



Sara Cristina Zuluaga Gómez
Felipe Londoño Arango
Elizabeth Parra Correa
Lucas Arango Díaz
Jorge Hernán Salazar Trujillo

El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor urbana en el Caribe colombiano

The Impact of Arborization as an Urban Heat Island Mitigation Strategy in the Colombian Caribbean

RESUMEN: La Isla de Calor Urbana (ICU), ocasionada por el incremento de superficies impermeables, la alta densificación y la falta de sombra, es un fenómeno común que podría intensificarse con el cambio climático, especialmente en climas cálido-húmedos. En esta investigación se evaluó la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor en el espacio público de Barranquilla, Colombia. Para realizar el estudio se seleccionó la vía “Carrera 44” por su alta exposición a la radiación solar. Se realizaron simulaciones computacionales de la temperatura operativa para comparar diferentes opciones de sombra vegetal para los años 2020 y 2050. Los resultados muestran el porcentaje de mitigación de las ICU para cada escenario propuesto. Se estima que los hallazgos de esta revisión pueden ser útiles como guías para el diseño de espacios públicos en la región del Caribe colombiano.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, Isla de Calor Urbana, microclima, arborización urbana, temperatura operativa

ABSTRACT: The Urban Heat Island (UHI), caused by the increase in impermeable surfaces, high urban density, and lack of shade, is a common phenomenon that could end intensified by climate changes, especially in warm-humid climates. This research evaluated the use of urban arborization as a mitigation strategy for the heat island effect in the public spaces of Barranquilla, Colombia. The “Carrera 44” avenue was selected as the study area due to its high solar radiation exposure. Computational simulations were performed to assess the operative temperature with different options for tree shadow in 2020 and 2050. The results display the percentage of UHI mitigation for each proposed situation. It is estimated that the findings from this study can serve as guidelines for designing public spaces in the Colombian Caribbean region.”

KEYWORDS: Climate change, Heat Island effect, urban tree planting, microclimate, operative temperature

RECIBIDO: 15 diciembre 2022

APROBADO: 20 febrero 2023

Introducción

El cambio climático es la variación del clima, atribuido directa o indirectamente, a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural observada en este durante períodos de tiempo comparables [1]. Según el sexto informe del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), muchos de los cambios observados actualmente en el clima no tienen precedentes en miles, sino en cientos de miles de años, y algunos de los que ya se están produciendo, como el aumento continuo del nivel del mar, no se podrán revertir hasta dentro de varios siglos o milenios [2]. Con el calentamiento global, las áreas urbanas y las ciudades se verán más frecuentemente afectadas por la ocurrencia de eventos climáticos extremos, como olas de calor, días extremadamente calurosos y noches cálidas, así como la elevación del nivel del mar, el aumento de las marejadas ciclónicas tropicales, y en la intensidad de las lluvias. A pesar de tener un efecto insignificante en la temperatura de la superficie global, la urbanización ha exacerbado los efectos del calentamiento global a través de su contribución a la tendencia de calentamiento observada en y cerca de las ciudades, particularmente en la temperatura mínima media anual [2].

La isla de calor urbana - ICU se puede definir como el calor relativo de una ciudad en comparación con las áreas rurales circundantes, asociado con cambios en la escorrentía, efectos en la retención de calor y cambios en el albedo de la superficie [3] [4]. Este fenómeno se presenta en las zonas más construidas e impermeabilizadas de la ciudad, debido a la masa que proporcionan las edificaciones en las superficies que, con el tiempo, han sustituido la masa vegetal [5]. No obstante, las superficies que conforman los edificios no son las únicas responsables del aumento en la temperatura; la materialidad de vías, andenes y los diferentes elementos que hacen parte del espacio público y colectivo son también contribuyentes del aumento de temperaturas en los centros urbanos. Este cambio en el clima de los núcleos de las ciudades genera repercusiones en la salud, la economía y los ecosistemas [6], afectando la calidad de vida de sus habitantes.

