



**RASGOS FUNCIONALES DE CUATRO ESPECIES DE ÁRBOLES URBANOS EN
MEDELLÍN Y SU RELACIÓN CON LA DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA
LUZ BAJO LA COPA**

Estudiante:

Carolina Bustamante Fernández

Directora:

**María del Pilar Arroyave Maya M.Sc
Universidad EIA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
BOGOTÁ, COLOMBIA
2018**

Rasgos funcionales de cuatro especies de árboles urbanos en Medellín y su relación con la disminución de la temperatura y la luz bajo la copa

Carolina Bustamante^{*a}, Maria Arroyave^b

^aPontificia Universidad Javeriana. Bogotá- Colombia.

^bUniversidad EIA, Envigado-Colombia

*Corresponding autor: carolina.bustamante@javeriana.edu.co

RESUMEN

Los árboles urbanos brindan diversos beneficios a las personas; uno de ellos es la producción de sombra, la cual está relacionada con rasgos funcionales de la arquitectura arbórea. La copa del árbol intercepta la luz del sol, y parte de esta energía en forma de calor es usada para la transpiración. En este estudio se analizaron nueve rasgos funcionales relacionados con la arquitectura arbórea de las especies *Caesalpinia pluviosa*, *Bauhinia picta*, *Erythrina fusca* y *Terminalia catappa* presentes en el arbolado urbano de la ciudad de Medellín. Se midieron y compararon las temperaturas del aire y superficie del suelo, así como la interceptación de luz, dentro y fuera de la copa. Según los resultados obtenidos, la copa puede disminuir la temperatura del aire en promedio 1,83°C y la temperatura superficial del suelo en 1,47°C. Se obtuvieron diferencias significativas entre las especies en la temperatura superficial, siendo *Bauhinia picta* la especie que presentó los valores medios menores, tanto en esta variable como en los rasgos funcionales. Las especies *Erythrina fusca* y *Caesalpinia pluviosa* presentaron los valores mayores en los rasgos funcionales, lo que sugiere que éstas prestan el servicio de regulación climática de una manera más óptima, y que pueden ser utilizadas para este fin en la planeación y manejo del bosque urbano de la ciudad.

Palabras clave: rasgos funcionales, servicios ecosistémicos, regulación micro climática, interceptación de luz, producción de sombra, arbolado urbano.

ABSTRACT

Urban trees provide various benefits to people; one of them is the production of shade, which is related to the functional traits of the arboreal architecture. The crown of the tree intercepts sunlight, and part of this energy in the form of calories for transpiration. In this study, nine traits related to the architecture of *Caesalpinia pluviosa*, *Bauhinia picta*, *Erythrina fusca* and *Terminalia catappa* present in the urban trees of the city of Medellín were analyzed. The temperatures of the air and the surface of the soil were measured and compared, as well as the interception of light, inside and outside the cup. According to the results obtained, the canopy can lower the air temperature by an average of 1.83°C and the surface temperature of the soil by 1.47°C. Differences in surface temperature

characteristics were found, with *Bauhinia picta* being the species that presented the minor mean values, both in this variable and in the functional features. The species *Erythrina fusca* and *Caesalpinia pluviosa* present the highest values in the functional traits, which suggests that it is necessary for climate regulation in a more optimal way, and that it can be used for this purpose in the planning and management of the urban forest the city.

Keywords: functional traits, ecosystem services, micro climate regulation, interception of light, shade production, urban trees.

INTRODUCCION

Se estima que más de la mitad de la población mundial vive actualmente en ciudades, y, en algunos países y regiones, el proceso de urbanización continúa a un ritmo sin precedentes. En este siglo, se espera que de cada siete personas en el planeta, diez vivan en áreas urbanas (UN-HABITAT, 2013). Este crecimiento poblacional y urbano va acompañado de contaminación del aire y del agua, alteración micro climática y erosión del suelo (Roy, Byrne, & Pickering, 2012). La urbanización es uno de los principales factores de origen antropogénico que ha causado la reducción de la superficie que ocupaban diferentes hábitats alrededor de todo el mundo, y por lo tanto, es considerada como una amenaza para la biodiversidad (Czech y Krausman 1997). El acto de urbanizar está relacionado con el acondicionamiento de una porción de terreno con estructuras que permiten satisfacer las necesidades de vivienda del hombre, lo que genera la sustitución de los hábitats preexistentes en el sitio (Berkowitz et al. 2003) además los materiales de construcción de estas estructuras como el concreto, asfalto y ladrillo, absorben más calor durante el día que las superficies con vegetación (Oke, 1982; Kuttler, 2008).

Las ciudades se pueden considerar como sistemas complejos que demandan una gran cantidad de recursos naturales y ejercen una fuerte presión sobre el medio ambiente (Haase et al., 2014). De hecho, se ha calculado que estas consumen más del 75% del total de los recursos energéticos como resultado de las actividades llevadas a cabo en el entorno urbano; parte de esta energía se disipa en forma de calor, que se intensifica por la radiación solar (Gago et al., 2013). El calor se acumula al ser atrapado por las construcciones urbanas y en la noche se disipa lentamente, dando origen al efecto conocido como isla de calor, que puede elevar las temperaturas en zonas densamente urbanizadas (Oke, 1982; Gago et al., 2013).

Sin embargo, los espacios verdes en las áreas urbanas pueden disminuir este fenómeno, ya que favorecen el enfriamiento de las superficies; el enverdecimiento urbano modera las temperaturas y favorece procesos como la evapotranspiración y el sombreado de las

superficies (Gago et al., 2013). En estudios realizados en ciudades de Estados Unidos rodeadas por vegetación se registró una temperatura del aire 0,7°C más baja, una reducción en la radiación solar de hasta un 20%, y una reducción en la velocidad del viento entre 10-30% (Bolund & Hunhammar, 1999).

El bosque urbano como elemento verde se define como el conjunto de árboles y su vegetación asociada, dentro y alrededor de los asentamientos urbanos (Miller, Hauer, & Werner, 2000); este no solo brinda beneficios estéticos y recreativos, sino que también contribuye al mejoramiento de las condiciones ambientales en las ciudades (Buffoni, Silli, & Manes, 2013). Los árboles absorben la radiación solar, generan sombra y remueven contaminantes del aire, lo que da como resultado temperaturas más bajas del aire y de la superficie, así como un aire más limpio (Weber, Kowarik, & Säumel, 2014; Vogt et al., 2017). La influencia de la vegetación en el microclima se presenta en un rango de escalas, desde un árbol individual hasta todo el arbolado en el ámbito municipal y regional (Nowak, Dwyer, & Childs, 1997). En estudios realizados en Berlín, se demostró que los espacios con mayores coberturas arbóreas fueron los lugares más frescos de la ciudad; así, el aumento de la cubierta forestal en un 10% redujo las temperaturas superficiales en un promedio de 1,4 °C durante un día caluroso en verano (Tyrväinen et al., 2005).

