

Influencia del arbolado en la habitabilidad térmica urbana en clima cálido húmedo, Santo Domingo, República Dominicana

Influence of trees on urban thermal habitability in a hot humid climate, Santo Domingo, Dominican Republic

Gilkauris Rojas-Cortorreal¹ , Julio Peña² , Jaume Roset³ 

¹ Investigadora – docente a tiempo completo, Coordinadora de Investigación; Escuela de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña; grojas@unphu.edu.do; República Dominicana

² Investigador; Escuela de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña; jupena@unphu.edu.do; República Dominicana

³ Investigador – docente a tiempo completo; Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España; Roset.jaume@gmail.com

Resumen: En la actualidad la ciudad de Santo Domingo está viviendo un alto nivel de desconfort térmico urbano generando espacios carentes de uso debido al aumento de las temperaturas, afectando directamente la habitabilidad urbana. Este artículo pretende evaluar las variables que influyen en esta habitabilidad. El objetivo de esta investigación es la evaluación del bienestar urbano de los peatones en la ciudad de Santo Domingo a través del arbolado urbano. La metodología se basa en la selección de un modelo vial de la ciudad de Santo Domingo (República Dominicana). Se evaluaron las variables de morfología, vegetación, microclima urbano y confort térmico. Los resultados obtenidos es el porcentaje de frondosidad de especies urbana, que permite determinar el confort térmico del usuario en el espacio público. El diámetro del arbolado como su frondosidad son variables que influyen en la disminución de aumento de temperatura radiante.

Palabras claves: Diseño urbano; Vegetación; Radiación solar, confort térmico; arbolado urbano.

Abstract: Currently, the city of Santo Domingo is experiencing a high level of urban thermal discomfort, increasing spaces devoid of use due to the increase in temperatures, directly appearing urban habitability. This article aims to evaluate the variables that influence this habitability. The objective of this research is the evaluation of the urban well-being of pedestrians in the city of Santo Domingo through the urban trees. The methodology is based on the selection of a road model of the city of Santo Domingo (Dominican Republic). The variables of morphology, vegetation, urban microclimate and thermal comfort were evaluated. The results obtained are the percentage of foliage of urban species, which allows determining the thermal comfort of the user in the public space. The diameter of the trees as well as their leafiness are variables that influence the decrease in the increase in radiant temperature.

Keywords: Urban design; Vegetation; Solar radiation, thermal comfort; urban woodland.

Citación: Rojas Cortorreal, G.; Peña, J.; Roset, J.; Influencia del arbolado en la habitabilidad térmica urbana en clima cálido húmedo, Santo Domingo, República Dominicana. *Entrópico* 2022, 0. <https://doi.org/10.33413/eau.2022.222>

Editor académico: Heidi De Moya Simó y Gilkauris Rojas Cortorreal

Recibido: 1 octubre 2022

Aceptado: 5 octubre 2022

Publicado: 14 noviembre 2022



Copyright: © 2022 por los autores. Enviado para una posible publicación de acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

El aumento de las temperaturas en los espacios urbanos es un fenómeno que afecta grandemente a las ciudades hoy día. Este incremento de temperatura es bien conocido como la isla de calor urbano que es generado por el alto nivel de superficies que absorben, acumulan y emiten calor, aumentando las temperaturas del ambiente (Balmaceda, Cantón, & Correa, 2018; Garcia-Nevedo, Pages-Ramon, & Coch, 2016; López Ordóñez, Cabillo, & Roset, 2018; Masoud, Beckers, & Coch, 2016; Salvati, Coch, & Cecere, 2014, 2015).

Este aumento de temperatura afecta grandemente el bienestar del viandante en el espacio urbano, creando espacios urbanos poco concurridos debido a la carencia de confort térmico que poseen estos espacios. Investigaciones han concluido que la vegetación es una de las herramientas más idóneas para mitigar este aumento de temperatura (Ballinas & Barradas, 2015; Cantón, Cortegoso, & De Rosa, 2000; Correa, Ruiz, & Cantón, 2010; Duarte, Shinzato, dos Santos Gusson, & Abrahão Alves, 2015; López-Ordóñez, Roset, & Rojas-Cortorreal, 2017; José Manuel Ochoa de la Torre, 1999; Jose Manuel Ochoa de la Torre & Scudo, 2003; Paolini, 2012; Puliafito, Ortiz, & Puliafito, 2009; Rojas-cortorreal, Navés, Peña, Roset, & López-ordóñez, 2017; Rojas-Cortorreal, Roset, Navés, López Ordóñez, & Crespo, 2016; Rojas Cortorreal, Roset, & Navés, 2015; Rojas Cortorreal, Roset, Navés, & López Ordóñez, 2016; Skelhorn, Lindley, & Levermore, 2014; Sosa Castro, Correa Cantaloube, & Cantón, 2017; Villalonga, 2016; Villanueva Solís, 2014).

Como respuesta a contrarrestar el aumento de temperaturas a nivel urbano, las ciudades del mundo se están enfocando en la realización de nuevas normativas o estrategias que permita un buen desarrollo de áreas verdes y arbolado urbano, para mitigar los efectos anteriormente mencionados (Ayuntamiento de Madrid & Improvistos, 2016; EMVIRI S.L. & Área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Rincón de la Victoria, 2017; Secretaria de ambiente del Municipio de Quito, 2016).

La República Dominicana no cuenta con una normativa actualizada a las necesidades urbanas (Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) & Arquitexto, 2007; PARME, 2006). Por este motivo, nace la motivación para la realización de este estudio en la ciudad de Santo Domingo, debido a que la ciudad está sufriendo varios cambios a nivel urbano, entre ellos el crecimiento desmedido que conlleva a nuevos retos y necesidades urbanas.