Es de suma importancia para el desarrollo sostenible de las ciudades, el estudio de la isla de calor y el desarrollo de estrategias para su mitigación. Varios autores coinciden en que acciones como la instalación de cubiertas verdes [7], la implementación de sistemas arbolados [8] y el cambio de materiales en los revestimientos [5], son estrategias efectivas para la mitigación de la isla de calor urbana. Con relación a la implementación de sistemas arbolados, gracias al área de sombra que genera el follaje, además de la evapotranspiración propia de sus procesos fisiológicos, se puede reducir notablemente la temperatura del aire, haciendo más confortables los espacios públicos, además de que capturan y almacenan CO₂ del ambiente. La evapotranspiración es el fenómeno biológico por el que las plantas expulsan agua a la atmósfera después de capturarla del suelo a través de sus raíces y tomar la pequeña parte que necesitan para su crecimiento.

En el contexto tropical, las medidas de mitigación no siempre coinciden con las que se anuncian y proponen para otros lugares del planeta. Aunque la sombra vegetal constituye una oportunidad de mitigación de la ICU, es necesario evaluar su efectividad en el ambiente específico del Caribe colombiano, para determinar su pertinencia, y obtener pautas precisas para su implementación, como la densidad y la separación que debe haber entre árboles, entre otros. También es importante tener en cuenta que aunque sea una estrategia efectiva, su implementación debe planearse con suficiente

- [1] Naciones Unidas. Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas, 1992. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- [2] IPCC (Governmental Panel on Climate Change). IPCC Sixth Assessment Report. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>
- [3] Theran KR, Rodríguez L, Mouthon S, Manjarrés J. Microclima y Confort Térmico Urbano. Módulo Arquitectura CUC [Internet]. 2019 [consultado: 20 de Septiembre de 2022]; 23(1):[49-88 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04>
- [4] IPCC (Governmental Panel on Climate Change). Glosario. En: Planton S, (ed.). Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University; 2013. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- [5] Alchapar NL, Correa EN, Cantón MA. Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. Ambiente Construido [Internet]. 2012 [consultado: 07 de Abril de 2021]; 12(3):[107-23 pp.]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11336/78929>
- [6] Corrales L, Brenes C. Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat. 2019 [consultado: 26 de Marzo de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334694713_Islas_de_calor_impactos_y_respuestas_El_caso_del_canton_de_Curridabat
- [7] Flórez L. Simulación de diferentes escenarios de cobertura urbana y vegetal en el balance de energía superficial del Valle de Aburrá [tesis de maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2016. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59835>
- [8] Ballinas MdJ. Mitigación de la isla de calor urbana: estudio de caso de la zona metropolitana de la ciudad de México [tesis de maestría]. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2011. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/65901>

anticipación para que los árboles sembrados puedan crecer y alcanzar el tamaño deseado.

Esta investigación tiene por objetivo evaluar la efectividad de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor en el espacio público de la ciudad de Barranquilla (Latitud: 10,99° Norte y Longitud: 74,80° Oeste). La ciudad de Barranquilla se eligió para realizar el estudio debido a que las condiciones climáticas locales, las previsiones de cambio climático, y la impermeabilización y falta de sombra en algunas zonas de la ciudad podrían evidenciar fácilmente las diferencias de temperatura descritas por Theran y otros. [3]

Materiales y método

Para lograr el objetivo propuesto se compararon los resultados de simulaciones computacionales de la temperatura operativa, considerando varios escenarios de arborización.

Descripción del objeto de estudio

Para el desarrollo de esta investigación, se tomó como objeto de estudio la Carrera 44, en el tramo comprendido entre las Calles 70 y 72, que se encuentra ubicada en el barrio "Colombia" perteneciente a la localidad norte-centro histórico de la ciudad de Barranquilla. (Figura 1)

Este tramo de la carrera cuenta con 268 metros de longitud y 20 metros de sección, que abarca tres carriles vehiculares, andén en ambos lados de la vía, y apenas seis ejemplares arbóreos. Como se puede observar en la Figura 2, la materialidad de las fachadas que paramentan la vía son en su mayoría, revoques con pintura, vidrios, enchapes cerámicos y elementos metálicos, tales como rejas y pasamanos. La carrera está construida con pocas zonas de piso blando, lo que genera un aumento significativo en las temperaturas del lugar, generando así isla de calor, lo que afecta la calidad de vida de sus habitantes y los transeúntes.