Las plantas, así como otros seres vivos, tienen caracteres inherentes a la especie que les confieren valores funcionales; estos rasgos se pueden definir como características morfológicas, fisiológicas o fenológicas medidas a nivel del individuo, que tienen un efecto en el éxito biológico (*fitness*) y en los procesos de los ecosistemas (Violle et al., 2007). Algunos de estos procesos están estrechamente relacionados con la oferta de servicios ecosistémicos (Casanoves, Pla, & Di Rienzo, 2011). Según la Evaluación de los ecosistemas del milenio MAE (2005), los servicios de los ecosistemas son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen servicios de aprovisionamiento como alimentos, combustibles, madera, fibra, recursos genéticos, o medicinas naturales; servicios derivados de la regulación de los procesos ecosistémicos como la calidad del aire, regulación del clima, regulación hídrica, control de erosión, entre otros, y servicios culturales que hacen referencia a los beneficios no materiales que enriquecen la calidad de vida de las personas, tales como los valores estéticos, educaciones, religiosos y espirituales, las oportunidades de generar conocimiento (tradicional y formal), inspiración, sentido de pertenencia, recreación y turismo asociado a la naturaleza.

Según de Bello et al (2010), la prestación de servicios ecosistémicos está relacionada con ciertos rasgos funcionales, y en la actualidad su estudio recibe cada vez más atención ya que estos son considerados como los principales atributos ecológicos por medio de los

cuales los diferentes organismos y comunidades biológicas influyen en los servicios de los ecosistemas. De esta manera, la mayor parte de las asociaciones de rasgos con servicios ecosistémicos probadas corresponden a las comunidades de plantas, a rasgos estructurales en las plantas como la forma de crecimiento, la química de los tejidos, la morfología de las hojas, el tamaño de la copa y su arquitectura (De Bello, 2010). En el caso de la regulación climática, existen algunos procesos ecosistémicos directamente relacionados con este, como el albedo, el intercambio de calor entre la vegetación y la atmósfera, y la evapotranspiración.

En los árboles, la altura total, la forma de la copa, la densidad del follaje y el tipo de ramificación son rasgos relacionados con la arquitectura arbórea que pueden contribuir a crear sombra y moderar el microclima (Shahidan, Shariff, Jones, Salleh, & Abdullah, 2010). El follaje es quizás el componente de la morfología del árbol que más influye en la reducción de la temperatura que se experimenta debajo de los árboles, y que está relacionada con la producción de sombra (Jimenez, 2008). Bajo la sombra, el follaje condiciona las variaciones en la cantidad y calidad de la luz solar a partir de la reducción de la radiación solar, provoca disminución de la temperatura del aire y del suelo, además propicia el aumento de la humedad relativa del aire y el suelo (Pentón, 2000). Los árboles tienen el potencial de proporcionar una mejor sombra que otros tipos de plantas gracias a su copa elevada y generalmente extensa, aunque la efectividad puede variar según las especies. La copa de un árbol es el centro de procesos físicos y biogeoquímicos en un ecosistema; en ella se lleva a cabo el mayor porcentaje de la fotosíntesis, la transpiración y el intercambio de energía (Asner, Scurlock, & Hicke, 2008) y otros procesos como la producción de sombra.

La sombra de un árbol tiene muchos beneficios para las personas que habitan las ciudades; la temperatura es menor bajo la copa, las personas situadas allí se sienten más frescas debido a que el intercambio de calor entre una persona y el medio ambiente que lo rodea afecta el confort térmico (Armson, Rahman, & Ennos, 2013). Además, la sombra puede ayudar a reducir la radiación ultravioleta, y de esta manera evitar problemas de salud en las personas, como cataratas y cáncer de piel (Nowak et al., 1997).

En los últimos años se ha incrementado la evidencia empírica que apoya la influencia de la diversidad funcional en la oferta de servicios ecosistémicos; sin embargo, en Colombia este conocimiento es escaso (González et al., 2015). La ecología funcional es una aproximación a la comprensión de los procesos ecológicos en los ecosistemas, basada en la diversidad funcional, la cual se define como el valor y rango de los rasgos funcionales de un organismo presentes en un ecosistema (Diaz & Cabido, 2001). El funcionamiento y los procesos de los ecosistemas derivados de la complejidad ecológica intrínseca de un ecosistema permiten la

provisión natural de bienes y servicios para satisfacer las necesidades humanas como se mencionó anteriormente (Salgado-Negret, et al. 2015). Una vía muy prometedora para explicar este tipo de relaciones se refiere a la consideración de la diversidad de rasgos funcionales que sustentan, directa o indirectamente, diferentes servicios y las características espaciales de la distribución potencial de los mismos (Lavorel et al. 2011). Recientemente, se ha evidenciado la necesidad de estudios sobre la prestación de los servicios ecosistémicos en el ambiente urbano. Según la Propuesta para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos en Medellín (PGIBSE, 2014), es importante conocer la contribución de la flora urbana en la regulación microclimática, teniendo en cuenta la alta presencia de suelos de concreto o de materiales utilizados en el proceso de urbanización que retienen el calor aumentando las temperaturas debido al fenómeno efecto isla de calor urbano sería importante conocer cómo los árboles y arbustos de la ciudad impactan el clima localmente y contribuyen a la disminución de la temperatura urbana.

De acuerdo con lo anterior, en este estudio nos planteamos la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles rasgos funcionales del arbolado urbano de Medellín influyen en la temperatura del aire y superficial de suelo, así como en la luz bajo la copa de los árboles? El objetivo general fue evaluar la efectividad de la sombra de las especies *Caesalpinia pluviosa*, *Bauhinia picta*, *Erythrina fusca* y *Terminalia catappa*, especies abundantes en el arbolado urbano de Medellín, mediante el análisis de rasgos funcionales con el fin de aportar al conocimiento de las especies de árboles de la ciudad, que pueda contribuir a una mejor gestión y planeación de este, donde los principales beneficiados sean los habitantes de la ciudad. Para esto se plantearon tres objetivos específicos: 1. Comparar los rasgos funcionales asociados a la arquitectura arbórea de las cuatro especies; 2. Analizar las relaciones entre estos rasgos funcionales y la temperatura del aire y la superficie del suelo así como la luz bajo la copa y 3. Determinar los rasgos funcionales relacionados con la arquitectura arbórea que tienen mayor efecto sobre la temperatura del aire y de la superficie del suelo así como la luz bajo la copa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Medellín, ubicada en la parte central del Valle de Aburrá, en la cordillera Central (Hermelín & Rendón, 2007) y con una extensión de 380 km² (Alcaldía de Medellín, 2016). Se encuentra en una altitud media de 1495 metros sobre el nivel del mar, presenta un régimen bimodal de lluvias, con dos períodos secos y dos lluviosos al año, la precipitación media anual oscila entre 1437 y 2000 mm y la temperatura promedio de 24°C (Area Metropolitana del Valle de Aburrá, 2015). Está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: 6° 14' 41.09" N, 75° 34' 29.38" O. (Figura 1).

