the city, its inhabitants and the whole planet when managed strategically, such as, pollution and noise decrease, urban microclimate improvement, global warming mitigation, water levels regulation, soil fertilization and native bird populations conservation –both from endemic and migratory species–, among other global and local notable benefits. It also analyzes the negative impact that an incorrect tree planting management causes on urban infrastructure, as well as the high expenditure it represents to repair. It concludes, amid the aforementioned, that faulty planning of urban tree planting is harmful to city's public resources and so to their sustainability, besides actually escalating global warming.

Keywords: Urban sustainability, Global warming, Bird conservation.

Gestión estratégica de la arborización urbana: beneficios ecológicos, ambientales y económicos a nivel local y global

Luis Fernando Molina-Prieto, Orlando Vargas-Gómez

Recibido: 18 de septiembre de 2012. Aprobado: 6 de octubre de 2012
Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 9. pp. 39-61. Medellín, julio-diciembre de 2012

1. Introducción

Es bien sabido que los árboles urbanos generan beneficios estéticos que dependen de la coloración, forma y disposición de su tronco, follaje, flores y frutos; despliegan aromas y generan barreras visuales que ejercen una positiva influencia psicológica en los ciudadanos (Wiesner, 2000). Asimismo, los árboles son valiosos elementos para el diseñador urbano, pues definen y consolidan hitos, nodos y sendas en los espacios públicos, y caracterizan de manera simbólica los lugares donde se plantan. Sin embargo, en este artículo se dejarán de lado los aspectos estéticos, ornamentales y simbólicos, así como los relacionados con la conformación espacial y la caracterización de los espacios públicos, para centrar el trabajo en los beneficios ecológicos, ambientales y económicos que se logran a través de la gestión estratégica del arbolado urbano y, por contraste, en los

efectos negativos de las arborizaciones urbanas mal planificadas.

Cuando se planta un árbol en el espacio público de una ciudad, se activan una serie de efectos que desplegará ese nuevo árbol urbano, que pueden ser tanto positivos como negativos. Si se elige acertadamente la especie a plantar y el espacio adecuado para ella, el árbol aportará a la ciudad, la región y al planeta una serie de importantes beneficios –que sólo el árbol urbano genera–. Si por el contrario, la selección de la especie es inadecuada, o el lugar en que se planta no permite su correcto crecimiento y desarrollo, los efectos que causará a nivel local y global serán negativos.

En cuanto a la gestión del arbolado urbano –tal como se adelanta en la mayor parte de las ciudades colombianas, mas no solo en ellas, pues lo mismo sucede en otros países– se señalan tres situaciones. Primera, los valiosos beneficios ambientales, ecológicos y económicos que

pueden aportar los árboles urbanos, de los que se hablará en detalle más adelante, o se desconocen o no son tenidos en cuenta por los encargados de dicha gestión, de modo que se desaprovechan. Segunda, no se realiza una selección minuciosa de las especies a plantar, sino que se recurre –en la mayor parte de los casos– a las especies que ofrecen los viveros, por lo que muchas de las especies plantadas son totalmente inadecuadas para las ciudades, porque:

- Causan daños severos a las estructuras físicas y de servicios públicos con sus raíces agresivas, como el ficus (*Ficus benjamina*), el flamboyán (*Delonix regia*) o el árbol del pan (*Artocarpus altilis*), generando costosas labores de reparación.
- Taponan las redes de alcantarillado debido a la lenta descomposición de su hojarasca, como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) o el urapán (*Fraxinus chinensis*), que exigen altos costos de reparación.
- Resecan el suelo, erosionándolo, como el pino pátula (*Pinus patula*) o el eucalipto (*Eucalyptus globulus*), afectando las fuentes de agua cuando se plantan en las rondas hídricas, e incidiendo de manera negativa en el recurso agua.
- Se desploman causando accidentes en el espacio público –en algunos casos letales–, o daños a las construcciones, como en los casos del tulipán africano (*Spathodea*

campanulata), la acacia negra (*Acacia melanoxylon*), la acacia blanca (*Acacia decurrens*) o el eucalipto (*Eucalyptus globulus*), causando pérdidas humanas y de bienes materiales.

- Constituyen riesgos para la salud humana porque contienen sustancias tóxicas en sus frutos, como el cobolongo (*Thevetia peruviana*), o en su sabia, como el tronador (*Hura crepitans*), o porque son espinosos, como el ya mencionado tronador, o el holly espinoso (*Pyracantha coccinea*), generando afecciones a la población y costos en atención médica.

Y tercera, no se realiza una selección pormenorizada de los espacios o lugares adecuados para cada especie, ni en el sentido físico-espacial (especies que se ajusten al espacio disponible), por lo que los árboles carecen del espacio necesario para su desarrollo natural, y son constantemente podados o definitivamente talados; ni en los sentidos ecológico y ambiental (especies que incrementan la capacidad de retención de agua del suelo, en las rondas hídricas; especies que estructuran el suelo, en las zonas de ladera, etc.), por lo que los árboles no desempeñan con eficiencia las funciones ambientales o ecológicas que les son propias.

Todo lo anterior –como dice uno de los evaluadores del artículo– podría solucionarse con un poco de “sentido común”. Pero es evidente, de acuerdo

con reportes de carácter mundial (UICN, 2000); o regional, como los de Brasil (Gonçalves Toscan *et al*, 2010; Martelli & Barbosa, 2010; Da Rocha *et al*, 2004); México (Alanís Flores, 2005), o Colombia (Bernal, 2000; Herrera, 2009; Caldas de Borrero, 1975; Varón *et al*, 1996; IGAC, 1997), por solo citar unos cuantos, que los encargados de la gestión del arbolado urbano, tanto en las ciudades colombianas como en las de muchos otros países, carecen de ese sentido, obran de manera inconsciente o ignoran las consideraciones que se deben tener en cuenta antes de plantar un árbol, así como los reportes publicados en libros y revistas científicas. Por tanto, el artículo busca determinar, no un listado de especies, pues no está dirigido a una ciudad en particular, sino evidenciar, a través de una revisión bibliográfica de carácter internacional, cuáles son los beneficios ambientales, ecológicos y económicos que la gestión estratégica del arbolado urbano ofrece a cualquier ciudad, para que los encargados de dicha gestión los tengan en cuenta.

2. Beneficios de la gestión estratégica del arbolado urbano

La gestión estratégica de las arborizaciones urbanas¹ es clave para obtener

¹ Es decir, la creación y el seguimiento de lineamientos claros para la administración correcta y adecuada del arbolado urbano en las ciudades, lo que incluye básicamente: la

de los árboles valiosos y múltiples beneficios, a nivel local y global. A saber:

Mejoramiento de la calidad del aire urbano y reducción de la polución proveniente del tráfico automotor y la industria. Los árboles urbanos capturan partículas sólidas en suspensión (PM₁₀ o partículas menores de 10 micras) las cuales se adhieren a las hojas, y que son lavadas durante los períodos lluviosos, arrastrando así tales partículas a los sistemas de alcantarillado. Además, capturan CO₂ y liberan oxígeno durante el proceso de fotosíntesis, al tiempo que absorben otros elementos contaminantes presentes en el aire urbano como dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃) y metano (CH₄), todos ellos provenientes del tráfico motorizado (Guarnascheli, 2009).