Figura 1. Ortofoto de la Carrera 44 de Barranquilla. Fuente: <https://www.google.com/maps/>

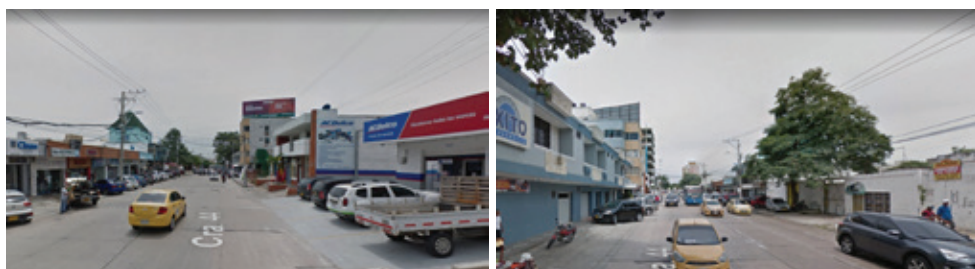


Figura 2. Imágenes de la Carrera 44 de Barranquilla. Fuente: <https://www.google.com/maps/>

Escenarios de arborización propuestos para la mitigación de ICU

La estrategia de mitigación de ICU seleccionada fue el diseño y la implantación de árboles. Para esto, se plantearon cuatro escenarios de arborización: uno corresponde al escenario de partida, que se ubica en el año 2020, coincidente con el archivo climático utilizado para las simulaciones,

y tres más que corresponden a las propuestas. El escenario con mayor cantidad de árboles considera el máximo de árboles que pueden ser plantados sobre los andenes, permitiendo el tránsito peatonal y manteniendo la vía vehicular actual libre. Los escenarios restantes se plantearon de acuerdo a la mitad y a la cuarta parte de este último escenario. En total, el escenario de partida cuenta con 6 árboles, y los otros escenarios cuentan con 13, 26 y 50 árboles. Para la simulación se realizó la abstracción de un árbol de 7 metros por 7 metros en su copa, y una altura de 9,5 metros, tal como se ilustra en la Figura 3.

Herramientas

Para realizar las simulaciones se empleó la herramienta EnergyPlus administrada mediante un algoritmo que construye un mapa de microclima de temperatura exterior usando un archivo EPW que describe el clima de la ciudad y un modelo de la Carrera 44 de Barranquilla. La plataforma de análisis opera en Rhinoceros y su *plugin* Grasshopper.

El archivo climático utilizado para las simulaciones computacionales fue descargado de la página web: "climate one building", usando como referencia, el fichero "L_ATL_Barranquilla-Cortissoz.Intl.AP.800280_TMYx.2004-2018.zip". Por otra parte, el archivo climático para el 2050 fue construido haciendo uso del programa CCWorldWeatherGen.

Simulaciones computacionales

Las simulaciones computacionales se realizaron para el estado de partida y los tres escenarios de arborización propuestos, haciendo uso de los *plugin* Grasshopper, Ladybug, Honeybee y EnergyPlus, operando en la plataforma Rhinoceros. Los resultados de las simulaciones fueron comparados entre sí a fin de evidenciar el impacto de la arborización. Seguidamente se evaluaron los mismos cuatro escenarios de arborización, empleando ahora un archivo climático de la ciudad de Barranquilla proyectado para el año 2050. Para todo el ejercicio se trabajó con los datos correspondientes a la franja horaria comprendida entre las 11:00 am y las 4:00 pm por ser el intervalo donde se presentan las temperaturas más elevadas.

Resultados

En la Figura 4 se muestra la temperatura operativa promedio anual de los cuatro escenarios propuestos para la condición climática del año 2020, mientras que la Figura 5 presenta los mismos resultados para unas condiciones futuras.

Las Figuras 6 y 8 presentan las temperaturas operativas de cada punto de la malla construida en la simulación, durante la misma franja horaria anual, y

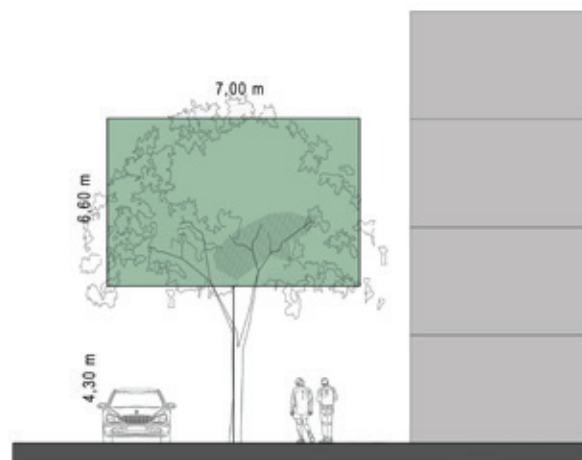


Figura 3. Imagen del árbol típico para la calle 44, Barranquilla. Fuente: Elaboración propia.