A lo largo de este proceso de crecimiento y cambio, la ciudad ha tomado un enfoque vinculado más a las necesidades vehiculares que peatonal, se ha considerado muy poco la accesibilidad, las condiciones climáticas y los posibles sistemas de protección solar. Como lo define el arquitecto Rancier "la urbanización formal e informal presentan la misma cualidad de no continuar la conexión con el resto de la trama ocupando de manera irracionalmente el territorio... Siendo la falla principal la orientación hacia el automóvil y no hacia la creación de un espacio público estructurado" (Rancier, 2016). Este crecimiento irracional crea calles caóticas, donde el peatón no juega el rol principal, el automóvil se empodera de la ciudad y los factores que influyen en el aumento de la temperatura aumentan cada vez más.

Siendo esta la base del estado del arte, el estudio se ha centrado en la elección de una de las avenidas más concurridas vehicular y peatonalmente. Se ha seleccionado la Avenida Winston Churchill ya que es una de las avenidas que cuenta con una variedad de especies arbóreas permitiendo evaluar más indicadores a nivel urbano. Cuenta con dos tipologías de especies arbóreas para su análisis, la Palmera real (*Roystonea hispaniolana*) y la Caoba (*Swietenia mahagoni*) estas especies tienen características distintas permitiendo cuantificar y cualificar la idoneidad de la misma al espacio urbano (Rojas-Cortorreal et al., 2016) ya que existe una tendencia de reemplazar árboles de gran densidad por palmeras, cuyo follaje es escaso. El objetivo de esta investigación es evaluar la influencia de las dos especies arbóreas en la habitabilidad urbana en el cañón urbano de la av. Winston Churchill en la ciudad de Santo Domingo.

2. Métodos

Con el objetivo de identificar y evaluar la influencia del arbolado urbano en la habitabilidad se ha implementado una metodología basada en mediciones de campo sustentado en cinco (5) pasos.

2.1. Determinación de variables de estudio urbano

El estado de arte como la evaluación del caso de estudio arrojaron como resultado cuatro (4) variables las cuales son: urbanas, ambientales, usuario y arbóreas. Las variables urbanas son las que determinan los indicadores del espacio urbanos que afectan directamente el confort peatonal del

usuario. Estos indicadores son Sky View Factor (SVF), orientación de trama urbana, ancho vial, tipología de material a nivel urbano, altura edilicia, trayectoria solar, altura solar, ubicación y localización. Las variables Ambientales permiten la evaluación de los indicadores ambientes inmediatos que interfiere con el balance térmico del peatón. Estos indicadores son temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar (directa y difusa) y temperatura radiante superficial. Las variables del usuario son las que determinan los indicadores que definen el bienestar del peatón, las cuales son: metabolismo, vestimenta, color de piel y actividad. Y las variables arbóreas se determinan los indicadores que caracterizan su frondosidad del arbolado, las cuales son: forma, diámetro, tipo de especie, altura de copa y frondosidad.

2.2 Selección de áreas de estudio urbano

Las variables para la selección del área de estudio urbano fueron la concurrencia peatonal y vehicular ya que el objetivo de estudio es el confort térmico de los usuarios a nivel urbano logrando un aporte científico de las condiciones del espacio urbano en la ciudad. Orientación de trama y trayectoria solar es la que define la mayor incidencia solar (horas de sol) logrando evaluar con más efectividad la frondosidad frente a esta variable ambiental. Ancho vial y altura edilicia son los factores que definen la evaluación del SVF de esa tipología de trama urbana. Variedad de especies arbóreas permitiendo evaluar un mayor rango de variables que permitan la comparación y determinación de idoneidad urbana de las especies arbóreas.

2.3 Selección de especies arbóreas de estudio

Para la elección de las especies arbóreas el indicador utilizado es las especies con mayor presencia a nivel de uso urbano. Para lograr abarcar una gran variedad de indicadores de especies arbóreas se seleccionaron dos (2) especies de características distintas, permitiendo cubrir un mayor rango de información. Se evaluaron sus características de altura, diámetro de copa, forma, ramaje, hoja y frondosidad.

2.4 Determinación de días y horas de mediciones

Se determinan las fechas y horas en las que se realizarán las mediciones. Para poder evaluar el comportamiento térmico del peatón se realizaron mediciones durante un día distribuido en tres horas puntuales en dos estaciones extremas del año. Las mediciones se realizaron en invierno y verano. Las mediciones se realizaron en un día tipo en tres horas puntuales las cuales fueron 7:00, 11:00 y 15:00 hora solar.

2.5 Determinación de frondosidad de las especies arbóreas

La frondosidad es la herramienta principal de obstrucción de la radiación solar. Para evaluar su porcentaje se realizará una toma fotográfica de la copa de los árboles. Con el programa ImageJ (Image Processing and Analysis in Java, 2011) se evalúa las imágenes de manera Binaria permitiendo conocer el porcentaje de protección que puede ofrecer cada especie arbórea. En base a un conteo de punto (porcentaje de blanco versus porcentaje de negro) (LibroVisión, 2012).

2.6 Análisis de datos

Luego de recolectado todos los datos de los indicadores se procede a realizar una simulación en el balance energético del peatón y analizar los resultados obtenidos (Rojas-Cortorreal et al., 2016).

3. Resultados

3.1 Localización y escenario

La ciudad de Santo Domingo, República Dominicana está localizada a 18° 28'N 69° 53'O, en el mar Caribe. En este caso de estudio se seleccionó el Distrito Nacional por ser el área céntrica de la ciudad donde existe mayor flujo de personas existe en el transcurso del día.