De acuerdo con un estudio realizado en Madrid, España, los investigadores encontraron dentro y fuera de las hojas de los árboles de esa ciudad los siguientes metales pesados: "aluminio (Al), boro (B), bario (Ba), calcio (Ca), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu),

selección minuciosa de las especies a plantar en las áreas urbanizadas, junto con los espacios adecuados para cada una de ellas; y de manera más específica: el beneficio que se espera de cada árbol urbano, bien sea la producción de sombra en el espacio público o sobre una edificación, la reducción de la polución del aire, la mitigación del calentamiento global, el incremento de la capacidad de retención de agua del suelo, o el mejoramiento de su fertilidad, etc. En otras palabras: los beneficios ambientales, ecológicos y económicos que aborda en detalle el presente artículo.

hierro (Fe), potasio (K), magnesio (Mg), manganeso (Mn), sodio (Na), níquel (Ni), fósforo (P), plomo (Pb), azufre (S) y zinc (Zn)" (Calderón *et al*, 2009: 5). Lo anterior evidencia la importancia del arbolado urbano en relación al mejoramiento de la calidad del aire en las ciudades, lo que redundará no solo en una mejor salud pública, sino en importantes reducciones económicas relacionadas con el tratamiento médico de las afecciones respiratorias de los habitantes. Para capturar partículas en suspensión y elementos contaminantes las especies más apropiadas son las de hoja lisa y/o coriácea,² pues la lluvia limpia ese tipo de hojas de mejor manera que a las tomentosas.³

Captura y almacenamiento de dióxido de carbono a largo plazo, uno de los principales gases de invernadero. Todas las especies vegetales, durante el proceso de fotosíntesis, capturan CO₂ de la atmósfera, lo combinan con agua y lo transforman en celulosa, azúcar y otros elementos que pasan a formar parte de las plantas. Las especies no leñosas no son buenos recipientes para el almacenamiento del CO₂, puesto que al morir y descomponerse revierten a la atmósfera el CO₂ capturado (Larcher, 1980). Las especies leñosas, como los árboles y los arbustos, son excelentes contenedores de CO₂ a largo plazo

(décadas e incluso siglos), pues lo almacenan en la madera, y mientras el árbol esté vivo y la madera no se descomponga, lo retienen (Kuhns, 2007). Incluso, si la madera de un árbol muerto se usa en la fabricación de un bien duradero, como una mesa o un juguete, continuará almacenado el CO₂ (McPherson, 2007).

Durante su crecimiento y desarrollo los árboles capturan CO₂ que se transforma en parte de su biomasa, en porcentajes que van del 48% al 52%. Cuando llegan a su estado adulto, dejan de hacerlo (Silva, 2005). De acuerdo con Jo & McPherson (1995), los árboles urbanos, por estar más distantes unos de otros, en relación con los que se encuentran en ambientes naturales o rurales, crecen más rápido y adquieren mayor tamaño, por lo que capturan mayor cantidad de CO₂. Por su parte, Nowak & Crane (2002) señalan que, debido a esa particular circunstancia, los árboles urbanos capturan cuatro veces más CO₂ que los que forman parte de bosques naturales o plantados. A partir del ya mencionado estudio realizado en Madrid, España, Calderón *et al* (2009) establecieron que la absorción anual de CO₂ por parte de los árboles de esa ciudad oscila entre 150 y 325 kg por árbol, dependiendo de la especie. Una arborización urbana estratégica exige tener en cuenta que la captura de CO₂ se produce únicamente durante el crecimiento de los árboles, por lo que se deben combinar especies de longevidad corta (menos

2 **Coriácea:** Perteneciente o relativo al cuero. Parecido a él (DRAE, 2012).

3 **Tomentosa:** Que tiene tomento. **Tomento:** Capa de pelos que cubre la superficie de los órganos de algunas plantas (DRAE, 2012).

de 20 años), media (entre 20 y 50 años) y larga (más de 50 años), y prever la renovación de los individuos en el tiempo.

Reducción del fenómeno de Islas de Calor. La temperatura de las ciudades tiende a ser más elevada que la de su entorno rural o natural, debido a que las superficies de las construcciones y las vías, que han reemplazado la cobertura vegetal original, captan, acumulan y transmiten al aire urbano el calor proveniente de la radiación solar (Akbari, 2005; Konopacki & Akbari, 2002, 2000; Akbari *et al.*, 1990). En Guadalajara, México, por ejemplo, se registran “hasta seis grados centígrados más de temperatura durante el día y hasta ocho por la noche, en relación con áreas rurales cercanas, debido a que cada vez hay menos áreas verdes” (Carrillo, 2005: 8). A este fenómeno se le conoce como Islas de Calor, y se presenta no solo en las ciudades con respecto a su entorno, sino al interior de los centros urbanos.

Las extensas zonas de parqueo en torno a centros comerciales y otros equipamientos urbanos –sin árboles–, son un claro ejemplo de áreas que conforman Islas de Calor en las ciudades, en las que se incrementa la temperatura del aire, durante el día y en la noche (porque las superficies como el asfalto conservan el calor por muchas horas), muy por encima de la registrada en zonas urbanas arborizadas (McPherson *et al.*, 2007).

El arbolado urbano impide la conformación de Islas de Calor en las ciudades, y reduce la temperatura de ellas en su

conjunto; así, brinda confort térmico a los espacios públicos, al tiempo que disminuye los consumos de energía para aire acondicionado en edificaciones cercanas a las zonas arborizadas y los gastos económicos correspondientes.

Reducción de la temperatura del espacio público en ciudades de clima cálido. Debido al área de sombra que generan, junto con la evapotranspiración propia de su metabolismo, los árboles urbanos reducen notablemente la temperatura del aire en las ciudades. Jiménez (2008) realizó mediciones de la temperatura con termómetros de bulbo húmedo y seco en la ciudad de Barranquilla, Colombia, al mediodía –en días de pleno sol–, y evidenció que los árboles urbanos reducen la temperatura del aire bajo sus copas hasta en 11 grados centígrados. Las especies de follaje denso y las de gran tamaño son las que logran una mayor reducción de la temperatura. De esta manera el arbolado urbano hace más confortables los espacios públicos en ciudades de clima cálido, refrigera el aire que ingresa a las construcciones cercanas, reduciendo su temperatura interior, y por ende, minimiza las demandas de energía para equipos de aire acondicionado y los costos económicos asociados.

Regulación de la temperatura de edificaciones en climas cálidos y fríos, y reducción de consumos de energía eléctrica. En las ciudades de clima cálido, si se emplea la sombra generada por los árboles de

manera estratégica, para que se proyecte sobre las edificaciones durante las horas de la mañana y de la tarde, se mitiga eficazmente el impacto de la radiación solar. Con ello, se reducen las ganancias de calor de las edificaciones, la temperatura interior, los consumos de energía para equipos de aire acondicionado y los costos económicos asociados (Donovan & Butry, 2009; McPherson & Simpson, 2003).