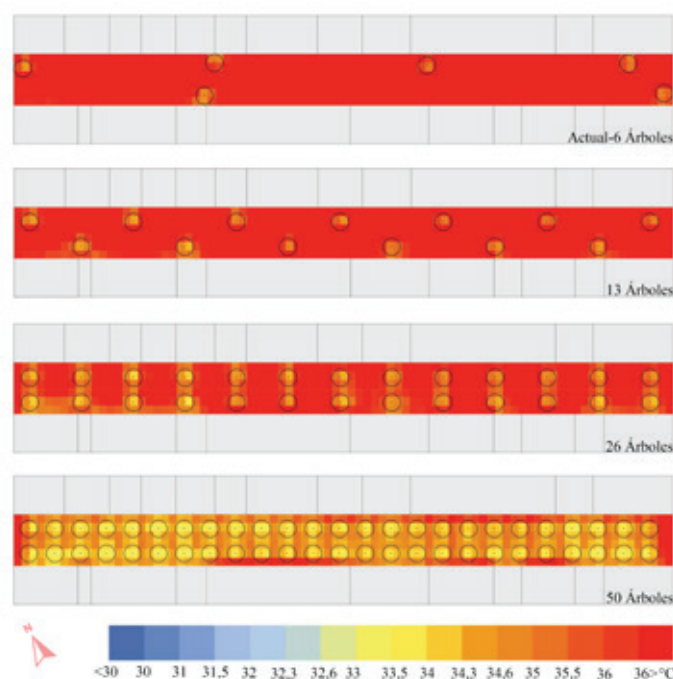


Figura 4. Resultados de temperatura operativa comparados en simulaciones del escenario de partida y escenarios propuestos en el año 202. Los valores se representan en grados Celsius. Fuente: Elaboración propia.

las mismas propuestas de arborización en el año (2020) y en el futuro (2050). Los resultados demuestran que las propuestas de mitigación deben responder en el tiempo a la fuerte incidencia del cambio climático en los próximos años.

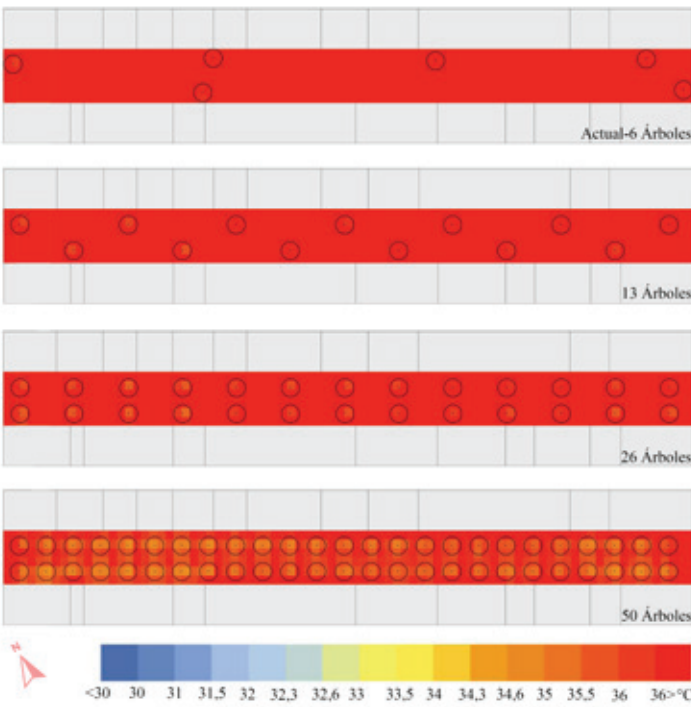


Figura 5. Resultados de temperatura operativa comparados en simulaciones del escenario de partida y escenarios propuestos en el año 2050. Los valores se representan en grados Celsius. Fuente: Elaboración propia.