Para la selección de los puntos se realizó una observación de campo (ocular) directa del sector, siendo la Avenida Winston Churchill la trama urbana elegida para la evaluación, debido a la variedad de tipología de especies arbórea y las características a nivel urbano que la misma posee. Realizado el

En el punto 2 (Figura 3) se encuentra la Caoba (*Swietenia mahagoni*), una especie arbórea nativa abundante en el espacio urbano del país.



Figura 3. Planta y sección del punto de medición 2. Caoba. Fuente: Elaboración propia

Analizando el área de estudio con el estereográfico, podemos apreciar que en invierno y verano esta calle recibe durante el día incidencia solar. Por lo que desde la salida del sol hasta el atardecer este cañón urbano recibe aportaciones de temperatura en las superficies urbanas, creando aumento de la temperatura del aire a través de la disipación de la temperatura de estas superficies urbanas. Este fenómeno es conocido como isla de calor urbano.

En épocas de verano, en promedio la salida del sol es las 6:04 am y el atardecer a las 7:16 pm. Serían en promedio un total de 13 horas de sol. Sin embargo, en invierno la salida del sol es a las 7:16 am y el atardecer 6:21 pm. Serían un total de 11 horas de sol. Dando como resultado que en verano la incidencia solar y horas de sol son mayor, generando superficies urbanas de alta temperaturas, logrando más aportaciones al ambiente urbano. En invierno la incidencia solar es menor al igual que la cantidad de horas de sol, pero igualmente la incidencia es lo suficiente como para crear superficies urbanas de altas temperaturas logrando aportaciones al ambiente, pero en menor medida que en el verano. Este cañón urbano carece de superficies permeables (pavimento verde), su pavimentación es hormigón y asfalto por lo que las aportaciones de temperatura radiante al ambiente serán mucho mayores.

3.2 Características y evaluación de las especies arbóreas

En este estudio se evaluaron dos especies arbóreas de uso urbano en la ciudad de Santo Domingo, la Palmera Real y la Caoba. Se eligieron esas dos especies para comparar sus cualidades versus la aportación a la habitabilidad urbana en la ciudad. Los indicadores a evaluar serán, la frondosidad de la especie y sus aportaciones en el confort térmico urbano. La metodología a seguir será la realización de un levantamiento fotográfico de la copa del árbol, estas imágenes son procesadas con un programa informático ImageJ (Imagen Processing and Analysis in Java, 2011) (LibroVisión, 2012), a través de un conteo de puntos que determina el porcentaje de frondosidad y el porcentaje de paso de la radiación solar de cada especie (Navés, 2005; Navés Viñas, Pujol Solanich, Argimon de Vilardaga, & Sampere Montlló, 1995; Rojas-cortorreal et al., 2017; Rojas-Cortorreal et al., 2016; Rojas Cortorreal, 2016; Rojas Cortorreal, Roset, & Navés, 2013; Rojas Cortorreal et al., 2015; Rojas Cortorreal, Roset, Navés, López Ordóñez, & Vidmar, 2016) permitiendo determinar su porcentaje de protección.

Palmera Real (*Roystonea hispaniolana*)

La Palmera Real cuyo nombre científico es *Roystonea hispaniolana* pertenece a la familia de las palmeras. Están distribuidas entre las zonas del caribe, Antillas y Centroamérica. La Palmera es de procedencia endémica, con una altura de hasta 30.00 metros y con una tipología de hoja pinnadas. Según la normativa del arbolado del ADN recomienda su uso urbano para parques, plazas, avenidas y jardines (Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) & Arquitexto, 2007). Para poder evaluar su frondosidad las variables serán su altura, ramaje y tipología de sombra.

La Palmera Real evaluada posee una altura de 6.7 metros, con una copa de 2.95 metros de diámetro en promedio. Tiene un ramaje de palmiforme / abanico y una sombra proyectada pequeña media de 2-4 metros. Luego de realizado un levantamiento fotográfico de su copa, se determinó que la frondosidad de esta Palmera es de 53% permitiendo el paso de un de radiación solar de 47% en invierno.



Figura 4 Análisis de frondosidad de la copa de la Palmera Real. Fuente: Elaboración propia. La frondosidad proyectada es prácticamente nula, por lo que su frondosidad permanecería prácticamente igual.

Caoba (*Swietenia mahagoni*)

La *Swietenia mahagoni* conocida por su nombre común “Caoba” pertenece a las familias de Meliaceae. La caoba es nativa, semicaducifolia, de raíces muy desarrolladas (Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) & Arquitexto, 2007) por lo que se debe mantener un control de poda para que las raíces no afecten su entorno. Las características de esta especie de copa ancha y densa. Los indicadores a evaluar en esta especie arbórea serán su altura, ramaje y tipología de sombra.

Esta especie posee una altura de 6.4 metros, con una copa de 6.9 metros de diámetro. Posee una forma esférica de ramaje expandido. Con una sombra proyectada media densa. Luego de realizado un levantamiento fotográfico de su copa, se determinó que la frondosidad de esta Caoba es de 70% permitiendo el paso de un de radiación solar de 30% en invierno.



