

O impacto do arborização e materiais frios para a mitigação da ilha de calor urbana em Medellín

El impacto de la arborización y los materiales fríos para la mitigación de la isla de calor urbana en Medellín

The impact of arborization and cool materials for urban heat island mitigation in Medellín

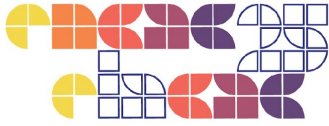
Área temática 2 / Clima y Planificación urbana

Salcedo Ramirez, Andrea Valentina

*Estudiante de arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia,
asalcedor@unal.edu.co*

Batista Gomez, Felipe

*Estudiante de arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia,
fbatista@unal.edu.co*



Resumo

A urbanização tem provocado mudanças no clima das cidades, resultando no aumento do fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU). O objetivo deste artigo é determinar o impacto da arborização e do material selecionado para mitigar a ICU no espaço público de Medellín. O método utilizado baseia-se em: Compilação de dados climáticos do arquivo EPW mais recente da cidade; Caracterização das árvores de acordo com o seu índice de área foliar, forma de copa, utilização no espaço público e do material de acordo com a sua refletância solar e emitância infravermelha; Simulação do microclima urbano no ENVI-met do cenário existente e proposto; Estimativa de ICU. Foi observada uma diminuição de até 17°C na Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) mitigando 93% da ICU. A metodologia estabelece diretrizes para a seleção de árvores e materiais para mitigar efetivamente esse fenômeno.

Palavras-chave: Ilha de calor urbana. Arborização. Materiais frios. ENVI-met. PET.

Resumen

La urbanización ha provocado cambios en el clima de las ciudades, dando como resultado el incremento del fenómeno Isla de Calor Urbana (ICU). El objetivo de este artículo es determinar el impacto de la arborización y el material seleccionado para mitigar la ICU en el espacio público de Medellín. El método utilizado se basa en: Recopilación de datos climáticos del archivo EPW más reciente de la ciudad; Caracterización arbórea según su índice de área foliar, forma de copa, uso en el espacio público y del material según su reflectancia solar y emitancia infrarroja; Simulación del microclima urbano en ENVI-met del escenario existente y el propuesto; Estimación de la ICU. Se observó una disminución de hasta 17°C de la Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), mitigando el 93% de la ICU. La metodología establece pautas de selección arbórea y materiales para mitigar efectivamente dicho fenómeno.

Palabras clave: Isla de calor urbana. Arborización. Materiales frios. ENVI-met. PET.

Abstract

Urbanization has caused changes in the climate of cities, resulting in the increase of the Urban Heat Island (UHI) phenomenon. The objective of this article is to determine the impact of arborization and the material selected to mitigate UHI in the public space of Medellín. The method used is based on: Compilation of climate data from the city's most recent EPW archive; Characterization of trees according to their leaf area index, crown shape, use in public space and of the material according to its solar reflectance and infrared emittance; Simulation of the urban microclimate in ENVI-met of the existing and proposed scenario; UHI Estimate. A decrease of up to 17°C of the Equivalent Physiological Temperature (PET) was observed, mitigating 93% of the UHI. The methodology establishes guidelines for tree and material selection to effectively mitigate this phenomenon.

Keywords: Urban heat island. Arborization. Cool Materials. ENVI-met. PET.



1. INTRODUCCIÓN

El acelerado incremento de la población trae consigo la urbanización e industrialización, dando como resultado el fenómeno ambiental “Isla de Calor Urbana” (ICU), el cual “[...] en su definición básica, es el aumento de la temperatura de las áreas urbanas en comparación con sus alrededores rurales” (Taleb y Abu-Hijleh, 2013, p. 1). Estas “islas”

Se relacionan principalmente con la alta densidad de edificios y estructuras urbanas que absorben la radiación solar, el uso de materiales altamente absorbentes, la falta de espacios verdes, las características de los cañones urbanos y la producción de calor antropogénico” (Santamouris et al., 2011, p. 1).

Varios autores coinciden en que la implementación de un sistema de arbolado urbano y el cambio de materiales en los revestimientos son estrategias efectivas para la mitigación de la ICU (Zuluaga et al., 2023). En cuanto a la implementación de sistemas de arbolado urbano, usar los ejemplares en etapa adulta genera enfriamiento en el suelo por su sombra y capacidad de evapotranspiración (Torres, 2020), siendo la transpiración el proceso en el cual las plantas pierden agua en forma de vapor hacia la atmósfera, de tal manera que reduce la temperatura del aire (T_a) y asimismo la sombra al reducir el calor reflejado, hace que el espacio sea más confortable.

Con relación a los materiales, la distribución de la temperatura en el área urbana está influenciada por la radiación solar absorbida por estos (Correa et al., 2003), que al tener baja emitancia infrarroja dificultan la disipación del calor, elevando las temperaturas de las superficies y por lo tanto, las del ambiente. El uso de materiales fríos, por un factor de alta reflectividad a la radiación de onda corta y un factor de alta emisividad a la radiación de onda larga, reducen la cantidad de radiación solar absorbida y al ser buenos emisores de radiación infrarroja, mantienen sus superficies más frescas (Doulos et al., 2004).