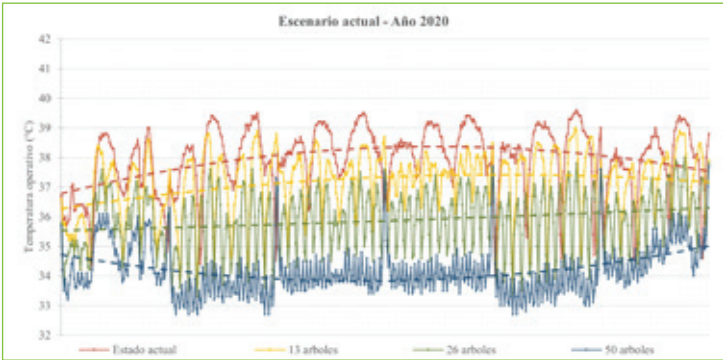


Figura 6. Gráfico con líneas y marcadores que representan la temperatura operativa de cada punto de la malla simulada, comparando el escenario de partida con las tres propuestas de arborización en el año 2020. Fuente: Elaboración propia.

Comparación de resultados de escenarios de arborización en 2020

En la Figura 7 se presentan los resultados de la comparación de todas las propuestas, y muestra cómo cada una de ellas tiende a condensar la mayoría de sus puntos en rangos de temperaturas, mientras otros puntos alcanzan mayores o menores temperaturas respecto a dichos rangos de forma más dispersa en el gráfico. Se identifica que la propuesta que abarca un rango mayor de temperaturas es la de 26 árboles. En cambio, la propuesta de 50 árboles concentra la mayoría de puntos entre los 33,5 °C y los 34,5 °C, aun cuando presenta picos ocasionales de más de 37 °C.

En el escenario de partida de la Carrera 44, el 74 % del área de la calle tiene una temperatura operativa entre los 38°C y 40°C, mientras que el 25% está entre 35°C y 37°C.

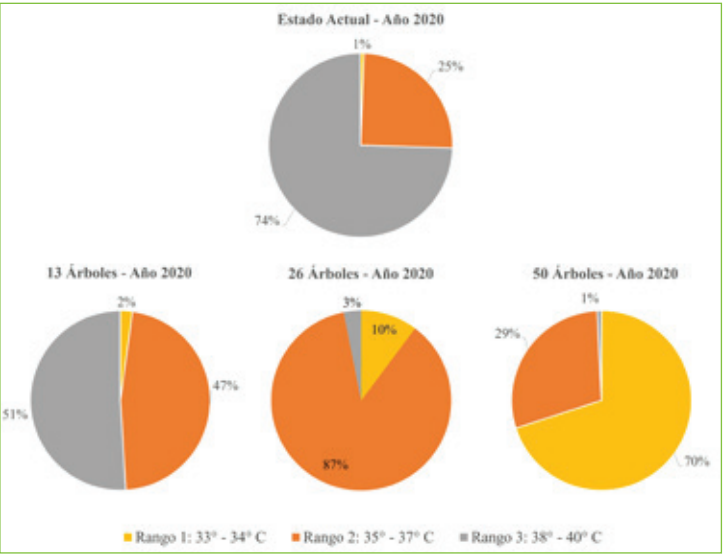


Figura 7. Comparación de los resultados obtenidos en las simulaciones del escenario de partida 2020 agrupando las temperaturas en tres rangos para identificar su frecuencia por medio de porcentajes. Fuente: Elaboración propia.

En las tres propuestas de arborización planteadas en el 2020, se evidencia una reducción progresiva de las temperaturas del rango 3 (38°C - 40°C), pasando de estar presente en un 74% de la superficie en el escenario de partida, a sólo el 1% en el tercer escenario (50 árboles). Así mismo, el rango de temperaturas más bajas que está entre 33°C y los 34°C pasa de estar presente en el 1% de la superficie de la calle en el escenario inicial, al 70% en la tercera propuesta (50 árboles). Esto indica que, con el aumento de la arborización, se da una disminución significativa del rango más crítico, y un aumento del rango con menores temperaturas, casi