Dentro de la ciudad, los sitios de estudio se encuentran en: La Comuna 10 (La Candelaria), situada al centro oriente de Medellín que se caracteriza por ser el centro fundacional, histórico y patrimonial de la ciudad; cuenta con 17 barrios (Alcaldía de Medellín, 2015) una población de 2.417.326 habitantes y una extensión de 73.653 m³ (Alcaldía de Medellín, 2013). Específicamente, el estudio se desarrolló en el sector de La Alpujarra, Centro Administrativo de la Ciudad de Medellín, allí se encuentran ubicados equipamientos de la ciudad como el Teatro Metropolitano, el Edificio de Empresas Públicas de Medellín, el Parque de los Pies Descalzos y el Centro de Exposiciones y Convenciones Plaza Mayor (Alcaldía de Medellín, 2015) (ver figura 1, puntos 1 y 2). Según el Sistema de alerta temprana de Medellín y el Valle de Aburra (SIATA), que monitorea la temperatura del aire en la ciudad, esta zona presenta temperaturas entre 2 o 3 °C más altas en el día que otras zonas de la ciudad y se encuentra alrededor de 27°C. En otro sitio de estudio corresponde a la Comuna 4 (Aranjuez), que cuenta con 487,72 hectáreas que corresponden al 30,9% de la zona nororiental, de la ciudad. Su población es de 161.491 habitantes y acá se encuentra el Parque Explora y la universidad de Antioquia (Alcaldía de Medellín, 2015a) (ver figura 1 puntos 2 y 3).



Figura 1. Mapa del Vallé de Aburrá. En el centro se observa la ciudad de Medellín donde se encuentran los cuatro puntos que conforman la zona de estudio. Fuente: *Elaboración propia*

Selección de las especies

Se seleccionaron las siguientes cuatro especies arbóreas aptas para las condiciones urbanas, y comúnmente utilizadas en parques, plazas, andenes y separadores viales en Medellín. Las especies difieren en su altura máxima, tipo de copa y amplitud de copa, por lo que se esperaba distintos efectos en la sombra que proyectan y en la temperatura que se genera bajo su copa. De acuerdo con el inventario del Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos (AMVA, 2006), las especies están entre las 35 especies más comunes del Valle de Aburrá, de las 500 reportadas. (Ver fotografías en el anexo)

Según Varón y Morales (2017) y SAO (2009), las especies presentan los siguientes valores en sus variables dendrométricas, características de la copa y persistencia de las hojas:

- *Caesalpinia pluviosa* (acacia amarilla): diámetro del tronco de 50 cm y una altura máxima de 16 m. Su copa es aparasolada y puede alcanzar 16 m de amplitud. Es caducifolia por periodos cortos.

- *Bauhinia picta* (casco de vaca): diámetro del tronco de 40 cm y una altura máxima de 18 m. Su copa es de tipo oval y puede alcanzar 14 m de amplitud. Es semicaducifolia.
- *Erythrina fusca* (búcaro): diámetro del tronco de 200 cm y una altura máxima de 20 m. Su copa es globosa y puede alcanzar 30 m de amplitud. Es semicaducifolia.
- *Terminalia catappa* (almendro): diámetro del tronco de 45 cm y altura máxima de 15 m. Su copa es estratificada y puede alcanzar 14 m de amplitud. Es caducifolia.

Localización y selección de individuos.

Luego de establecer la zona de estudio, y de identificar que son zonas de la ciudad donde se presentan altas temperaturas, se seleccionaron los individuos a estudiar bajo los siguientes criterios:

- Individuos adultos y de la misma edad.
- Buen estado de salud, los árboles debían ser sanos, libres de plagas y sin ningún tipo de daño mecánico.
- Árboles libres de alguna estructura urbana que pudiera estar influenciando su sombra proyectada.
- Superficie de siembra de concreto, se buscaron árboles con una pequeña área de tierra donde estaban sembrados rodeados de concreto, estos se encontraron sobre andenes para el caso de los individuos seleccionados en los alrededores del parque explora, Universidad de Antioquia y Plaza mayor. Los individuos ubicados en el parque de los pies descalzos se ubicaban dentro de la plaza principal del parque.

Tabla 1. Distribución de individuos en las áreas seleccionadas.

Área	Especie				Total de árboles
	<i>E. fusca</i>	<i>T. catappa</i>	<i>B. picta</i>	<i>C. pluviosa</i>	
Parque de los Pies Descalzos	10	0	0	0	10
Plaza Mayor	0	7	1	10	18
Parque Explora	0	2	4	0	6
Universidad de Antioquia	0	1	5	0	6
Total árboles	10	10	10	10	40

Selección de rasgos funcionales

Se identificaron los rasgos funcionales que, de acuerdo con la literatura científica (Casanoves et al., 2011; Armson et al., 2013; de Bello, et al. 2010) y con nuestros criterios, pudieran influir en la regulación de la temperatura del aire, la temperatura superficial del suelo y la producción de sombra, algunos de estos están asociados a la arquitectura arborea. (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Rasgos funciones seleccionados para el estudio.

Rasgo	Descripción	Unidad de medida
Diámetro a la altura del pecho (DAP)	Diámetro del tronco del árbol a una altura de 1,3 m del suelo	Centímetros (cm)
Altura del árbol (H)	Distancia tomada desde el suelo hasta la parte terminal de la copa	Metros (m)
Altura de la copa (Hc)	Distancia tomada desde la base de la copa hasta su parte terminal	Metros (m)
Amplitud de la copa (Dc)	Promedio de los diámetros de la copa tomados en sentidos Norte-Sur y Este-Oeste.	Metros (m)
Proyección de la copa (Pc)	Área de la proyección de la copa sobre el suelo	Metros cuadrados (m ²)
Superficie de la copa (Sc)	Área superficial de la copa	Metros cuadrados (m ²)
Área foliar de la copa (AFc)	Área total de las hojas que conforman la copa.	Metros cuadrados (m ²)
Índice de área foliar (IAF)	Área foliar de la copa por unidad de superficie proyectada en el suelo.	Sin unidades
Biomasa foliar de la copa (Bfc)	Peso total de las hojas que conforman la copa	Kilogramos (kg)

Medición de la temperatura del aire, la temperatura superficial y la interceptación de luz

Las mediciones de la temperatura del aire, la temperatura superficial del suelo y el factor de sombra, se realizaron entre las 12:00 m y las 2:30 p.m., durante los meses de junio, julio y agosto de 2017, en días con cielo despejado y sin presencia de nubosidad. Se tomaron las medidas bajo de la copa y fuera de ésta; lo primero que se hizo fue seleccionar un punto (norte), a un metro de distancia del suelo y a un metro del tronco de este, donde se ubicó el termohigrómetro (marca HALTHEN) que estaba dispuesto en un soporte sujetado por el auxiliar. Para la lectura de la temperatura superficial de suelo se utilizó la sonda del termohigrómetro y para registrar la de interceptación de luz se utilizó un luxómetro (marca

Tondaj LX-1010B). Todas las lecturas se registraron manualmente y se consignaron en el formato de toma de datos en campo (ver anexo). El tiempo de medición de cada temperatura fue de un minuto aproximadamente.

Cálculo de la diferencia en la disminución de la temperatura (ΔT) y el factor de sombra.

Después de registradas las temperaturas del aire y la superficie del suelo, tanto bajo la sombra como fuera de esta, se calculó para cada individuo la diferencia de la disminución de temperatura (ΔT) así:

$$\Delta T = T_{fs} - T_{ds}$$

Donde T_{fs} es la temperatura registrada fuera de la sombra en °C; T_{ds} es la temperatura registrada dentro de la sombra en °C.

Para el cálculo de la interceptación de luz, se calculó la diferencia de la intensidad de luz medida bajo la copa y fuera de ésta, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de interceptación de luz} = (L_{ds} * 100) / L_{fs}$$

Donde L_{ds} es la luz tomada dentro de la sombra, medida en unidades lux; L_{fs} es la luz tomada fuera de la sombra en unidades lux. Finalmente, para obtener el factor de sombra, el porcentaje de interceptación de luz se dividió entre 100.