Los árboles plantados de tal manera que brinden sombra a una edificación, disminuyen hasta en un 70% el consumo de energía para aire acondicionado (Kuhns, 2007). Por su parte, Huang *et al.* (1987) consideran que los ahorros de energía para equipos de aire acondicionado –si los árboles se plantan de manera óptima para que su sombra sea aprovechada por las edificaciones durante el verano– oscilan entre 33% y 50%.

En las ciudades de clima frío, la sombra (del viento), si es usada de manera estratégica para que resguarde las construcciones del impacto de vientos fríos, disminuye las pérdidas de calor de las edificaciones, mantiene la temperatura interior, reduce significativamente los consumos de energía para equipos de calefacción y minimiza los costos económicos correspondientes. Los árboles que proporcionan sombra (de viento) a las edificaciones, disminuyen el consumo de energía para calefacción hasta en un 30% (Kuhns, 2007).

Mitigación del calentamiento global. El arbolado urbano colabora con la mitigación del calentamiento global de manera directa e indirecta. De manera directa lo hace al capturar CO₂ y almacenarlo durante décadas e incluso siglos (Nowak & Crane, 2002); y además, impide la conformación de Islas de Calor en las ciudades, reduce la temperatura del aire urbano y aminora el excesivo calentamiento de los volúmenes arquitectónicos y la superficie de las vías. Todo ello reduce de manera directa el calentamiento global, pues la temperatura de las ciudades baja, restando de manera significativa el calor que ellas aportan a la atmósfera. La arborización urbana disminuye las demandas de energía eléctrica para equipos de aire acondicionado o calefacción, lo que deriva en una menor producción de energía en las plantas de generación eléctrica –especialmente en las termoeléctricas para el caso de Colombia–, y por tanto, se reducen las emisiones de CO₂ que dichas plantas vierten en la atmósfera (McPherson *et al.*, 2007).

Moderación del ruido. La contaminación por ruido en las ciudades es fuente de perturbaciones en sus pobladores. “La percepción humana del paisaje sonoro de la ciudad tiene una gran influencia en lo psicológico, en el bienestar y en el comportamiento de los habitantes de la ciudad” (Thomas *et al.*, 2010: 2). Las calles y avenidas de las ciudades crean “cañones” artificiales en los cuales

se incrementa el ruido producido por los automotores, puesto que las fachadas de los edificios, por lo general rígidas, dan lugar a altos niveles de reverberación (Thomas *et al*, 2010).

Diversos estudios, como los adelantados por Fang & Ling (2003) o Van Renterghema *et al* (2012), coinciden en que la arborización urbana atenúa de manera significativa el ruido, puesto que las superficies “blandas” de sus hojas, y la disposición aleatoria de sus ramas y follaje dispersan los sonidos (mientras el suelo lo absorbe) y reducen la reverberación en las áreas urbanas. Además, a partir de sus trabajos de campo han evidenciado que los “cinturones” de árboles, cuando están plantados cerca a la fuente de origen del ruido (o sea, en torno a las avenidas), amortiguan significativamente el ruido de los automotores. De otro lado es importante señalar que los árboles generan sus propios sonidos, como el del viento al pasar por entre el follaje, o el canto de las aves que los visitan o anidan en ellos, y el cerebro humano es capaz de filtrar los ruidos indeseables, y concentrarse en los sonidos agradables (Nowak *et al*, 1997). Todo lo anterior contribuye al bienestar físico y psicológico de los habitantes, y hace de la ciudad un lugar más amable y acogedor.

Mejoramiento de la fertilidad del suelo y rehabilitación de zonas erosionadas. Las raíces y la hojarasca de algunos árboles desencadenan diversos procesos bioquímicos en el suelo. Algunas especies

incrementan su fertilidad, mientras que otras segregan sustancias que alteran sus características originales, afectando de manera severa la fertilidad del suelo y generando procesos erosivos. El pino pátula (*Pinus patula*), por ejemplo, –especie oriunda de Norteamérica que hace parte de la arborización urbana de muchas ciudades colombianas– segrega fenoles y polifenoles que “afectan la biota del suelo. Eso es lo que limita el crecimiento de otras especies y degrada el suelo” (Estupiñán, 2002: 947). Asimismo, el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) –oriundo de Australia y común en calles, avenidas y parques de incontables ciudades y municipios colombianos– contiene en todos sus órganos “eucaliptol, 10 veces más desinfectante que el ácido fénico. Al exhalarlo en el suelo por las raíces, mata la flora edáfica, bacteriana y microbiológica, degradando el humus” (Guhl, 1981: 62).

De manera totalmente opuesta, algunas especies incrementan la fertilidad del suelo. Lo hacen de modo sobresaliente las leguminosas –que se caracterizan por presentar sus semillas envueltas en una vaina alargada–, como el cují (*Prosopis juliflora*), que de acuerdo con Aponte *et al* (2011) “actúa como isla de fertilidad” pues aumenta la disponibilidad de nutrientes como carbono, nitrógeno y potasio, e incrementa la actividad biológica en torno a sus raíces, contribuyendo eficazmente con la salud y la calidad del suelo. Similares funciones desempeñan

el búcaro (*Erythrina fusca*), el cachimbo (*Erythrina poeppigiana*) o el guamo (*Inga spectabilis*), entre otros muchos árboles usados en Colombia para las arborizaciones urbanas. Estos, además de incrementar la fertilidad del suelo, son apropiados para plantar en lugares de la ciudad o su entorno afectados por procesos erosivos, o extractivos –como las canteras abandonadas–, pues controlan la erosión y aumentan la fertilidad, propiciando la rehabilitación de los suelos deteriorados (Herrera, 2009; DAMA, 2000; Molina & Vargas, 2008).

Estabilización de laderas y taludes. En las regiones montañosas de Colombia, y en los países por los que se despliega la cordillera de Los Andes, es muy frecuente que durante las épocas de lluvia se presenten deslaves, avalanchas y derrumbes. Estas catástrofes se asocian estrechamente a la falta de cobertura vegetal de las zonas afectadas, y suceden tanto en las áreas rurales como en las urbanas. Barrios enteros son sepultados en cuestión de minutos por aludes de tierra y lodo, causando el arrasamiento de las construcciones, y la muerte de centenares de personas. Las raíces de algunos árboles aportan estructura al suelo, de manera que previenen este tipo de situaciones. Especies de gran porte como la ceiba (*Ceiba pentandra*), el samán (*Samanea saman*), o el mano de tigre (*Sterculia apetala*), poseen un sistema radicular amplio, fuerte y profundo, que se arraiga al suelo de modo que re-

duce notablemente el riesgo de deslave en áreas de ladera, o inhibiéndolo por completo. Otras especies, como el guayacán rosado (*Tabebuia rosea*), o el guayacán floramarillo (*Tabebuia chrysantha*), cuentan con una raíz principal, axial, que penetra de manera profunda en el suelo y actúa como un “pilote” natural (Molina & Vargas, 2008; Wiesner, 2000).