Figura 5 Análisis de frondosidad de la copa de la Caoba. Fuente: Elaboración propia

Existen varias variables del medio urbano que interactúan con el arbolado urbano. Desde variables naturales hasta la infraestructura. Por este motivo, debe existir un plan de ordenamiento que permita un uso adecuado del espacio urbano y del arbolado. Una poda inadecuada puede crear afecciones en el funcionamiento de la especie arbórea como causar daños entre otros elementos que pueden ser irreversibles. Por este motivo, la poda debe ir enfocada a crear una estructura fuerte, que a su vez minimice las afecciones en su entorno. Por este motivo, se debe elegir la especie adecuada acompañado de un plan de poda desde temprana edad. Una poda inadecuada puede afectar muchas variables a nivel urbano, una de ellas es la protección solar que esta otorga al medio urbano, por ejemplo. En el caso de la Figura 5 se puede apreciar que este arbolado está afectado por una mala gestión de poda, que creo una pérdida significativa de la densidad de sus hojas.

3.3 Modelo de cálculo

Para la evaluación del confort térmico a nivel urbano, se implementó el modelo del Balance energético (B) (José Manuel Ochoa de la Torre, 2009; Rojas Cortorreal, 2016):

$$B = M + Ra - C - E - Re$$

(1)

Para la evaluación del balance energético se tomaron en cuenta las variables de calor metabólico (M), radiación solar (Ra), Calor sensible (C), calor perdido por evaporación (E) y radiación onda larga (Re). Los indicadores a evaluar en base a las variables son los parámetros ambientales como la temperatura del aire, la velocidad del viento, la humedad relativa, la radiación solar y la temperatura radiante. Parámetros arquitectónicos como el Sky View Factor (SVF) y la altura edilicia, parámetros de materiales del entorno. Parámetros de percepción del usuario y parámetros fisiológicos como la vestimenta del usuario, esta unidad se maneja en CLO. La vestimenta implementada en climas cálido húmedos varía según la actividad a realizarse, por este motivo se implementó la media de vestuario utilizada por la gran mayoría de los usuarios. Esta vestimenta es un Polo, pantalones largos, calcetines y zapatos, es la típica vestimenta utilizada durante todo el año.

Para llevar a cabo este modelo de cálculo se tomaron estas mediciones en invierno del 2016. Y se realizó una simulación del verano del 2016, en base a las mediciones de la estación meteorológica más próxima a los puntos de mediciones. Las mediciones se realizaron en un día soleado, sin nubes. Una vez calculado el balance energético se obtiene el resultado en w/m^2 , para una mejor comprensión se define en siete escalas denominada como Sensación de Confort Exterior (SCE) expresada en la Tabla 1.

Tabla 1. Interpretación de intercambio de energía de una persona en el exterior.

Balance energético (W/m^2)			SCE	Interpretación
250	< B	-3		Muy Caluroso
150	< B < 250	-2		Caluroso
50	< B < 150	-1		Ligeramente Caluroso
-50	< B < 50	0		Confortable
-150	< B < -50	1		Ligeramente Frío
-250	< B < -150	2		Frío
-250	< B	3		Muy Frío

3.4 Mediciones In-situ

Para lograr evaluar las aportaciones a nivel térmico del arbolado urbano se realizaron mediciones de campo en un escenario favorable (invierno) y se realizó una estimación del estado del escenario desfavorable (verano). Se toman en cuenta dos escenarios para la comparación de las aportaciones que genera. Las mediciones in situ de invierno se realizaron el 14 de enero del 2016. Para poder comparar los escenarios desfavorables, se tomaron los datos de verano de una estación meteorología (Weather Underground, 2018) y se realizó una estimación del estado de frondosidad de las especies arbóreas, teniendo como base las mediciones realizadas en invierno. Las mediciones in situ se realizaron en dos puntos, el primero bajo la copa del árbol y el segundo fuera de la copa del árbol, permitiendo comparar de esta forma las aportaciones y carencia que proporciona la especie arbórea. Estas mediciones se realizaron en tres (3) horas puntuales durante el día (7:00, 11:00 y 15:00 hora solar).

Las mediciones del 14 de enero del 2016, tuvieron como condición climática un día soleado y con cielo despejado. En las mediciones de campo de este día se registró una temperatura de aire entre rango de 28 a 31°C. La humedad relativa estuvo en rangos de 49 a 70%, la misma fue constante durante el día.

Los datos del 18 de junio del 2016, registraron temperaturas en un rango de 26.8 a 31.8 °C de temperatura del aire. La humedad relativa por otra parte, el rango fue de 56 a 75 % (Figura 6). En ambos escenarios, se realizaron mediciones de la dirección y velocidad del viento, para tomar en cuenta en el modelo de cálculo.