en iguales proporciones. La temperatura operativa (T_o) promedio de la Carrera 44 con el escenario de partida de 6 árboles es de $37,9^{\circ}\text{C}$ en el año 2020. La propuesta que plantea 13 árboles presenta una temperatura operativa promedio de $37,1^{\circ}\text{C}$ lo que indica que hubo una disminución de $0,8^{\circ}\text{C}$ y una mitigación de 13,6% de la Isla de Calor. El escenario de 26 árboles tiene una T_o promedio de $35,9^{\circ}\text{C}$, con una disminución de 2°C con respecto al escenario existente y una disminución de 34% de la ICU. El escenario de 50 árboles presenta una Temperatura operativa promedio de $34,2^{\circ}\text{C}$, logrando una disminución de $3,7^{\circ}\text{C}$ y una mitigación de la ICU de 63%.

Comparación de resultados en el escenario futuro 2050

La Figura 8 evidencia que el comportamiento de los escenarios planteados para el año 2050 es el mismo que presenta la Figura 6, posicionándose ahora en rangos de temperatura más altas. Se identifica que los rangos que abarcan las temperaturas más bajas sólo aparecen en la propuesta de 50 árboles a partir de los $34,2^{\circ}\text{C}$, mientras que en el escenario actual 2020 era de $32,7^{\circ}\text{C}$. Además, la temperatura más alta registrada en la Figura 6 es de $41,1^{\circ}\text{C}$ que corresponde a puntos del estado inicial de la Carrera 44 en el año 2050.

La temperatura operativa promedio de la Carrera 44 con el escenario actual de 6 árboles es de $39,5^{\circ}\text{C}$ para el 2050. La propuesta que plantea 13 árboles tiene una temperatura operativa promedio de $38,6^{\circ}\text{C}$ lo que indica que habría una disminución de $0,9^{\circ}\text{C}$ con respecto al estado original (6 árboles) en el 2050. El escenario de 26 árboles tiene una temperatura operativa promedio de $35,9^{\circ}\text{C}$, que muestra una disminución de $2,1^{\circ}\text{C}$. El escenario de 50 árboles presenta una Temperatura operativa promedio de $34,2^{\circ}\text{C}$, logrando una disminución de $3,8^{\circ}\text{C}$. (Figura 9)

La Figura 10 muestra que, aunque la variación de temperaturas mínimas y máximas se encuentran en rangos de valores muy similares, los promedios y las medias permiten identificar el impacto de cada propuesta en la mitigación de ICU, a través de los datos más representativos de cada una de ellas.

También se evidencia que, por ejemplo, para mantener en el 2050 el comportamiento térmico que la vía tendría en la actualidad con 13 árboles, deberán implantarse 13 árboles más, para contar con un total de 26. Dicho de otro modo, de tenerse 50 árboles en el año 2050 daría como resultado un mejor desempeño térmico que contar con 26 en la actualidad.

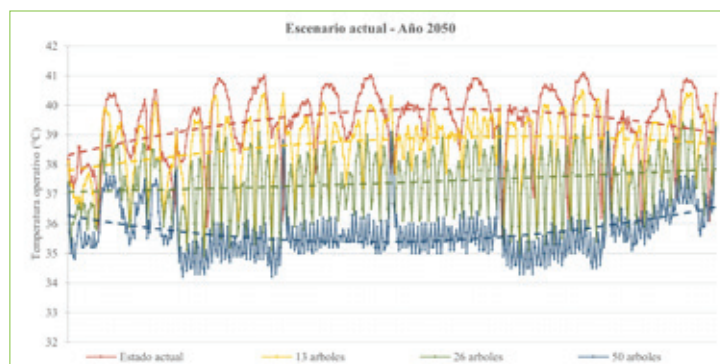


Figura 8. Gráfico de líneas con marcadores que muestra la temperatura operativa de cada punto de la malla simulada, comparando el estado futuro con las tres propuestas de arborización en el año 2050.