El uso estratégico de las especies de árboles que aportan estructura al suelo, no solo previene la pérdida de vidas humanas, sino que reduce las altas pérdidas materiales de los propietarios de las viviendas afectadas, y su desplazamiento forzado (en este caso por avatares de carácter natural y falta de una correcta arborización urbana), con las complejas implicaciones socio-económicas que esto conlleva.

Conservación de cuerpos de agua y reducción de riesgos por desbordamientos. Las raíces de los árboles y los arbustos tienen la propiedad de modificar la capacidad de retención de agua del suelo. Algunas, que por lo general se desarrollan de manera natural en torno a los cuerpos de agua –conocidas en ecología como especies riparias o de rivera–, incrementan esa capacidad de manera muy notable, como por ejemplo –para Colombia–, el aliso (*Alnus jorulensis*), en regiones de clima frío, o el nacedero (*Trichanthera gigantea*), en regiones de clima cálido (DAMA, 2000; Molina & Vargas, 2008).

En el otro extremo se encuentran las especies que resecan el suelo, como los eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), que “como verdaderas bombas van secando los terrenos y hasta los pantanos” (García-Barriga, 1968: 273). Otro ejemplo es el pino pátula (*Pinus patula*), que a través de sus raíces, fuste, acículas (hojas en forma de agujas) y semillas segrega sustancias resinosas, por lo que los suelos se transforman “de retenedores de agua en repelentes” o “hidrófobos” (Estupiñán, 2002: 947); en otras palabras: no sólo reseca el suelo sino que destruye su capacidad de retención de agua.

Cuando se plantan en las márgenes de ríos, quebradas, lagos y humedales especies que incrementan la capacidad de retención de agua del suelo, el arbolado urbano contribuye eficazmente con la conservación de estos cuerpos de agua, mejorando su disponibilidad en los centros urbanos. Igualmente, reducen los riesgos de catástrofes por causa de desbordamientos durante las épocas lluviosas del año, pues la arborización de las riveras regula los caudales.

De otro lado, los árboles de las ciudades –junto con los suelos–, juegan un papel esencial en los procesos hidrológicos urbanos, pues restringen la velocidad y el volumen de la escorrentía generada por aguaceros y tormentas (Nowak *et al*, 1997), impidiendo la sobrecarga de los sistemas de alcantarillado y consecuentes daños por inundaciones. Sin lugar a dudas son beneficios del árbol

urbano la seguridad de los seres humanos en épocas invernales, así como la reducción de pérdidas económicas por deterioro, daño severo o arrasamiento de bienes muebles e inmuebles, por causa de crecientes y desbordamientos en las ciudades y en torno a ellas.

Garantía de reproducción de aves residentes (las especies que tienen sus áreas de reproducción en la ciudad) y sustentabilidad urbana aportada por la avifauna. Debido a la destrucción acelerada de los hábitats naturales de las aves, durante las últimas décadas las ciudades se han convertido en lugares de refugio para muchas especies (BirdLife, 2002; Osorio & Molina, 2009). Los reportes de grandes metrópolis lo demuestran. En México D.F. se reportan 82 especies “comunes” y un total de 300 especies en su territorio, número que corresponde a una tercera parte del total de especies que frecuentan o residen en ese país (Del Olmo & Roldán, 2007). En *São Paulo* se reportan 206 especies de aves avistadas en “la mancha urbana de la ciudad de *São Paulo*, en áreas efectivamente urbanizadas o en áreas verdes completamente circundadas por ambiente urbano” (Argel, 2002); mientras que en los 39 municipios que hacen parte de la región metropolitana o *Grande São Paulo* se reportan 273 especies (Develey & Endrigo, 2004). En Buenos Aires se avistan 274 especies (Narosky & Henschke, 2005). En Montevideo se reportan 141 especies (Claramunt & González, 2000),

equivalentes a un tercio del total de la avifauna uruguaya. En Bogotá se observan 72 especies de aves en ambientes urbanos (Osorio & Molina, 1999).

De otra parte, es importante señalar que las aves contribuyen a la sostenibilidad urbana. Sin ellas, muchas especies de plantas y árboles no darían ni frutos ni semillas, pues ellas las polinizan, de modo que se extinguirían, y en consecuencia, los ecosistemas entrarían en un proceso acelerado de franca decadencia (Common & Stagl, 2008), “afectando de manera catastrófica la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua dulce y la sanidad ambiental de los centros urbanos” (Molina, 2011: 51).

El arbolado urbano garantiza la conservación de las especies de aves residentes en un territorio, y la simbiosis que ellas desempeñan con las especies vegetales, contribuye con la sostenibilidad de las ciudades y su entorno.

Conservación de aves migratorias. Las aves que se reproducen en regiones con clima estacional, como Canadá o el sur de Argentina, durante la época invernal realizan extensas migraciones en busca de lugares con clima menos riguroso y con fuentes de alimento –en su lugar de destino y durante su travesía– que les permitan sobrevivir como individuos y como especie. “Muchas vuelan durante vastas distancias y deben confiar en la disponibilidad de alimento durante la ruta” (Gulliar, 1959: 21).

De acuerdo con estudios recientes, censales de aves migratorias incluyen en su itinerario las zonas arborizadas de las ciudades, como el *Central Park* de Nueva York, considerado por la *New York City Audubon Society* como uno de los diez mejores lugares para observar aves en Estados Unidos, pues cerca de 200 especies migratorias lo visitan cada año en otoño y primavera (Vornberger & Winn, 2005). Casos más inmediatos son el Parque Simón Bolívar y el jardín botánico de Bogotá, donde la Asociación Bogotana de Ornitología-ABO reportó en diciembre de 2005 veintiún especies migratorias norteamericanas (Osorio, 2012; Echeverry, 2005).

Las aves que pasan por Nueva York y Bogotá, y por incontables ciudades latinoamericanas durante su migración, tienen un único incentivo para hacerlo: el alimento y el hospedaje que sólo encuentran en los árboles urbanos. De esta manera, el arbolado de una ciudad colabora estrechamente con la supervivencia de especies de aves de todo un continente.

Conservación de especies de aves en riesgo de extinción. De acuerdo con *BirdLife International* (2002), el 20% de las aves que son desplazadas de sus ambientes naturales buscan refugio en las ciudades. Pero ellas no se resguardan en las edificaciones sino en los árboles, especialmente en aquellos que les ofrecen alimento y hábitat, que por lo general son los que corresponden a especies

nativas (Osorio & Molina, 2009). También lo hacen en ambientes acuáticos, como las quebradas, los ríos y los humedales, pero igualmente, construyen sus nidos entre la vegetación, sobre los árboles y los arbustos, o entre las plantas de pantano, de manera que son las especies vegetales las que, en últimas, les brindan refugio. En Bogotá, por ejemplo, diez especies incluidas en las *listas rojas* de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza-UICN –en las que se reportan las especies en riesgo de extinción– se refugian en la vegetación de parques y humedales de la ciudad (Osorio, 2012). La correcta arborización de ecosistemas urbanos delicados, como los humedales, contribuye a la supervivencia de especies de aves en alto riesgo de extinción, o disminuye el nivel de riesgo en que se encuentran.