En el trópico, las estrategias implementadas para la mitigación de la ICU no siempre coinciden con las que se proponen para otros lugares del planeta (Zuluaga et al., 2023). Aunque la implementación de arborización y materiales fríos en el entorno urbano es una de las estrategias más efectivas para la mitigación de dicho fenómeno, es necesario evaluar el impacto que tienen en Medellín, pues al tener una topografía de valle (en la cual existen diferentes altitudes) es vulnerable al aumento de la temperatura superficial y por lo tanto, al aumento de la ICU (Martínez, 2017).



2. OBJETIVO

Determinar el impacto de la arborización y el cambio de material seleccionados en los andenes con el propósito de mitigar efectivamente la isla de calor urbana en el caso de estudio.

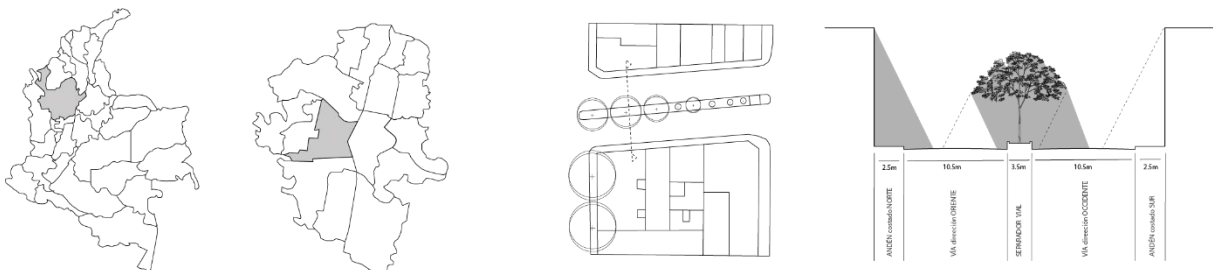
3. METODOLOGÍA

3.1 Lugar y caso de estudio

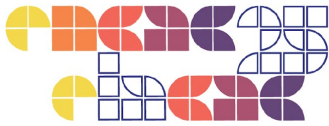
La ciudad de Medellín, Colombia, está localizada en un valle interandino con una altitud que oscila entre 1300 y 3000 msnm, orientado en sentido Norte-Sur, y cuyos vientos predominantes están determinados por esta orientación, por lo que las avenidas y calles orientadas en sentido Oriente-Occidente tienen un deficiente enfriamiento, lo que hace aumentar el estrés térmico del peatón ya que la evaporación del sudor si bien es afectada principalmente por la humedad relativa, también lo es por la velocidad del viento, pues limita la capacidad del cuerpo para disipar el exceso del calor por medio de la sudoración (Erell et al., 2014).

Se escoge como caso de estudio la Av. San Juan comprendiendo el tramo entre la Cra. 78 a 79 en ambas vías, las cuales contienen dos carriles cada una, siendo divididas por un separador vial con existencia de diversas especies vegetales. Dicho tramo tiene una longitud de 50 m orientado en sentido Oriente-Occidente, con inexistencia de vegetación en ambos andenes, provocando un alza de la PET, pues si bien la arborización situada en el separador vial proyecta sombra, solo lo hace en una parte de los carriles aledaños, dejando sin protección de la radiación solar a los peatones, quienes son los que realmente la necesitan.

Figura 1: Localización del caso de estudio.



Fuente: Elaboración del autor.



3.2 Información preliminar: Datos climáticos

Los datos climáticos utilizados para las simulaciones se tomaron del archivo climático EPW de Medellín del periodo comprendido entre los años 2009-2023 y se definió el periodo de tiempo de análisis teniendo en cuenta los solsticios y equinoccios, pues son momentos en los que se producen cambios significativos en la radiación solar que reciben las superficies. También, se tuvo en cuenta la salida y puesta del sol para analizar las horas en las que las superficies están expuestas a la radiación solar, pues los materiales utilizados en estas absorben dicha radiación y disipan parte del calor acumulado hacia la atmósfera, incrementando la temperatura del ambiente y por ende, el estrés térmico de los peatones (Santamouris et al., 2011).

3.3 Caracterización arbórea y de los materiales

Para la selección de la arborización se consideró el índice de área foliar (IAF), y la forma de la copa, pues son las principales características que influyen en la disminución de la temperatura en las superficies sombreadas (Speak et al., 2020). Además siguiendo las recomendaciones de (Moreno y Hoyos, 2015) en su “Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá”, se determinó cuáles árboles son más adecuados para ubicarlos en el espacio público estudiado.

Se tomaron las medidas correspondientes a los andenes, los cuales la mayoría presentan una longitud de 2,5 metros, siendo 2,1 metros la menor y 3,5 metros la mayor longitud. Asimismo, se realizó la toma de las medidas de los carriles vehiculares y el separador vial con el objetivo de tener conocimiento acerca del espacio disponible y de esa forma, permitir la correcta circulación de los peatones y situar correctamente la arborización teniendo en cuenta las medidas de distancia mínima entre ellas (10 m), además de establecer la medida de los alcorques (la cual fue de 1 m y determinó la longitud de la franja verde situada a lo largo del tramo estudiado) para que los árboles crezcan correctamente sin llegar a afectar las construcciones y superficies aledañas (Moreno y Hoyos, 2015).