Medición del área foliar (AF) y cálculo del índice de área foliar (IAF)

- Área foliar (AF): para calcular el área foliar de la copa (AF) se aplicó la siguiente ecuación propuesta por Nowak (1996) (Ver anexo):

$$AF = \text{Exp} (-4,3309 + (0,2942 * H_c) + (0,7312 * D_c) + (5,7217 * F_s) - (0,0148 * S_c))$$

Donde H_c es la altura de la copa en metros; D_c es el promedio de los diámetros de la copa en metros; F_s es el factor de sombra; S_c es la superficie de la copa en metros cuadrados.

Para aplicar la ecuación anterior fue necesario calcular la superficie de la copa S_c , para lo que se utilizó la siguiente fórmula (Nowak, 1996) (Ver en el anexo):

$$S_c = \pi (D_c (H_c + D_c) / 2)$$

Donde D_c es la amplitud de la copa en metros y H_c es la altura de la copa en metros.

- Índice de área foliar (LAI).

Se calculó con la aplicación de la siguiente ecuación, que parte de su definición (Asner, 2003):

$$LAI = Af/Pc$$

Donde Af es igual al área foliar de la copa (m²) y Pc es la proyección de la copa (m²).

La proyección de la copa (Pc) corresponde al área de la elipse proyectada en el suelo, con los diámetros de copa como los diámetros mayores y menor, los cuales fueron medidos en campo y corresponden a la distancia norte-sur y este-oeste.

Cálculo de la biomasa foliar de la copa (BF)

Para la estimación de la biomasa foliar se recolectaron tres hojas de cinco árboles de cada especie y se midió el área de las hojas utilizando el software Image J. Posteriormente, se obtuvo el peso de cada hoja. Para esto se pesaron las hojas frescas y luego se secaron a 70 °C durante 8 horas en el horno, como lo indican en Salgado-negret, (2015). La biomasa de cada hoja correspondió al peso seco. Con los valores del área de cada hoja y su peso se obtuvo el peso en gramos por centímetro cuadrado de cada hoja.

Para el cálculo de la biomasa foliar de la copa se multiplicó el área foliar de la copa por el peso por unidad de área de la hoja (g/cm²).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para evaluar si existen diferencias significativas entre los rasgos evaluados, entre las diferencias de temperatura (del aire y superficial) y el factor de sombra de las cuatro especies. En caso de existir diferencias significativas, se hizo un análisis *post hoc*, con la prueba de Tukey. También se usó la prueba de Kruskal-Wallis, prueba no paramétrica puesto que en algunos rasgos no se cumplieron los opuestos de normalidad y homoscedasticidad y la prueba de Mann Withney para visualizar dónde se encontraban las diferencias significativas. La relación entre los rasgos funcionales y la temperatura del aire, superficial del suelo y factor de sombra se estudió mediante el análisis de correlación de Pearson. Para todas las pruebas estadísticas se consideró un valor de significancia de un $p < 0,05$. Los programas estadísticos utilizados fueron Past y Statgrafics.

Resultados

Temperatura del aire y de la superficie del suelo

En la Tabla 3 se presentan los valores medios de las diferencias de las temperaturas del aire, superficie del suelo y de la interceptación de luz, obtenidas de las mediciones dentro y fuera de las copas de las cuatro especies evaluadas. Así como los resultados de la ANOVA, donde solo se encontraron diferencias significativas en la diferencia de la temperatura de la superficie del suelo.

Tabla 3. Valores medios y valor p de las diferencias de las temperaturas del aire, superficie del suelo e interceptación de luz. Las letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las especies.

Especie	ΔT° del aire (ΔT_a)	ΔT° superficial (ΔT_s)	Factor de sombra (Fs)
<i>C. pluviosa</i>	2,18	2,23 ^a	0,91
<i>B. picta</i>	2,01	0,82 ^b	0,90
<i>E. fusca</i>	1,65	1,36 ^a	0,92
<i>T. catappa</i>	1,48	1,48 ^a	0,94
Promedio	1,83	1,47	0,92
Valor p	0,136	0,017	0,879

Temperatura del aire (T_a): no se encontraron diferencias significativas entre los valores de la diferencia de la temperatura del aire en las cuatro especies ($P = 0,136$). El valor promedio de la diferencia en la reducción de la temperatura del aire fue de $1,83^\circ\text{C}$ (ver Tabla 3).

Temperatura de la superficie del suelo (T_s): si se encontraron diferencias significativas entre los valores de la diferencias de la temperatura de la superficial del suelo de las especies ($P = 0,0169$). El análisis *post hoc* (Prueba de Tukey) indicó que los valores de *C. pluviosa*, *E. fusca* y *T. catappa* no difieren significativamente entre sí, pero existen diferencias entre estas especies y *B. picta*, la cual obtuvo el menor valor (ver tabla 3).

Factor de sombra (Fs): No se encontraron diferencias significativas entre los valores del factor de sombra (Fs). El promedio de las cuatro especies fue de 0,92. (ver Tabla 3)

Rasgos funcionales

Se obtuvieron diferencias significativas entre las especies en casi todos los rasgos funcionales, con excepción del índice de área foliar, para el cual los valores de las especies son similares estadísticamente (ver tabla 4, figura 2). En la tabla 4 se presentan los resultados del valor medio y la desviación estándar de cada rasgo.

Tabla 4. Valores medios y desviación estándar (en paréntesis) de los rasgos funcionales medidos.

Especie	DAP (cm)	H (m)	Hc (m)	Dc (m)	Pc (m ²)	Sc (m ²)	AFc (m ²)	BF (kg)	IAF
<i>C. pluviosa</i>	24,4 (7,67)	7,8 (0,85)	3,9 (0,60)	10,8 (1,79)	92,6 (31,7)	253,7 (77,59)	516,2 (223,04)	40,4 (17,6)	6 (1,63)
<i>B. picta</i>	20,3 (4,09)	7,3 (1,00)	4,1 (0,75)	6,2 (1,31)	31,0 (13,4)	103,5 (39,13)	172,1 (83,23)	8,4 (4,09)	6 (2,49)
<i>E. fusca</i>	45,0 (10,18)	9,8 (2,31)	5,7 (1,74)	11,2 (1,82)	95,2 (34,04)	305,4 (98,64)	597,6 (228,41)	58,5 (22,47)	6 (2,22)
<i>T. catappa</i>	23,0 (3,09)	8,4 (0,99)	4,8 (0,82)	8,4 (1,12)	55,6 (14,00)	175,7 (41,50)	427,3 (152,55)	30,1 (10,64)	8 (1,57)

En la Figura 2, se muestran los valores medios y la respectiva desviación estándar de los siguientes rasgos funcionales: diámetro a la altura del pecho (DAP), amplitud de copa (DC), superficie de la copa (SC) y área foliar (AFc). A estos rasgos se aplicó el análisis de varianza, por cumplir con los supuestos de esta prueba (Normalidad y Homoscedasticidad). Con las letras iguales se distinguen las especies sin diferencias significativas para cada rasgo. En el DAP se identificaron dos grupos homogéneos, resultados del análisis de rangos múltiples, que agrupa las especies de acuerdo al valor de la media. El primer grupo con valores mayores está conformado por *E. fusca* y el segundo con las otras tres especies. En la amplitud y superficie de copa se identificaron tres grupos homogéneos, el primero conformado por las especies *C. pluviosa* y *E. fusca*, el segundo por *T. catappa* y el tercero por *B. picta*. Finalmente, en el rasgo área foliar se forman también tres grupos homogéneos, el primero conformado por las especies *C. pluviosa* y *E. fusca*, el segundo conformado por *C. pluviosa* y *T. catappa* y el último por *B. picta*.