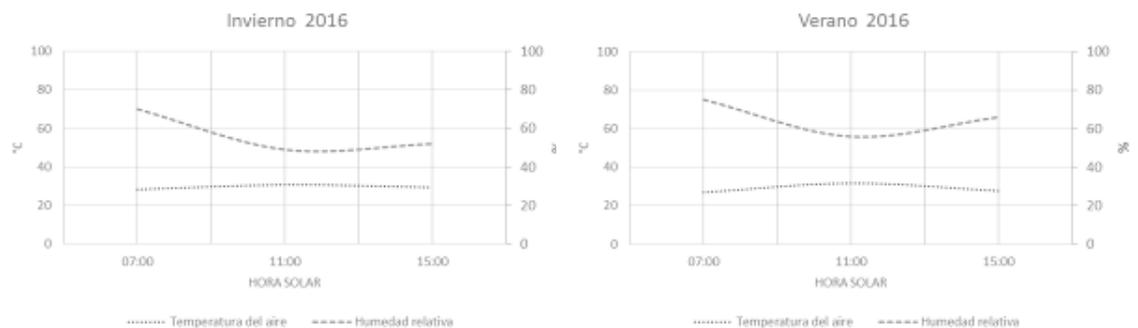


Figura 6 Temperatura del aire y humedad relativa. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 se puede apreciar el comportamiento de ambos días a nivel de temperatura y humedad. Se puede apreciar como al aumentar la temperatura del aire, la humedad relativa disminuye esto es debido al efecto de evaporación que se cumple en todo proceso físico. La humedad de verano es mayor debido a la alta pluviometría que sucede durante los próximos días, y debido al aumento de la evaporación del mar producido por la mayor incidencia solar durante este periodo. La alta humedad relativa es constante durante el año, siendo esto una característica de los climas cálidos húmedos. Sin embargo, la temperatura del aire varía por estación durante el año como se aprecia en la gráfica, la temperatura del aire en verano es hasta 2 °C mayor que en invierno. La velocidad del viento (Figura 7) se mantuvo en rangos de 1 a 3.75 m/s en invierno y rangos entre 1.8 a 2.2 m/s en verano. A mayor velocidad del viento se da un incremento en el intercambio de calor (convección forzada), esto modifica el confort térmico del usuario.

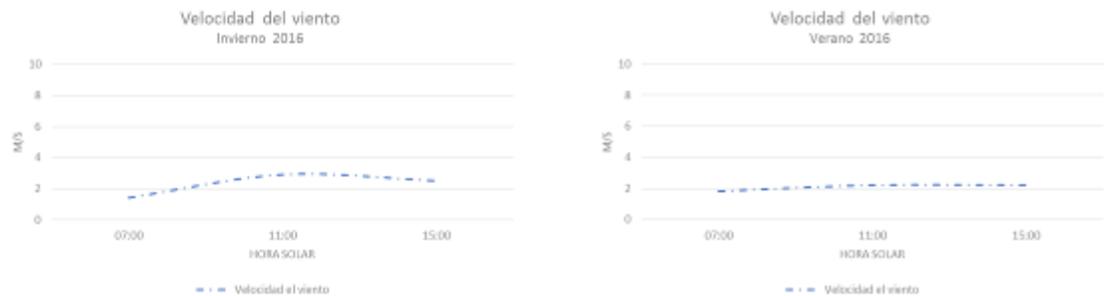


Figura 7 Velocidad del viento. Fuente: Elaboración propia

En ambos puntos de mediciones se registraron un comportamiento similar en los parámetros ambientales, debido a que la morfología urbana conserva las mismas características. Ha quedado comprobado en estudios previos que, para lograr cambios en estos parámetros ambientales, la densidad arbórea debe ser mucho mayor. En las gráficas siguientes se presentan las diferencias registradas entre ambas especies arbóreas.

Los indicadores más afectados por el arbolado son la radiación solar y la temperatura radiante reflejando grandes variaciones en el confort térmico de los usuarios en invierno y verano. Se puede apreciar en la Figura 8 que la radiación solar se registra en ambas especies una disminución de la radiación incidente de hasta 552 W/m², en invierno y de hasta 655 W/m² en verano. En la misma figura se aprecia que ambas especies disminuyen la incidencia solar sobre las superficies urbanas.

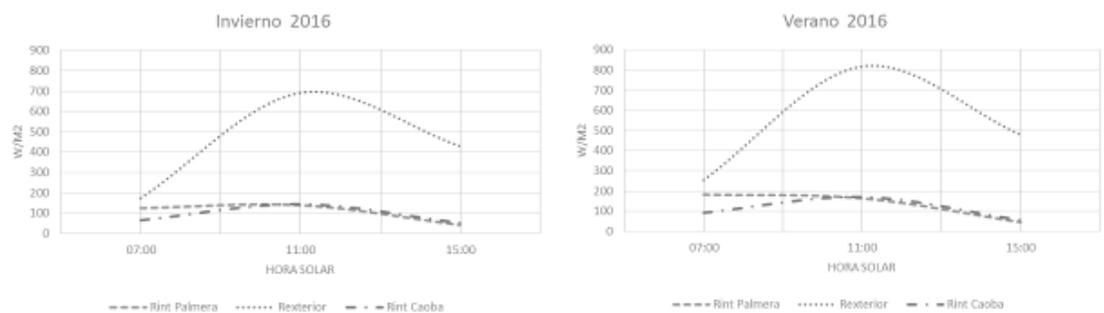


Figura 8 Gráfica de la radiación solar. Fuente: Elaboración propia

Podemos definir que la copa de la Caoba como la Palmera Real, disminuyen la incidencia solar sobre las superficies. Pero debemos considerar que la copa del árbol de la Caoba su diámetro y su

densidad son es mayores que la Palmera Real, por lo que cubre más áreas urbanas logrando que más zonas estén protegidas y aporten menos temperatura al ambiente.

En la temperatura radiante (Figura 9) en invierno, la Caoba logra disminuir hasta 5.5 °C disminuyendo de esta forma las aportaciones al ambiente. La Palmera disminuyó 1.5 °C un valor mucho menor que la Caoba. Debemos tomar en cuenta que la Caoba es semicaducifolia por lo que en esta época pierde un por ciento de sus hojas. Sin embargo, aun así, logra disminuir en gran medida las aportaciones que se podrían producir.

En verano, la Caoba disminuyó desde 2 a 6 °C en las horas más desfavorables. La palmera, sin embargo, disminuyó 2 a 3 °C en el transcurso del día. Este comportamiento es debido a que la Caoba tiene una mayor frondosidad y diámetro de copa permitiendo una protección mayor en comparación a la Palmera. Igualmente, la Palmera tiene un comportamiento similar a la ausencia del arbolado en el espacio urbano ya que su copa no posee un diámetro lo suficiente para proteger las superficies urbanas.