Fortalecimiento de la Estructura Ecológica Principal. De acuerdo con Remolina:

Los elementos de una red ecológica [conocida en Colombia como Estructura Ecológica] son las áreas núcleo, las zonas amortiguadoras y los corredores ecológicos. Las áreas de núcleo o centrales son, en general, las zonas de reserva o áreas protegidas. Las zonas amortiguadoras son las áreas periféricas. Por último, los corredores ecológicos son aquellos que unen funcionalmente a las áreas centrales (Remolina, 2011: 67).

Las tres áreas descritas por Remolina –centrales, amortiguadoras, corredores ecológicos– están constituidas

básicamente por especies vegetales (árboles, arbustos y plantas), y además por cuerpos de agua. De manera que la única forma posible de fortalecer la Estructura Ecológica Principal de las ciudades es plantando árboles en los parques, las avenidas y calles, en los malecones y en torno a los cuerpos de agua, pero lo importante es que se planten especies nativas, pues debido a sus atributos naturales contribuyen eficazmente con los procesos ecológicos propios del lugar.

Los árboles urbanos, correctamente seleccionados y dispuestos estratégicamente, colaboran eficientemente en la consolidación de los núcleos centrales de la Estructura Ecológica Principal, y así mismo, en la creación y consolidación de corredores ecológicos que conecten las áreas de reserva o protegidas, y eviten su deterioro (Molina & Vargas, 2008).

3. Gestión estratégica del arbolado urbano

Cuando se habla de gestión estratégica del arbolado urbano se hace referencia a la administración inteligente y pertinente de ese recurso vegetal, que por ser estratégica logra obtener el mayor beneficio posible de cada uno de los árboles que se plantan en una ciudad, y del arbolado en su conjunto. Para lograrlo es necesario que se conozcan a fondo, tanto las diversas potencialidades de los árboles (descritas en el apartado anterior), como las características individuales de

cada una de las especies que hacen o harán parte de la arborización, puesto que cada especie oferta diversos beneficios. En el párrafo siguiente se presentan algunos ejemplos, pero se debe tener en cuenta que las especies apropiadas para una ciudad específica, son igualmente específicas y particulares, puesto que su selección depende de variables como el clima, el tipo de suelo o la disponibilidad de la especie en el lugar, entre otras.

Algunas especies son muy eficientes en cuanto a la protección y recuperación las rondas hídricas, y la regulación de los caudales: el búcaro (*Erythrina fusca*) y el nacedero (*Trichanthera gigantea*) en climas cálidos; el aliso (*Alnus acuminata*) y el sauce (*Salix humboldtiana*) en climas fríos. Las raíces de algunas especies estructuran el suelo: el samán (*Samanea samán*) y el mano de tigre (*Sterculia apetala*) en climas cálidos, el caucho sabañero (*Ficus soatensis*) y el roble (*Quercus humboldtii*) en climas fríos. Las leguminosas se caracterizan por su capacidad para fertilizar el suelo, por lo que son especies óptimas para la rehabilitación de áreas con suelos pobres o erosionados. Los árboles de hoja lisa y/o coriácea son los más eficaces para capturar las partículas en suspensión y mitigar la polución, por tanto, los más apropiados para plantar en torno a las avenidas de alto tráfico. Los árboles de follaje denso reducen en mayor medida el impacto de la radiación solar, de modo que mitigan el efecto de Islas de Calor y regulan

la temperatura en espacios públicos y edificaciones; además, son los más eficientes para reducir la contaminación por ruido. Las especies que producen néctar y polen alimentan a los colibrís y otras especies de aves nectarívoras; y las que producen frutos –que formen parte de la dieta de la avifauna local– alimentan a las aves frugívoras. Los árboles de larga vida son los más apropiados para la captura y almacenamiento de CO₂. En síntesis, cada especie aporta beneficios particulares y específicos, y el gestor del arbolado urbano debe conocerlos en detalle, pues solo así podrá planificar arborizaciones estratégicas.

Para que la gestión de la arborización en una ciudad sea estratégica, y los árboles aporten a la ciudad, a la región y al planeta los múltiples beneficios que se han mencionado, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Analizar con detenimiento las especies existentes en la ciudad, pues por el hecho de estar en ella, aseguran al planificador que sí sobreviven al estrés urbano.
- Diferenciar las especies nativas de las introducidas, dando prelación a las nativas en el momento de la selección de especies, puesto que ellas se integran de manera eficiente a los flujos naturales de materia y energía de su entorno, ofreciendo alimento a las aves residentes y migratorias, y contribuyendo

- eficientemente al fortalecimiento de la Estructura Ecológica Principal.
- Identificar las especies invasoras, así como las que poseen raíces agresivas o hidrófilas (amigas del agua), puesto que son las que mayores daños causan a la infraestructura física de las ciudades. Por lo general ninguna especie se comporta de manera agresiva en su lugar de origen. Por ejemplo, en las zonas áridas de la India de donde es oriundo el ficus (*Ficus benjamina*), éste no se reporta como agresivo, pues su sistema radicular es hidrófilo por naturaleza, busca el agua, de manera que extiende sus raíces hasta que la encuentra. El problema se presenta cuando se planta en las ciudades del trópico americano, donde el agua abunda, tanto a nivel superficial, por el elevado nivel de pluviosidad del trópico, como a nivel del subsuelo, pues corre por las tuberías del acueducto y el alcantarillado. En esa nueva situación, ajena a su entorno natural, las raíces del ficus se extienden superficialmente buscando el agua de escorrentía, y así rompen muros, calzadas y vías; pero además, lo hacen de manera subterránea, introduciéndose entre las tuberías de conducción de aguas (acueducto y alcantarillado), hasta que las rompen u obstruyen.
 - Seleccionar un listado de especies (de preferencia nativas) para el proyecto de arborización.
 - Estudiar con precisión el tamaño, en estado adulto, de las especies seleccionadas, lo que incluye la altura y el diámetro de copa.
 - Determinar, de las especies seleccionadas, cuáles desempeñan de mejor manera las funciones que se buscan con el proyecto (proteger cuerpos de agua, fortalecer el suelo o fertilizarlo, alimentar aves, generar microclimas, etc.), y definir los lugares apropiados para cada especie.
 - Establecer, en el área que involucra el proyecto, los espacios adecuados para cada especie (especies pequeñas en espacios pequeños, especies grandes en espacios amplios), de manera que se asegure el pleno crecimiento y desarrollo de cada árbol, sin obstáculos físicos (construcciones, redes aéreas de electricidad, televisión e Internet, luminarias, obras civiles, etc.).