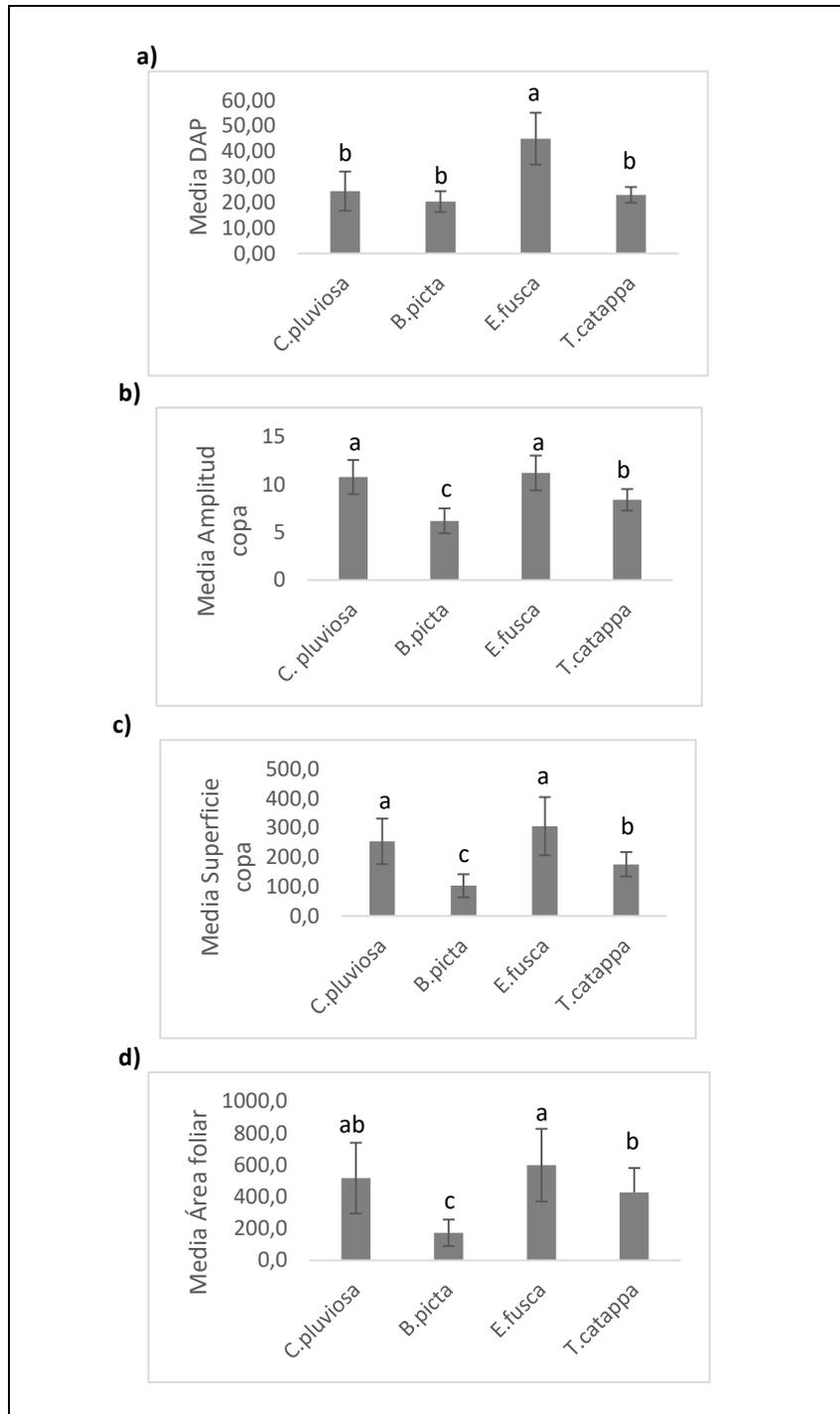


Figura 2. Media y desviación estándar de cuatro rasgos funcionales: a) DAP, b) Amplitud de copa, c) Superficie copa y d) Área foliar, medidos en las cuatro especies estudiadas: *C. pluviosa*, *B. picta*, *E. fusca* y *T. catappa*. Las especies con las mismas letras no presentan diferencias significativas entre sí.

En los rasgos correspondientes a la altura total (H), altura de copa (Hc), proyección de copa (Pc) y biomasa foliar (BFc), se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis debido a que los datos no fueron normales. Los resultados de la prueba de Mann-Whitney identificaron las diferencias significativas entre las especies que se presentan en la Tabla 5

Tabla 5. Rasgos funcionales con diferencias significativas y su contraste.

Rasgo	Valor p	Especies con diferencias significativas
Altura total (H)	0,022	<i>B. picta - E. fusca</i>
		<i>B. picta - T. catappa</i>
Altura copa (Hc)	0,028	<i>C. pluviosa - E. fusca</i>
		<i>C. pluviosa - T. catappa</i>
Proyección copa (Pc)	0,000	<i>C. pluviosa - B. picta</i>
		<i>C. pluviosa - T. catappa</i>
		<i>B. picta - E. fusca</i>
		<i>B. picta - T. catappa</i>
		<i>E. fusca - T. catappa</i>
Biomasa foliar (Bf)	0,000	<i>C. pluviosa - B. picta</i>
		<i>B. picta - E. fusca</i>
		<i>B. picta - T. catappa</i>
		<i>E. fusca - T. catappa</i>

Las medias y desviación estándar de los rasgos mencionados anteriormente se muestran en la Figura 3