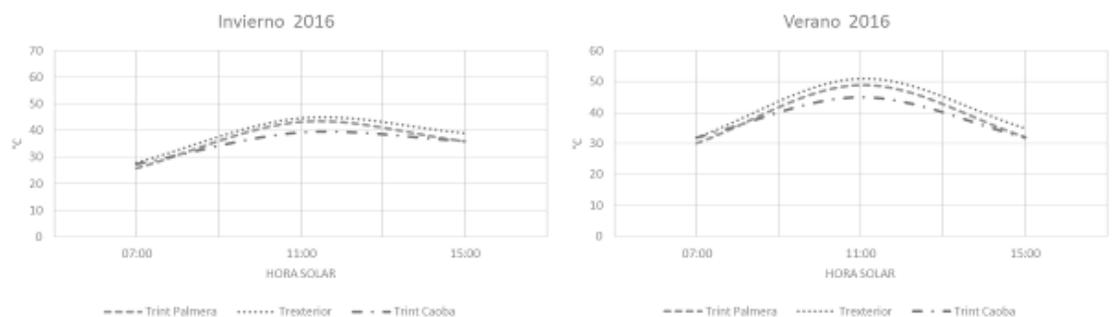


Figura 9 Gráfica de temperatura radiante. Fuente: Elaboración propia

Estos resultados reflejan que la dimensión de la copa al igual que su frondosidad son variables relevantes para lograr disminuir la temperatura del ambiente de manera significativa. Ya que una especie que tiene una sombra densa pero el diámetro de copa pequeño, no podrá proteger las superficies durante el día como lo haría una especie con un diámetro de copa mayor.

Los resultados obtenidos de las mediciones son colocados en el modelo de cálculo del Balance Energético, nos permite evaluar el estado de confort térmico del viandante. El resultado obtenido se puede apreciar en la Figura 10, podemos observar que los usuarios se encontrarían en mayor confort térmico si se encuentran debajo o en el entorno de la copa de la Caoba, en comparación al exterior y la Palmera. La Caoba debido a su frondosidad, permite la protección de las superficies logrando mitigar las aportaciones térmicas. La Palmera logra confort térmico, pero en la hora más desfavorable el resultado es mucho menor.

En ambos casos queda demostrado que la vegetación sin importar la especie arbórea, es un elemento de gran importancia a nivel urbano, debido a los beneficios que aporta tanto a nivel climático como térmico.

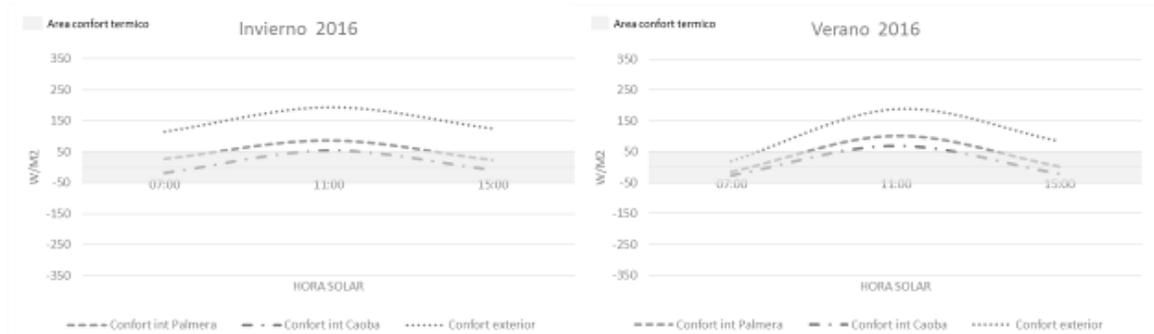


Figura 10 Gráfica del confort térmico. Fuente: Elaboración propia

En ambas estaciones el comportamiento del confort es casi similar. Ambas especies aportan estabilidad térmica al ambiente. Sin embargo, por su porcentaje de frondosidad, diámetro de copa y estructura, la Caoba es más idónea para uso en el espacio urbano, ya que logra mayor disminución de aportaciones térmicas al ambiente al tiempo que logra aportar mayor confort térmico al usuario. Aunque el comportamiento es similar, la Caoba ofrece más estabilidad a nivel de confort térmico.

4. Discusión

La temperatura del aire registrada en ambas estaciones del año muestra una diferencia muy mínima, siendo 1.8 °C la diferencia máxima durante el día. Se podría afirmar que estos dos días aun siendo en estaciones distintas el comportamiento es muy similar. La temperatura del aire máxima registradas en verano han sido de 31.8 °C y la mínima de 26.8 °C. Sin embargo, en invierno la T_a máxima es de 30.9 °C y la mínima de 28.2 °C. Esto se podría definir que durante el año la T_a no presenta gran variación una característica de climas cálido húmedo.

La humedad relativa (HR) en verano se registra una humedad mayor, en relación al invierno. La HR aumenta en verano debido al aumento en la precipitación debido a que es las estaciones del año de temporada ciclónica y también al aumento de los niveles de evaporación, ya que Santo Domingo es una ciudad costera.

La velocidad del viento mantiene un rango 1.4 no mayor a 2.9 m/s. La velocidad del viento es un factor que ayuda a una mayor dispersión de las temperaturas en el ambiente, permitiendo un mayor intercambio de calor.

La radiación solar se ve influenciada directamente por la frondosidad de la especie arbórea. En verano se registran por parte de la Caoba hasta 647 W/m² y en la Palmera 655 W/m², en invierno La caoba registra 546 W/m² y la Palmera 553 W/m². Las especies de estudio son semicaducifolias y perenne. Esto se ve reflejado en la disminución de la radiación solar. En la gráfica el comportamiento en ambas estaciones es casi similar es debido a que el arbolado no pierde sus hojas con el cambio de estación.