4. Efectos de la gestión incorrecta del arbolado urbano

La arborización urbana exige un riguroso y minucioso proceso de gestión, planificación y diseño, tan complejo e intrincado como el requerido para diseñar un edificio (y quizá más complejo). Pero si no se realiza de la manera correcta, es decir, si la selección de especies se hace de manera improvisada, o se plantan

los nuevos árboles en lugares que impiden su crecimiento y desarrollo natural (como sucede en demasiados casos y en muchas ciudades), se generarán severos daños a la infraestructura urbana, y por ende, cuantiosas pérdidas económicas que impactarán los recursos privados y públicos. Además, se puede deteriorar la Estructura Ecológica Principal, en lugar de fortalecerla (al plantar especies que resecan el suelo cerca de un cuerpo de agua, por ejemplo); o afectar la supervivencia de muchas especies de aves nativas y migratorias (si se plantan las especies que no las alimentan), entre otras cosas.

Un árbol bien seleccionado (para un fin o unos objetivos particulares, sean estéticos, ambientales o ecológicos), si se planta en un espacio urbano que le permita crecer y desarrollarse a plenitud, será un individuo que una vez arraigue en el suelo exigirá mínimas labores de mantenimiento, o quizá no exija ninguna. Por el contrario, un árbol mal seleccionado (una especie de raíces agresivas, por ejemplo), o bien seleccionado pero plantado en el lugar equivocado (donde se limita su crecimiento), exigirá costosas inversiones en labores de mantenimiento (poda, para que no tumba el muro aledaño, o para que no obstruya el funcionamiento de una luminaria pública o un semáforo, etc.; o tala, si los daños se presentan una y otra vez, que es lo más frecuente.); y demandará aun mayores inversiones económicas para

la reparación de los daños que causa a la infraestructura urbana (rotura de cimientos, calzadas, asfaltos y tuberías subterráneas; daño a redes aéreas de servicios públicos, entre otros).

Las altas inversiones económicas que exigen los perjuicios generados por la arborización urbana no son una especulación. Esa problemática se evidencia en la ciudad de Villavicencio, Colombia, donde un estudio de la alcaldía encontró: 3.478 afectaciones severas a la red de acueducto y alcantarillado, 963 al servicio de energía, y 1.072 a las redes telefónicas, por cuenta de una sola especie, el ficus (*Ficus benjamina*), puesto que se han plantado 3.725 individuos (Molina & Vargas, 2008: 22-23). Es en este punto donde se evidencia el descuido y el desconocimiento en la autoridad ambiental, y surgen preguntas como ¿por qué se plantaron tantos individuos de ficus en Villavicencio si sus raíces son agresivas, superficiales, gruesas, muy fuertes –crecen hasta 100 metros de longitud (Gonçalves Toscan *et al*, 2010)– y tienen la capacidad de romper el concreto? (Starr *et al*, 2003) ¿Por qué se plantaron si es bien sabido que las raíces del ficus buscan el agua y tienen la capacidad de fracturar y taponar las redes subterráneas de acueducto y alcantarillado? (Alanís Flores, 2005) ¿Cuánto le cuesta a la ciudad de Villavicencio reparar esos daños?

Véase lo que implica la reparación de la red de alcantarillado cuando un árbol la

taponar con sus raíces: romper la carpeta asfáltica de la vía vehicular bajo la cual se encuentran las tuberías afectadas, excavar, fraccionar las tuberías de alcantarillado taponadas por las raíces del árbol, sacar las duras raíces que las obstruyen, retirar y trasladar los escombros y el material vegetal, comprar nuevos tubos, trasladarlos al sitio e instalarlos, rellenar técnicamente la excavación y volver a asfaltar. ¿Cuántos miles de dólares cuesta esta reparación?

El valor –a precios de 2007– de la producción de la plántula en el vivero, la plantación en la ciudad y el mantenimiento inicial que exige un árbol urbano para su correcto desarrollo, fueron valorados por la Secretaría de Ambiente de Bogotá en 46,60 dólares (Tovar, 2007: 156). Una inversión modesta. Pero si se elige una especie invasora, de raíces agresivas, o si se planta una especie apropiada –pero en un lugar que inhibe su crecimiento y desarrollo– la inversión requerida para la reparación de los daños causados por el árbol, será muy cuantiosa.

Por último, es relevante señalar que los procesos involucrados en la reparación de los daños causados por arborizaciones urbanas mal planificadas, como la extracción y transporte de materias primas (arena, recebo, etc.), la fabricación de materiales de construcción (cemento, asfalto, tuberías) y su transporte hasta la obra, así como el transporte de residuos vegetales y escombros a su lugar

de destino, entre otras cosas, acarrear elevados costos que debe asumir la administración de la ciudad y, además, fomentan la producción de gases de invernadero, y por tanto, incrementan el calentamiento global.

5. Discusión

Las arborizaciones urbanas son tema de continua discusión y controversia, no sólo a nivel teórico, sino práctico. Discusión que se centra en las especies a plantar, y que como no se resuelve, afecta a las ciudades. Ejemplo de lo anterior es la palma areca (*Dypsis lutescens*) en Bogotá. Citamos: “la autoridad ambiental –Secretaría del Medio Ambiente y Jardín Botánico– la seleccionó para ser distribuida en temporada de Semana Santa” (Mahecha *et al*, 2010: 305), pero la misma entidad, en el mismo libro –*Arbolado urbano de Bogotá. Identificación, descripción y bases para su manejo*– y en la misma página, señala que la palma areca es una “especie no apta para el arbolado urbano” (Mahecha *et al*, 2010: 305). ¿Para qué se distribuye una palma (viva), por miles, entre los feligreses que asisten a las iglesias de Bogotá en Semana Santa, si no es apta para plantar en esa ciudad? ¿Dónde piensa la autoridad ambiental que la van a plantar los habitantes de Bogotá? Eso no es discusión, es inconsistencia y contradicción entre teoría y práctica. En el mismo libro se recomienda plantar en Bogotá, nada menos que el pino pátula (*Pinus patula*),

del que Estupiñán (2002: 947), como se vio, señala que segrega sustancias resinosas, por lo que los suelos se transforman “de retenedores de agua en repelentes” o “hidrófobos”, y segrega fenoles y polifenoles que “afectan la biota del suelo”, por lo que limita “el crecimiento de otras especies y degrada el suelo”. Por tales motivos, actualmente se adelanta la reposición de pinos pátula en la Represa de Neusa. Es decir, se están talando cientos de hectáreas de pinos pátula, para reemplazar ese monocultivo que afecta el suelo por especies nativas, apropiadas, que no deterioran la capa edáfica. Pese a todo lo anterior, el pino pátula se sigue recomendando para Bogotá. ¿A qué obedece recomendar una especie, que está probado, no es buena para los ecosistemas colombianos?