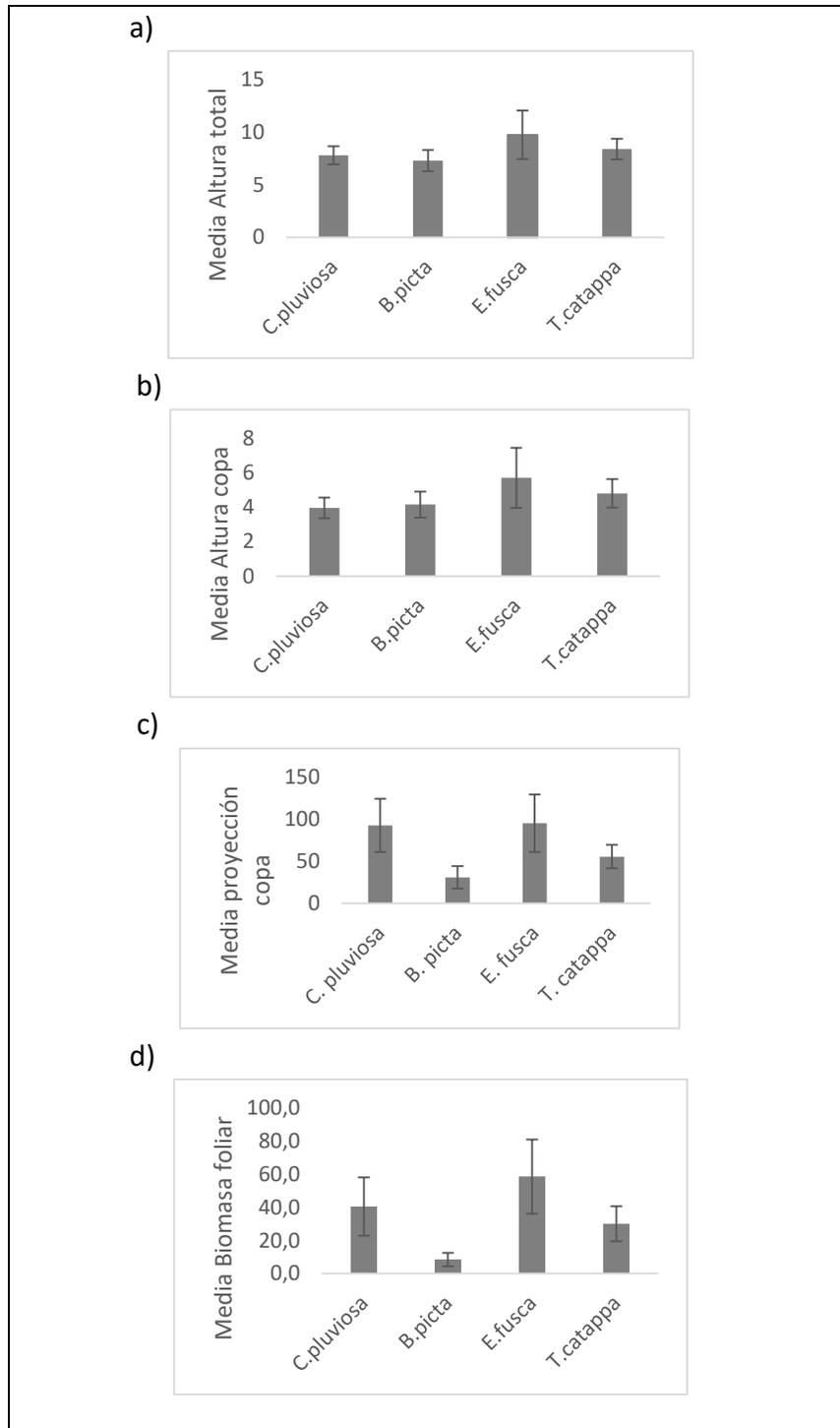


Figura 3. Media y desviación estándar de los rasgos funcionales: a) altura total, b) altura copa, c) proyección de copa y d) biomasa foliar, medidos en las cuatro especies estudiadas: *C. pluviosa*, *B. picta*, *E. fusca* y *T. catappa*.

El análisis de correlación entre los rasgos funcionales y las variables dependientes como temperatura del aire, temperatura del suelo y factor de sombra o interceptación de luz se presentan en la Figura 4. En esta se puede observar una fuerte relación (>50 %) entre los rasgos de altura de la copa con el DAP, y con la altura máxima, los rasgos superficie de la copa, amplitud de copa, proyección de copa, área foliar también están altamente relacionados la razón es porque las ecuaciones con las que se calcularon relacionan estas variables. También se puede observar que las relaciones entre las variables dependientes y los rasgos funcionales son muy bajas y poco fuertes.

Figura 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre los rasgos funcionales y las variables dependientes.

	DAP	H	Hc	Dc	Pc	Sc	AFc	BFc	IAF	Fs	$\Delta T^{\circ}a$	$\Delta T^{\circ}s$
DAP	1											
H	0,71	1										
Hc	0,61	0,89	1									
Dc	0,64	0,58	0,45	1								
Pc	0,64	0,60	0,47	0,96	1							
Sc	0,72	0,70	0,60	0,97	0,97	1						
AFc	0,57	0,63	0,58	0,87	0,86	0,89	1					
BFc	0,30	0,31	0,10	0,55	0,48	0,51	0,43	1				
IAF	-0,06	0,12	0,26	-0,03	-0,11	0,01	0,38	-0,01	1			
Fs	0,06	0,15	0,24	0,09	0,14	0,16	0,50	0,00	0,80	1		
$\Delta T^{\circ}a$	0,02	0,03	0,05	0,04	-0,03	-0,05	0,00	0,21	0,14	0,08	1	
$\Delta T^{\circ}s$	0,01	0,03	-0,03	0,36	0,37	0,31	0,29	0,35	-0,07	0,03	-0,12	1

Discusión

Temperatura del aire

Las temperaturas del aire registradas bajo las copas de las cuatro especies fueron menores a las registradas en las áreas expuestas directamente al sol; el promedio de las diferencias en las temperaturas fue de 1,83 °C. Este valor se encuentra en el rango entre 1 °C y 3,3 °C reportado por la literatura (Geogie & Zafiriadis, 2006; Rojas-Cortorreal, Roset, & Navés, 2015, Streiling & Matzarakis, 2003). Según estos hallazgos, se puede ver claramente cómo los árboles regulan la temperatura bajo del aire la copa por medio de la disminución de la temperatura y, por lo tanto, brindan condiciones más confortables térmicamente para las

personas. La producción de sombra es uno de tantos beneficios que prestan los árboles en ambientes urbanos con altas temperaturas.

No se encontraron diferencias significativas en la reducción de la temperatura del aire entre las especies evaluadas. Este resultado no era lo esperado, dado que las especies difieren en los rasgos funcionales, especialmente los asociados a las características de la copa (amplitud, proyección, superficie, área y biomasa foliar), que influyen en la interceptación de la radiación solar. Por ejemplo, *B. picta* obtuvo valores significativamente más bajos que todas las especies en estos rasgos funcionales, y por lo tanto, se esperaría que la reducción en la temperatura ambiental fuera menor. Estos resultados son similares a los reportados por Armson et al. (2013) quienes compararon el efecto de cinco especies arbóreas en la temperatura del aire; a pesar de encontrar diferencias significativas en rasgos como la amplitud de la copa y el índice de área foliar, no se identificaron diferencias en las temperaturas del aire bajo la copa.

Temperatura superficial

La disminución promedio de la temperatura superficial fue de 1,5 °C, aunque este valor es menor al 12,8 °C, reportado en otros estudios (Armson et al., 2013). Esta reducción en la temperatura superficial influye en la cantidad de calor almacenado en la superficie, y por lo tanto, en el proceso de irradiación que genera islas de calor en las ciudades.

Se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas superficiales de las especies. *B. picta* obtuvo valores significativamente menores que las otras tres especies. Esta especie mostró también diferencias significativas en rasgos funcionales como la amplitud de la copa, el área foliar y la biomasa foliar de la copa, lo que puede explicar la menor reducción en la temperatura superficial. Entre las especies *E. fusca*, *C. pluviosa* y *T. catappa* no se encontraron diferencias significativas, por lo tanto cualquiera de ellas sería igualmente efectiva. El rango de valores de estos rasgos osciló entre 8,4 m y 11,2 m para la amplitud de la copa, 427 m² y 597 m² para el área foliar y 30,1 kg y 58,5 kg para la biomasa foliar.