En la temperatura radiante se percibe más el efecto producido por la frondosidad debido a la protección de las superficies urbanas. Lograr disminuir este parámetro permite lograr menores aportaciones al fenómeno de la isla de calor urbano. Comprobando que uno de los elementos de mitigación de este fenómeno es la vegetación.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran el grado de importancia de una adecuada selección de arbolado para el uso en el espacio urbano. Queda demostrado que ambas especies son idóneas para uso urbano. Pero debe considerarse la función del espacio ya que, según su uso, el porcentaje de protección es un factor relevante permitiendo de esta forma una correcta elección de la especie arbórea.

La Caoba es una de las especies arbóreas más idóneas para el uso urbano, porque logra crear espacios adecuada a nivel de confort térmico urbano para el viandante ya que logra disminuir hasta 8 °C de temperatura radiante al ambiente, en comparación con la Palmera que solo logró disminuir la temperatura en 1.5 °C.

La correcta elección de arbolado permite mitigar las aportaciones de temperatura al ambiente permitiendo un porcentaje de mitigación a las aportaciones que se generan por este medio a la isla de calor urbano.

El diámetro de la copa del árbol y su frondosidad son variables relevantes para lograr mayor protección de estas superficies urbanas, por lo que una poda adecuada es uno de los factores a tomar en cuenta en las normativas urbanas.

La frondosidad es el indicador principal para la correcta elección del arbolado ya que es la que permite evaluar el porcentaje de disminución de las aportaciones térmicas al ambiente.

La poda es un factor que afecta grandemente la funcionabilidad y rendimiento urbano de la vegetación (Figura 5), por lo cual la misma debería ser correctamente planificada para preservar la estructura de la especie. Derivando posibles estudios de evaluación de los métodos de poda del arbolado urbano aplicados en la ciudad.

Realización de un plan de ordenamiento del arbolado urbano, determinando las variables relevantes para una buena elección de especies arbóreas como el debido mantenimiento de la misma.

Contribuciones de los autores: Los tres autores contribuyeron de manera cualitativa en la investigación. Conceptualización, R.C.G, P.J. e R.J.; metodología, R.C.G, P.J. e R.J.; software, R.C.G, P.J. e R.J.; validación, R.C.G, P.J. e R.J.; análisis formal, R.C.G, P.J. e R.J.; investigación, R.C.G, P.J. e R.J.; recursos, R.C.G, P.J. e R.J.; curación de datos, R.C.G, P.J. e R.J.; redacción — preparación del borrador original, R.C.G, P.J. e R.J.; redacción — revisión y edición, R.C.G, P.J. e R.J.; visualización, R.C.G, P.J. e R.J.; supervisión, R.C.G, P.J. e R.J.; administración de proyectos, R.C.G, P.J. e R.J.; adquisición de financiación, R.C.G, P.J. e R.J.. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación fue financiada por Ministerio De Educación Superior e Investigación Científica, MESCYT, a través de su plan de becas de maestría y doctorado.

Agradecimientos: Gracias a todas las personas que participaron en las mediciones de campo.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Ayuntamiento de Madrid, & Improvistos. (2016). *Itinerarios Habitables. Base para la intervencion en el espacio público en areas de regeneracion urbana preferente*. Madrid.
- Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN), & Arquitexto. (2007). Normativa para el arbolado de Santo Domingo “clasificación de plantas y tipos.” *Arquitexto*, 2, 1–18.
- Ballinas, M., & Barradas, V. L. (2015). The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model. *Environmental Quality*. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0056>
- Balmaceda, M. E., Cantón, M. A., & Correa, É. N. (2018). Impacto microclimático estival de la configuración de distintas tipologías de espacio abierto en manzanas urbanas . Esquema concentrado versus disperso. *EURE*, 44, 233–253.
- Cantón, M. ., Cortegoso, J. L., & De Rosa, C. (2000). Evaluación energética – ambiental del bosque urbano: desarrollo y puesta a punto de un método de análisis. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 13–17. Retrieved from <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t001-a003.pdf>