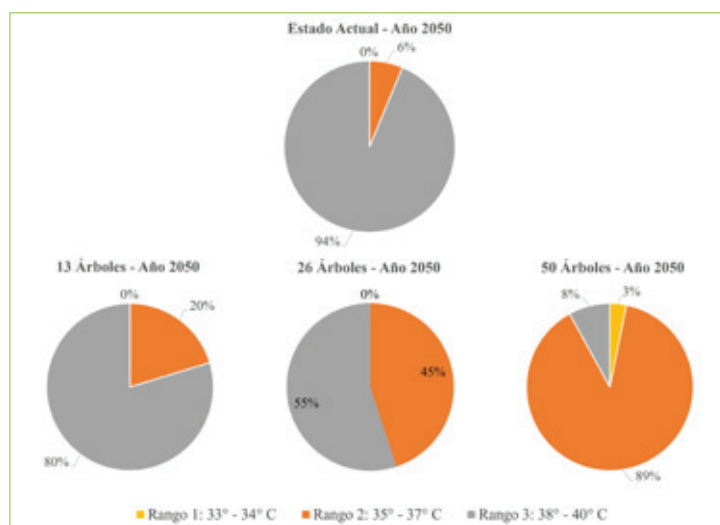


Figura 9. Comparación de los resultados obtenidos en las simulaciones del escenario futuro (2050) agrupando las temperaturas en tres rangos para identificar su frecuencia por medio de porcentajes. Fuente: Elaboración propia.

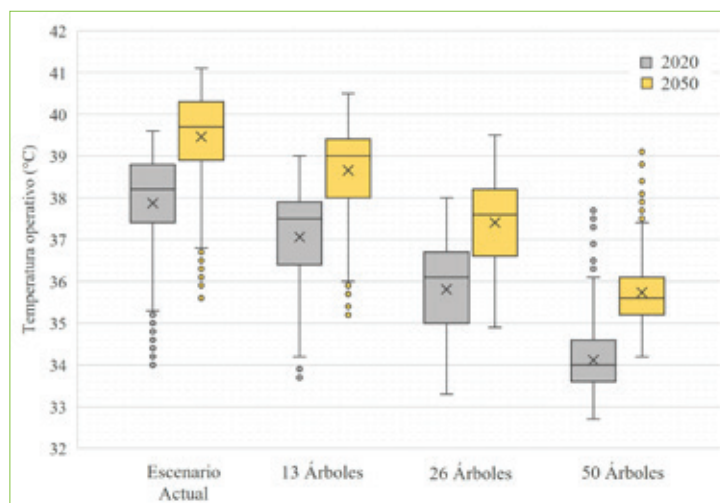


Figura 10. Diagrama de caja y bigotes que muestra la temperatura operativa de todos los escenarios propuestos, en el año 2020 y en el 2050. Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El estudio del fenómeno de la Isla de Calor puede ser abordado en diferentes escalas y métricas teniendo en cuenta que la concentración de altas temperaturas se localiza en las áreas centrales de las ciudades. Sarricolea y Martín-Vide [9] emplean el trazado y la superposición de imágenes satelitales para calcular la temperatura de emisión sobre la superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile, y con esto identificar los puntos de mayor radiación de este fenómeno. En nuestro caso se selecciona directamente un área de estudio de menor escala, que forma parte de las zonas donde se hace notoria una mayor sensación de calor debido a la orientación de la calle y la dirección de los vientos. Además, se emplea el cálculo de la temperatura operativa, y no sólo de superficie, para identificar el impacto que tiene la implementación de elementos vivos (árboles) en la mitigación de las fuertes temperaturas que se presentan en la zona y que hacen que se marque un rango diferencial muy amplio entre la temperatura del interior de la ciudad comparado con las temperaturas a las afueras de la ciudad. En su tesis, Ballinas [8], evidencia cómo los sistemas arbolados semejantes a parques urbanos son una buena estrategia para la mitigación de la isla de calor en Zona Metropolitana de la ciudad de México, logrando una disminución en las temperaturas más altas de hasta 4°C; por eso se plantean diferentes escenarios de arborización para poder evidenciar la efectividad de cada uno.

Sin embargo, Barranquilla, que es el contexto en que se desarrolla esta investigación, presenta un clima mucho más cálido y húmedo que el de la ciudad de México, aun así, se evidencia que implementando 50 árboles en la Carrera 44 se logra una disminución de hasta 3,7°C en la temperatura operativa de la calle, lo que representa una mitigación del 63% de la ICU.