A diferencia de los resultados de este estudio, Armson et al., (2013) encontraron una correlación directa entre la reducción de la temperatura superficial y el índice de área foliar (IAF) en la que a mayor valor de IAF, mayor reducción en la temperatura superficial. En nuestro estudio, se encontraron diferencias en la temperatura bajo *E. picta* y las otras tres especies. Sin embargo, los valores del IAF de las cuatro especies no difieren estadísticamente. Dado que existe una alta correlación entre el IAF y la amplitud de la copa

y el área foliar, se sugiere utilizar estos dos rasgos ya que permiten diferenciar más claramente las especies.

Factor de sombra

El factor de sombra (F_s) corresponde a la cantidad de luz que la copa puede atenuar. La copa puede bloquear hasta el 95 % de la radiación entrante, incluso los árboles sin hojas (como los árboles caducifolios) pueden interceptar hasta el 50 % de la energía del sol (Abaki, 1992). En una sola capa de hojas generalmente se absorbe el 80% de la radiación visible entrante, se refleja el 10 % y se transmite el 10 % (Brown y Gillespie, 1995). Por lo tanto, un mayor número de capas de hojas será más eficiente para reducir la radiación solar debajo de un árbol y, por consiguiente, la temperatura.

El desempeño de los árboles frente a la atenuación de la luz depende de las características propias de la especie (Bueno-Bartholomei & Labaki, 1996). La densidad del follaje y el tipo de ramificación son las principales características que influyen en la filtración de la radiación; valores mayores de área foliar contribuyen a interceptar más radiación solar entrante (Shahidan, 2010). Los resultados del análisis estadístico no identificaron diferencias significativas entre el factor de sombra de las cuatro especies. Los valores estuvieron por encima de 0,9 con un promedio de 0,92. El factor de sombra es una variable utilizada en la ecuación del cálculo del área foliar, conjuntamente con rasgos de la copa como la altura, la amplitud y la superficie. En estos dos últimos rasgos se encontraron diferencias significativas, con valores menores en *B. picta*; por lo tanto, son los atributos de estos rasgos los que parecen influir en el valor estimado del área foliar, el cual fue estadísticamente menor en *B. picta*.

Rasgos funcionales

Si bien no se encontraron correlaciones significativas entre la reducción de las temperaturas y los rasgos funcionales de las especies, sí se observa que *B. picta* tuvo los menores valores en todos los rasgos con excepción del DAP, la altura y la altura de la copa, que fueron similares a *T. catappa*, y en el IAF para el cual no existieron diferencias significativas entre las especies. La especie *B. picta* tuvo valores significativamente más bajos en casi todos los rasgos asociados a la producción de sombra (amplitud de copa, proyección de copa, área foliar y biomasa foliar) que las demás especies, por lo que se podría concluir que es la especie menos efectiva para la producción de sombra.

En el estudio realizado por Armson et al (2013) se encontró una alta correlación entre la reducción de la temperatura superficial y el IAF. Se demostró que la selección de especies de árboles con un alto índice de área foliar (IAF) proporcionan mayor enfriamiento que las otras. Dado que el área foliar y el IAF son rasgos que están correlacionados fuertemente con las características morfológicas de la copa, tales como la altura, la amplitud, la proyección y la superficie, se esperaría que valores altos de estos contribuyen más a la reducción de la temperatura. Mejor eliminamos esto último.

Limitaciones experimentales.

De acuerdo a los resultados obtenidos y no esperados creemos que esto se podría atribuir a la toma de datos, para lo que se podría pensar en un registro de las temperaturas de manera pareada, es decir simultánea tanto fuera como dentro de la copa, para evitar algún tipo de error en estas, aunque no se asegura que esto pueda modificar los resultados del estudio. En cuanto al número de individuos estudiados, también hubo limitaciones debido a que encontrar el número estudiado fue difícil, sin embargo se recomendaría que el tamaño maestral sea mayor lo que haría más representativos los resultados.

Conclusiones

Los árboles tienen la capacidad de afectar el microclima local, premisa que se probó en este estudio. Bajo su copa se desarrolla un ambiente más agradable para las personas, el cual que se ve reflejado en la disminución de la temperatura ambiental o superficial. Las hojas interceptan la luz, por lo que la radiación solar es menor dentro de la copa que fuera de esta lo que se ve reflejado en una disminución de la temperatura, este es un espacio donde los transeúntes se pueden refugiar de los rayos solares en las horas del día con mayor radiación solar en las ciudades donde se presentan altas temperaturas debidas al efecto isla de calor. Según los resultados obtenidos, *E. fusca* y *C. pluviosa* presentaron los valores medios más altos en los rasgos funcionales que influyen en mayor medida en la reducción de la temperatura. Por lo tanto, se considera que estas serían una buena opción para utilizar en aquellos espacios donde se desee obtener buena sombra dentro de las ciudades. Por otro lado, *B. picta* tuvo los valores menores en todos los rasgos funcionales medidos, y una disminución menor en la temperatura superficial.

Especies con características similares a las de *E. fusca*, *C. pluviosa* y *T. catappa* pueden ser utilizadas para la siembra dentro de las ciudades. Los rasgos funcionales medidos indican

que los individuos adultos de estas especies proveen buena sombra, si se piensa en una planeación del arbolado con este interés. Según los resultados obtenidos, los atributos de los rasgos funcionales asociados a la copa (amplitud, superficie, proyección y área y biomasa foliar) son los que tienen una mayor influencia en la reducción de la temperatura, al menos la superficial. Mucho se sabe de los beneficios que tienen los árboles pero poco se han estudiado al menos en la ciudad de Medellín; por lo tanto, es importante investigar las diferencias entre los rasgos funcionales asociados a la copa para comprender el impacto de cada especie en el confort al aire libre (Shahidam, 2010), que pueden experimentar las personas.

Literatura citada

- Abaki H., Davis, S, Dorsano, S, Lawrence, J.H & Winnett, S. (1992). Cooling for communities: A guidebook on the planting and light-colored surfacing. US Environmental protection agency.
- Alcadía de Medellín. (2016). Aspectos generales. Retrieved September 27, 2016, from <https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://6488ef50a6787e1fdb4e42e62a46a67>
- Alcaldía de Medellín. (2013). *Cuentas Claras. Comuna 10. La Candelaria*. Medellín.
- Alcaldía de Medellín. (2015a). *Plan de desarrollo local- Comuna 10. la candelaria*. Medellín.
- Alcaldía de Medellín. (2015). *Plan de desarrollo local- Comuna 4. Aranjuez*. Medellín.
- Alcaldía de Medellín-Secretaría de Medio Ambiente, Parque Explora, Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, S. A. de O. (SAO). (2014). *Propuesta para la gestión integral de la Biodiversidad en Medellín*.
- Area Metropolitana del valle de aburrá, A. (2015). *Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá*. (F. Moreno Hurtado & C. E. Hoyos Estrada, Eds.). Medellín.
- Armson, D., Rahman, M. A., & Ennos, A. R. (2013). A comparison of the shading effectiveness of five different street tree species in Manchester, UK. *Arboriculture and Urban Forestry*, 39(4), 157–164.
- Asner, G. P., Scurlock, J. M. O., & Hicke, J. A. (2008). Global synthesis of leaf area index observations : *Global Ecology & Biogeography.*, 12(2003), 191–205.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293–301.