- Correa, E. N., Ruiz, M. A., & Cantón, M. A. (2010). Morfología forestal y confort térmico en “ciudades oasis” de zonas áridas, 119–137.
- Duarte, D. H. S., Shinzato, P., dos Santos Gusson, C., & Abrahão Alves, C. (2015). The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate*, 14(2212-0955), 224–239. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>
- EMVIRI S.L., & Area de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Rincón de la Victoria. (2017). *Plan Director de Arbolado Urbano de Rincón de la Victoria*. Malaga. Retrieved from <http://www.rincondelavictoria.es/medio-ambiente/cat/proyectos-1?lng=en>
- García-Navado, E., Pages-Ramon, A., & Coch, H. (2016). Solar access assessment in dense urban environments: The effect of intersections in an urban canyon. *Energies*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/en9100796>
- Imagen Processing and Analysis in Java. (2011). ImagenJ. Retrieved from <https://imagej.nih.gov/ij/>
- LibroVisión. (2012). Imágenes Binarias. In E. De la Fuente López & F. M. Trespaderne (Eds.), *Visión Artificial Industrial. Procesamiento de Imágenes para Inspección Industrial y Robótica* (Valladolid, pp. 59–96). Valladolid. Retrieved from <http://www.librovision.eii.uva.es/framesContenidos.html>
- López-Ordóñez, C. F., Roset, J., & Rojas-Cortorreal, G. (2017). Analysis of the direct solar radiation in the streets of barcelona, based on the relation between its morphology and vegetation. *Architecture, City and Environment*, 12(34). <https://doi.org/10.5821/ace.12.34.4708>
- López Ordóñez, C. F., Cabillo, I. C., & Roset, J. (2018). Condiciones ambientales del espacio público de ciudades dispersas en clima desértico-cálido. Urban space environmental conditions in hot-desert climate sprawl cities . *II Congreso Internacional ISUF-H. Ciudad y Formas Urbanas. Perspectivas Transversales*, (October). <https://doi.org/10.26754/uz.978841738839>
- Masoud, B., Beckers, B., & Coch, H. (2016). Sky Access versus Shading for Pedestrian Comfort in the Hot Tropical Climate of Jeddah. In *First International Conference on Urban Physics (FICUP)* (pp. 26–30). Galapagos: FICUP.
- Navés, F. (2005). *Arquitectura del paisaje natural*. (Omega, Ed.). Barcelona, Spain: Omega.
- Navés Viñas, F., Pujol Solanich, J., Argimon de Vilardaga, X., & Sampere Montlló, L. (1995). *El Árbol en Jardinería y Paisajismo* (Omega, S.). Barcelona: Spain.
- Ochoa de la Torre, J. M. (1999). *La Vegetación como instrumento para el control microclimático*. Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain.
- Ochoa de la Torre, J. M. (2009). *Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos*. (E. Ediciones, Ed.) (1ª). Barcelona, Spain: UE.
- Ochoa de la Torre, J. M., & Scudo, G. (2003). *Spazi verdi urbani*. Napoli: Sistemi Editoriali.
- Paolini, L. (2012). Arbolado y calentamiento en el gran San Miguel de Tucuman. In *Guía de Arbolado de Tucuman* (pp. 1–9). Tucuman, Argentina. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/260639502_Arbolado_Y_Calentamiento_En_El_Gran_San_Miguel_de_Tucuman
- PARME. (2006). *Normativa para el Arbolado Urbano del Distrito Nacional*. (Taller, Ed.) (PARME, Vol. 1). Santo Domingo.
- Puliafito, S. E., Ortiz, G. P., & Puliafito, C. M. (2009). Evaluación del confort térmico urbano por medio de la temperatura fisiológica equivalente (PET), en la ciudad de mendoza. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13(0329-5184), 39–46.
- Rancier, O. (2016). LA CIUDAD MEDIATA.
- Rojas-cortorreal, G., Navés, F., Peña, J., Roset, J., & López-ordóñez, C. (2017). Climate and Urban Morphology in the City of Barcelona : The Role of Vegetation. In B. Fuerst-Bjelis (Ed.), *Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture* (1st ed., p. 426). Croatia: InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69125>
- Rojas-Cortorreal, G., Roset, J., Navés, F., López Ordóñez, C. F., & Crespo, I. (2016). El Efecto Del Confort Térmico Producido Por La Especie Arbórea Almez En El Espacio Público. *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 11(32), 187–202.

- <https://doi.org/10.5821/ace.11.32.3964>.
- Rojas Cortorreal, G. M. (2016). *Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano " Caso de estudio Barcelona, España y Santo Domingo, República Dominicana*. Universidad Politecnica de Catalunya. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/404744>
- Rojas Cortorreal, G. M., Roset, J., & Navés, F. (2013). "La vegetación tropical en el confort climático urbano" Aplicado a Santo Domingo, República Dominicana en comparación con el clima mediterráneo, Barcelona España. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Rojas Cortorreal, G. M., Roset, J., & Navés, F. (2015). La vegetación en el confort micro climático. Comparación de especies del clima mediterráneo de Barcelona, España. *Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 11(29), 59–84. <https://doi.org/10.5821/ace.11.29.3589>.
- Rojas Cortorreal, G. M., Roset, J., Navés, F., & López Ordóñez, C. F. (2016). "Evaluation of vegetation in urban space". *Barcelona base model and propose to Dominican Republic. SBE 16 MALTA*.
- Rojas Cortorreal, G. M., Roset, J., Navés, F., López Ordóñez, C., & Vidmar, J. (2016). Evaluation of vegetation in urban space" Barcelona base model and proposed to Dominican Republic. *Europe and the Mediterranean: Towards a Sustainable Built Environment*, (78-99957-0-935–8), 195–206. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/301821452_Evaluation_of_vegetation_in_urban_space_Barcelona_base_model_and_proposed_to_Dominican_Republic
- Salvati, A., Coch, H., & Cecere, C. (2014). Which climate for each urban context ? A preliminary comparative study on urban climate prediction and measurement in different districts in Rome and Barcelona . In *Word Renewable Energy Congress XIII*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4777.3207>
- Salvati, A., Coch, H., & Cecere, C. (2015). Urban Morphology and Energy Performance : the Direct and Indirect Contribution in Mediterranean Climate. In *PLEA*.
- Secretaria de ambiente del Municipio de Quito. (2016). *MANUALES TECNICOS DE ARBOLADO URBANO*. Quito: Secretaria de ambiente del Municipio de Quito. Retrieved from <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/patrimonio-natural/arbolado-urbano>
- Skelhorn, C., Lindley, S., & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 121, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>
- Sosa Castro, M. B., Correa Cantaloube, E. N., & Cantón, M. A. (2017). Influence of the Urban Morphology Over Outdoor Thermal Habitability in a City With Arid Climate. *Revista Habitat Sustentable*, 7(1), 45–53. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.01.05>
- Villalonga, C. (2016, May). La NASA reitera el drama: la Tierra lleva siete meses consecutivos batiendo récords de calor. *La Vanguardia*.
- Villanueva Solís, J. (2014). Isla de Calor Urbana. In *Universidad Gestalt de Diseño*. México.
- Weather Underground. (2018). Edesur Ens. Naco. Torre Serrano IDISTRIT4.