Los gestores del arbolado público, al menos en Bogotá, no se ponen de acuerdo, y podría pensarse que la selección de especies obedece a los cambios de administración: con tal alcalde, unas especies; con el de ahora, estas otras. Durante la campaña de arborización urbana BOGOTÁ SE VISTA DE VERDE, adelantada por la administración Peñalosa (1998-2000), bajo los lineamientos del Jardín Botánico José Celestino Mutis, muchas especies fueron decretadas no aptas para la ciudad y, en consecuencia, fueron talados miles de individuos. Una de las especies proscritas en ese entonces fue el álamo (*Populus deltoides*). Pues bien, ahora es una “especie apta para el

arbolado urbano” (Mahecha *et al*, 2010: 103); aunque claro, en el 2000 se talaron muchos álamos. Lo mismo, pero al revés, acontece con el gurrubo (*Solanum lycioides*), arbusto considerado apto durante la administración Peñalosa, y por tanto plantado en muchos lugares, pero ahora hay que talarlo porque no es “apto” (Mahecha *et al*, 2010: 245), aunque no se explica por qué no es apto.

Quizá la observación referente al urapán (*Fraxinus chinensis*) en el mismo libro –que es la guía actual para la plantación de árboles en Bogotá, o sea, para su gestión– evidencie la falta de claridad que enturbia el tema de los árboles urbanos. Los autores dicen del urapán: “Especie apta para el arbolado urbano, pero en zonas blandas y amplias para evitar el daño a construcciones civiles y el taponamiento por las hojas de los sistemas de drenaje” (Mahecha *et al*, 2010: 375). Si los autores del libro saben que el urapán genera daños a construcciones civiles y taponamiento a las redes de alcantarillado, ¿por qué lo recomiendan para Bogotá? ¿Acaso no hay más especies para esa ciudad? Además, si taponan redes de alcantarillado, no importa dónde sea plantado, lo cierto es que las taponará.

Pero lo que resulta totalmente paradójico es que una especie de importancia ecológica como el arboloco (*Smailanthus pyramidalis*), plantado desde épocas precolombinas por los muiscas en torno a lagos y humedales –para

conservarlos–, sea ahora declarado por la Secretaría Distrital de Ambiente como “Especie no apta para el arbolado urbano, pero importante para la protección de cuencas y márgenes hídricos; brinda alimento al ave lorito cascabelito” (Machecha *et al*, 2010: 121), sin explicar por qué no es apto. Se promueven el pino pátula y el urapán, aunque se sabe que causan daños, pero se declara no apto el arboloco, aunque los autores del libro saben muy bien –al punto que lo publican– que presta valiosos servicios ambientales y ecológicos. Contradicciones en un mismo documento que evidencian la ausencia de lineamientos claros y objetivos, en la gestión de la arborización urbana del Distrito Capital.

En las ciudades de clima cálido de Colombia sucede algo similar. No se entrará en detalles, porque sería interminable este apartado. Basta decir que los botánicos han reportado durante las últimas décadas los costosos daños causados en las ciudades por especies inapropiadas, pero quienes gestionan el arbolado urbano siguen plantándolos, y por miles, como en el ya mencionado caso del uso masivo del ficus (*Ficus benjamina*) en la ciudad de Villavicencio.

Con el presente artículo se espera contribuir positivamente a la discusión, no como defensores de esta especie ni como enemigos de aquella otra (no somos fanáticos de ninguna), sino estableciendo bases claras y objetivas para la selección de especies para la arbo-

rización urbana. Lineamientos que se sustentan, por un lado, en las funciones ecológicas, ambientales y económicas que brindan algunas especies; y por otro, en el rechazo de especies reportadas a nivel mundial por causar daños severos a las estructuras físicas de las ciudades, resecar o esterilizar el suelo, o causar accidentes y riesgos a la salud pública. En ese sentido, el artículo se puede considerar una propuesta metodológica para la gestión estratégica del arbolado urbano, aplicable a cualquier ciudad del trópico americano.

6. Conclusiones

A partir de una adecuada gestión, planificación y diseño, los árboles urbanos proporcionan un amplio rango de importantes beneficios ambientales, ecológicos y económicos –directos e indirectos– tanto a nivel local como regional y global.

Los beneficios ambientales y ecológicos son evidentes, no tanto así los económicos, pues en su mayor parte son indirectos, como la reducción de los consumos de energía eléctrica para calefacción o aire acondicionado, la reducción del índice de consultas médicas por afecciones respiratorias, la disminución de los daños causados por inundaciones, la mengua de daños a construcciones por deslaves y derrumbes, la recuperación y/o rehabilitación de áreas erosionadas, entre otros. Y lo más importante, porque si se gestiona bien la arborización

de una ciudad, no se drenarán los dineros públicos reparando los daños causados a la infraestructura urbana y de servicios por cuenta de especies inapropiadas (invasoras o de raíces agresivas), o por causa de especies adecuadas, pero plantadas en espacios insuficientes para su crecimiento y desarrollo. Dos situaciones frecuentes en muchas ciudades colombianas, que impactan negativamente los recursos públicos y, en consecuencia, la sustentabilidad de las mismas, y que además, incrementan el calentamiento global. Mala planificación que no solo se presenta en Colombia, pues son innumerables los reportes de daños por causa de arborizaciones urbanas en ciudades de todo el orbe.

Referencias

- Alanís Flores, G. J. (2005). El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, vol. 8, N° 1: 20-32.
- Akbari, H. (2005). *Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat island mitigation*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Akbari, H.; Rosenfeld, A. H. & Taha, H. (1990). *Summer Heat Islands, urban trees, and white surfaces*. 1990 ASHRAE Winter Conference.
- Aponte, H.; Paolini, J. & Mogollón, J. P. (2011). Efecto del *Prosopis juliflora* asociado al cultivo de *Aloe vera* sobre las propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de un suelo del semiárido falconiano. *XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Calabozo, 21 al 25 de noviembre 2011*. (disponible en: http://www.sian.inia.gov.ve/repositorio/congresos/CVCS19/uso_manejo_suelo/UMS16.pdf).
- Argel, M. (2002). *As aves da cidade de São Paulo*. En www.marthaargel.com. Consultado 27 de agosto de 2010.
- Bernal, C. A. (2000). *Estudio, diagnóstico y formulación de solución a las afectaciones de la flora urbana sobre la infraestructura vial y de servicios públicos*. Villavicencio: Secretaría de Planeación, Secretaría del Medio Ambiente.
- BirdLife (2002). *Globally threatened birds indicating priorities for action*. Cambridge, UK: BirdLife International.
- Caldas de Borrero, L. (1975). La flora ornamental tropical y el espacio público. *Cespedesia*, vol. IV, N° 14.
- Calderón Guerrero, C.; Saiz De Omeñaca González, J. A. & Günthardt-Goerg, M. S. (2009). *Contribución del arbolado urbano y periurbano del municipio de Madrid en la mejora de la calidad del aire y sumidero de contaminantes atmosféricos como beneficio para la sociedad*. Madrid: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Carrillo, L. E. (2 de mayo de 2005). El efecto "isla de calor". *Ecología. Gaceta Universitaria*, p. 8. (disponible en: <http://gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/388/388-8.pdf>).
- Claramunt, S. & González, E. (2000). *Guía para la identificación de las aves de la ciudad de Montevideo*. Montevideo: Vida Silvestre.
- Common, M. & Stagl S. (2008). *Introducción a la economía ecológica*. Barcelona: Reverté.