- Bueno-bartholomei, C. L., & Labaki, L. C. (1996). How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation? In *FAPESP/Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo* (pp. 2–5).
- Buffoni, A., Silli, V., & Manes, F. (2013). Air pollution removal by urban green in milan town centre results from model estimations and air quality measurements. In *16 th European Forum of Urban Forestry*. Milano.
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. . (Eds.). (2011). *Diversidad funcional Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Turrialba.
- Diaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, *16*(11), 646–655.
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordoñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *25*, 749–758. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Geogie, N., & Zafiriadis, K. (2006). The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosyst*, (May), 195–209. <http://doi.org/10.1007/s11252-006-8590-9>
- González, M., Salgado-Negret, B. ., Baptiste, M., Cortés Gómez, A., Ruíz Osorio, C., Ruíz Agudelo, C., ... García, H. (2015). ECOLOGÍA FUNCIONAL: UNA HERRAMIENTA PARA LA GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO FRENTE A LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. In *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. (p. 232). Bogotá.
- Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., ... Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *Ambio*, *43*(4), 413–433. <http://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>
- Hermelin, M., & Rendón, D. A. (2007). Medellín. In *Entorno Natural de 17 ciudades de Ccolombia*. (pp. 187–211).
- Jimenez, O. (2008). Índice de confort de la vegetación. *Revista Nodo*, *3*(5), 49–70. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3396622>
- Kuttler. (2008). The urban climate – basic and applied aspects. In *Urban Ecology – An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. (pp. 233–248). New York: Springer.
- Miller, R., Hauer, R., & Les. P Werner, L. (2000). *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces*. Illinois: Waveland Press.
- Nowak, D. J. (1996). Estimating Leaf Area and Leaf Biomass of Open-Grown Deciduous

- Urban Trees. *Forest Science*, 42(4), 504–507.
- Nowak, D. J., Dwyer, J. F., & Childs, G. (1997). Los beneficios y los costos del enverdecimiento urbano. In L. Krishnamurthy & J. Rente Nascimento (Eds.), *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. (pp. 17–38). Mexico: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
- Pentón, G. (2000). Y ALGUNAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS EN ESPECIES ARBÓREAS. *Pastos Y Forrajes*, 25(4). Retrieved from <http://payfo.ihatuey.cu/index.php/pasto/article/view/857/1459>
- Rojas-cortorreal, G., Roset, J., & Navés, F. (2015). The vegetation in the microclimate comfort. Comparison of species of Mediterranean climate of Barcelona, Spain, (October). <http://doi.org/10.5821/ace.11.29.3589>
- Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). Urban Forestry & Urban Greening A systematic quantitative review of urban tree benefits , costs , and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4), 351–363. <http://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006>
- Salgado-Negret, B., Pulido Rodriguez, E. ., Cabrera, M., Ruiz Osorio, C., & Paz, H. (2015). Protocolo para la medición de rasgos funcionales en plantas. In B. . Salgado-Negret (Ed.), *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. (p. 236). Bogotá.
- Shahidan, M. F., Shariff, M. K. M., Jones, P., Salleh, E., & Abdullah, A. M. (2010). A comparison of *Mesua ferrea* L. and *Hura crepitans* L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 168–181. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.008>
- SIATA.2000. Sistema de alerta temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. https://siata.gov.co/siata_nuevo/
- Streiling, S., & Matzarakis, A. (2003). Influence of single and small clusters of trees on the bioclimatic of a city: A case study. *Journal of Arboriculture*, 29(6), 309–316.
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K., & Vries, S. De. (2005). Benefits and Uses of Urban Forests and Trees. In *Urban Forest and Trees* (pp. 81–115).
- UN-HABITAT. (2013). *STATE OF THE WORLD'S CITIES 2012/2013*. New York.
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882–892. <http://doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.15559.x>
- Vogt, J., Gillner, S., Hofmann, M., Tharang, A., Dettmann, S., Gerstenberg, T., ... Roloff, A. (2017). *Landscape and Urban Planning Citree : A database supporting tree selection*

for urban areas in temperate climate. *Landscape and Urban Planning*, 157, 14–25.
<http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.005>

Weber, F., Kowarik, I., & Säumel, I. (2014). Herbaceous plants as filters : Immobilization of particulates along urban street corridors. *Environmental Pollution*, 186, 234–240.
<http://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.011>

ANEXOS

1. Formulario de campo.

Formulario registro datos en campo (rasgos funcionales de fácil medición)

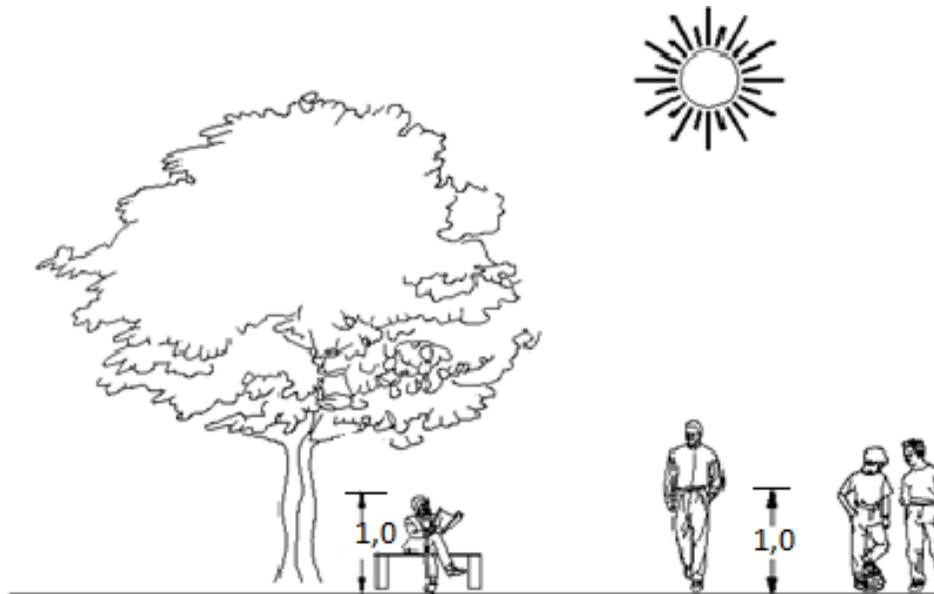
Trabajo de grado: Rasgos funcionales de cinco especies de árboles de Medellín y su relación con la disminución de la temperatura y luz bajo la copa.
Universidad Pontificia Universidad Javeriana – Universidad EIA.

Lugar: _____ Fecha: _____ Hora: _____ Responsable: _____

Nombre científico _____ Nombre común _____

Árbol ID	CAP (cm)						Altura (m)			Atributos de la copa (m)				Temperatura del aire (°C)		Temperatura superficial (°C)		Intercepción de luz (%)		
	CAP 1	CAP 2	CAP 3	CAP 4	CAP 5	CAP 6	Total	Copa viva	Base de copa	Ampl N-S	Ampl E-W	% Pérdida	% Muerte de copa	Bajo sombra	Fuera sombra	Bajo sombra	Fuera sombra	Bajo sombra	Fuera sombra	
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				

2. Sitios de medición de la temperatura del aire, temperatura superficial e interceptación de luz, para calcular su diferencia.



Fuente: Tomado de Georgie y Zafiriadis (2006) y modificado.

3. Fotografías de Individuos de las especies estudiadas. a) *C. pluviosa*. b) *B. picta*, c) *E. fusca* y d) *T. catappa*

a) *C. pluviosa*



b) *B. picta*



c) *E. fusca*



d) *T. catappa*