No obstante, tomar esta estrategia como apropiada tendría un elevado impacto en la transformación urbana de la Carrera 44, debido a la alta complejidad que tiene instalar un sistema de arborización en un espacio consolidado. Esto implica gran ocupación de un suelo que debe ser adecuadamente compartido con redes de drenaje de agua, acueducto, etc., y no interferir con las redes aéreas. También implica la construcción de nuevos espacios urbanos, islas de parqueo, mobiliario urbano, y alumbrado público, entre otros.

Debe tenerse en cuenta además, la adecuada implantación de los árboles en relación a las distancias entre ellos y las construcciones. Todo esto enfrenta la estrategia al marco de la gestión y su viabilidad, tal como sucedió en el estudio de Laura Florez [7], donde analiza la efectividad de las cubiertas verdes (proporción planteada: 30%) como estrategia para mitigar la isla de calor en el Valle de Aburrá, a través de simulaciones en el modelo SLUCM acoplado al WRF, que solo mitigaba 1° de los 3° que generaba la isla de calor. En ese caso, la posibilidad de aumentar la proporción de las cubiertas, lo convertía en un proyecto logística y económicamente inviable.

Lo anterior lleva a la reflexión de que, aunque se haya demostrado que la implementación de franjas de arborización resulta una estrategia efectiva para la mitigación de la isla de calor, es importante complementarlo con otras acciones.

[9] Sarricolea P, Martín J. El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. Revista de Geografía Norte Grande [Internet]. 2014 [consultado: 26 de Marzo de 2021]; 57:[123-41 pp.]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5784457>

Conclusión

Con esta investigación se demuestra el impacto de los sistemas de arborización como estrategia de mitigación de la Isla de calor en la Carrera 44 de Barranquilla, al lograr una disminución de la temperatura operativa de hasta 3,7°C. Aunque todas las propuestas generan una disminución en los valores analizados, la aplicación de sistemas de arborización en el objeto de estudio no es suficiente en ninguno de los escenarios planteados para disminuir en su totalidad la ICU.

Es necesario el estudio de otras estrategias complementarias, como el cambio de la materialidad, tanto en la calle, como en las edificaciones.

Se puede concluir también que la aplicabilidad de estrategias tales como los sistemas de arbolado o los cambios en la materialidad de los espacios urbanos no solo juegan un papel en la mitigación, sino sobre todo, en la planificación de los espacios futuros.

A pesar de que la propuesta que se hace en esta investigación no logra mitigar por completo la ICU en un lugar específico, contribuye en la red de acciones que, sumadas, planifican los escenarios futuros de las ciudades, y podrán aportar al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Grupo EMAT de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín, y al Grupo Hombre, Proyecto y Ciudad de la Universidad de San Buenaventura, Medellín, por hacer posible la realización de esta investigación.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que representen riesgos para la publicación del artículo.

DECLARACIÓN DE LA RESPONSABILIDAD AUTORAL

Sara Cristina Zuluaga Gómez: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, desarrollo de la metodología, desarrollo de la investigación, escritura del borrador inicial, redacción y edición del manuscrito.

Felipe Londoño Arango: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, desarrollo de la metodología, desarrollo de la investigación, escritura del borrador inicial, redacción.

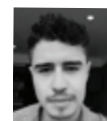
Elizabeth Parra Correa: Administración y supervisión del proyecto de investigación, desarrollo de la investigación y redacción del manuscrito.

Lucas Arango Díaz: Asesoría metodológica, redacción y revisión del manuscrito, revisión de resultados de simulación.

Jorge Hernán Salazar Trujillo. Asesoría metodológica.



Sara Cristina Zuluaga Gómez
Estudiante de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
E-mail: szuluaga@unal.edu.co
<https://orcid.org/0009-0002-5308-2321>



Felipe Londoño Arango
Arquitecto. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
E-mail: anflondonoar@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-3799-9981>



Elizabeth Parra Correa
Arquitecta, MSc. en Bioclimática. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
E-mail: elparraco@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-0644-0886>



Lucas Arango Díaz
Arquitecto, PhD. en Arquitectura y Urbanismo. Universidad de San Buenaventura Medellín, Colombia.
E-mail: lucas.arango@usbmed.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-3638-3379>



Jorge Hernán Salazar Trujillo
Arquitecto, MSc. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
E-mail: jhsalaza@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-1075-0406>



Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)