- DAMA-Departamento Administrativo del Medio Ambiente (2000). *Historia de los humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos*. Bogotá: DAMA.
- Da Rocha, R.T.; Leles, P.S.S. & Neto, S.N.O. (2004). Arborización de vías públicas en Nova Iguaçu, RJ: o caso dos bairros Rancho Novo e Centro. *R. Árvore, Viçosa-MG*, vol. 28, N° 4: 599-607.
- Del Olmo, G. & Roldán, E. (2007). *Aves comunes de la Ciudad de México*. Ciudad de México: WWF y Bruja de Monte.
- Develey, P. & Endrigo, E. (2004). *Guia de Campo, Aves da Grande São Paulo*. São Paulo: Aves e Fotos.
- Donovan, G. H. & Butry, D. T. (2009). The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. *Energy and Buildings*, N° 41: 662-668.
- Echeverry, M. A. (2005). Las aves del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis y del Parque Distrital Simón Bolívar: recuento de los últimos ocho años. *Revista Pérez Arbelaezia*, N° 16: 115-133.
- Estupiñán Bravo, L. H. (2002). "Impacto causado en el suelo por las plantaciones de pino en el páramo de Gachaneca". En: *Congreso mundial de páramos, Colombia 2002*, vol. 2, pp. 945-959. Bogotá: Gente Nueva.
- Fang, Ch-F. & Ling, D-L. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, vol. 63, N° 4, 15: 187-195.
- García-Barriga, H. (1968). Árboles de la Sabana de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 13, N° 50: 273-277.
- Gonçalves Toscan, M. A.; Rickli, H. C.; Bartnick, D.; Storms dos Santos, D. & Rossa, D. (2010). Inventário e análise da arborização do bairro vila Yolanda, do município de Foz do Iguaçu – PR. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana -REVBAU*, vol. 5 N° 3: 165-184.
- Guarnascheli, A. B. (2009). Árboles. Buenos Aires: Albatros.
- Guhl, E. (1981). *La Sabana de Bogotá, sus alrededores y su vegetación*. Bogotá: Jardín botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Gullieri, E. T. (1959). *Aves*. Barcelona: Libsa.
- Herrera, S. (2009). Árboles de la Universidad del Valle. Cali: Universidad del Valle.
- Huang, Y.J.; Akbari, H.; Taha, H. & Rosenfeld, A.H. (1987). The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol. 26: 1103-1116.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1999). Especies forestales. *Revista Sig-Pafc*, año 4, N° 14: 4-244.
- Jiménez, O. (2008). Índice de confort de la vegetación. *Revista NODO*, vol. 3, N° 5: 49-70.
- Jo, H. K. & McPherson, E. G. (1995). Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *Journal of Environmental Management*, vol. 45: 109-133.
- Konopacki, S. & Akbari, H. (2000). *Energy savings calculations for Heat Island reduction strategies in Baton Rouge, Sacramento and Salt Lake City*. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Konopacki, S. & Akbari, H. (2002). *Energy savings of heat island reduction*

- strategies in Chicago and Houston (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City)*. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Kuhns, M. (2007). *Landscape trees and global warming*. Utah State University (disponible en: <http://www.landmarkwest.org/green/LandscapeTrees.pdf>).
- Larcher, W. (1980). *Physiological plant ecology*. New York: Springer-Verlag.
- Mahecha, G. et al (2010). *Arbolado urbano de Bogotá. Identificación, descripción y bases para su manejo*. Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente.
- Martelli, A. & Barbosa, J. (2010). Analysis of the incidence of tree suppression and its main causes in the urban perimeter of the town of Itapira-SP. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, vol. 5, N° 4: 96-109.
- McPherson, E. G.; Simpson, J. R.; Peper, P. J.; Gardner, S. L., Vargas, K. E. & Xiao, Q. (2007). *Northeast community tree guide: Benefits, costs, and strategic planting*. Albany, California: U.S. Department of Agriculture-USDA.
- McPherson, E. G. & Simpson, J. R. (2003). Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 2, N° 2:73-86.
- McPherson, G. (2007). Urban tree planting and greenhouse gas reductions. *Arborist News*: www.isa-arbor.com
- Molina Prieto, L. F. (2011). Metrópolis y aves: conservación de especies y sustentabilidad urbana. *Alarife*, N° 22: 46-61.
- Molina Prieto, L. F. & Vargas, B. (2008). Árboles para Bucaramanga. *Especies que fortalecen la estructura ecológica principal*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB, Universidad Antonio Nariño.
- Narosky, T. & Henschke, C. (2005). *Aves de la ciudad de Buenos Aires*. Buenos Aires: Vásquez Mazzini Editores.
- Nowak, D. J. & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, N° 116: 381-389.
- Nowak, D. J.; Dwyer, J. F. & Childs, G. (1997). "Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano". En Krishnamurthy L. & J. Rente Nascimento, (Eds.). *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. pp. 17-38. México D.F.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Osorio, J. (2012). Aves migratorias neotropicales en parques y jardines de Bogotá: 1945 – 2005. *Revista NODO*, vol. 6, N° 12: 67-82.
- Osorio, J. & Molina Prieto, L. F. (2009). A vuelo de pájaro. Las ciudades como refugio para las aves. *Revista NODO*, vol. 4, N° 7: 47-58.
- Osorio, J. & Molina Prieto, L. F. (1999). *Guía de aves de Santafé de Bogotá*. Bogotá: DAMA.
- Remolina, F. (2011). Figuras municipales de conservación ambiental en Colombia: ¿áreas protegidas, redes ecológicas o infraestructuras verdes? *Revista NODO*, vol. 6, N° 11: 65-76.
- Starr, F.; Starr, K. & Loope, L. (2003). *Ficus benjamina*. Maui, Hawai'i: United States Geological Survey-Biological Resources Division. Haleakala Field Station.

- Thomas, P.; Dragonetti, L.; van Renterghem, T. & Botteldooren, D. (2010). *Detailed analysis of the sound field in a scale model of a street canyon*. European Acoustics Association, 1st Congress on Sound and Vibration, Ljubljana, Slovenia, 13-15 September 2010.
- Tovar, G. (2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Territorios*, Núm. 16-17: 149-173.
- UICN-Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2000). *Cien de las especies invasoras más agresivas del mundo*. Auckland: UICN.
- Van Renterghema, T.; Botteldooren, D. & Verheyen, K. (2012). Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration*, vol. 331, N° 10: 2404–2425.
- Vornberger, C. & Winn, M. (2005). *Birds of Central Park*. Nueva York: H. N. Abrams.
- Varón, T.; Morales, L. & Londoño, J. A. (2002). *Árboles urbanos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Wiesner, D. (2000). Metodología para la definición de la estrategia de arborización. En *Memorias del foro de arborización urbana*, Bogotá D. C. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.