Para la selección del material se tuvo en cuenta que el uso de materiales altamente absorbentes provoca aumentos de temperatura en el ambiente, puesto que absorben la radiación solar y la liberan como radiación infrarroja a su entorno, por lo que el utilizar



materiales fríos (es decir que contenga alta reflectancia solar y emitancia infrarroja) se considera una de las estrategias más eficaces para mitigar la ICU (Santamouris et al., 2011).

Tabla 1: Caracterización arbórea.

Nombre científico	IA F	Forma de copa	Tipo de espacio público
Caesalpinia pluviosa	6	Aparasolada	Andén, Ecoparque, Vía peatonal, Oreja de puente, Glorieta, Parque, Plaza.
Terminalia catappa	8	Estratificada	Andén, Ecoparque, Vía peatonal, Oreja de puente, Glorieta, Parque, Plaza.
Bauhinia picta	6	Oval	Separador de autopista y arteria principal, Ecoparque, Vía peatonal, Oreja de puente, Glorieta, Parque, Plaza.
Erythrina fusca	6	Globosa	Ecoparque, Vía peatonal, Oreja de puente, Glorieta, Parque, Plaza.

Fuente: Elaborado a partir de Moreno y Hoyos (2015); Bustamante (2018).

Tabla 2: Caracterización de los materiales.

Material	Reflectancia solar	Emitancia infrarroja
Bloques de Hormigón	0,84	0,95
Hormigón	0,22	0,95
Asfalto	0,15	0,85

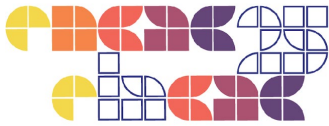
Fuente: Elaboración del autor.

3.4 Simulaciones

Actualmente hay una gran variedad de software disponibles para el estudio del microclima urbano, sin embargo, no todos tienen en cuenta los parámetros para el análisis que requiere este estudio, por consiguiente, se escogió el software de modelado 3D ENVI-met, el cual utiliza la termodinámica y la dinámica de fluidos computacionales (CFD), que acopla los procesos atmosféricos con los procesos de humedad de la vegetación/suelo con el modelo (Crank et al., 2018), permitiendo simular y analizar espacios urbanos con su variedad de herramientas.

El modelado del escenario existente y propuesto se realizó en tres etapas:

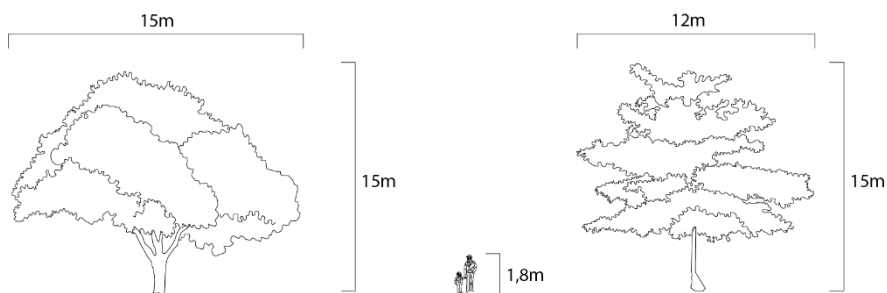
- I) Creación volumétrica del área de estudio en SketchUp.
- II) Transformación del modelo .skp a .INX.



III) Modelación de las masas arbóreas y especificación característica de los materiales del espacio público.

Durante la última etapa se tuvo que hacer un modelado de los árboles seleccionados (*Caesalpinia pluviosa* y *Terminalia catappa*) dentro de ENVI-met, utilizando su herramienta *Albero*, que permite visualizar geométricamente cada especie, ingresando datos referentes a su altura, amplitud de copa, densidad de la madera, densidad de área foliar, profundidad y amplitud de la raíz. De igual forma se tuvo que crear un material con características específicas para el andén como el albedo, emisividad, y color, ya que ENVI-met no lo tenía de forma predeterminada.

Figura 2: Izquierda: Árbol *Caesalpinia pluviosa*. Derecha: Árbol *Terminalia catappa*



Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 3: Datos ingresados a *Albero* sobre la arborización seleccionada.

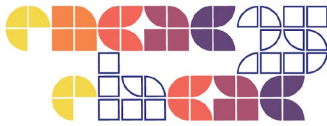
Nombre científico	Altura	Amplitud de copa	Densidad de la madera	Densidad del área foliar	Profundidad de la raíz	Amplitud de la raíz
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	15 m	15 m	650 kg/m ³	78.10 g/m ²	15 m	3 m
<i>Terminalia Catappa</i>	15 m	12 m	480 kg/m ³	70 g/m ²	12 m	5 m

Fuente: Elaborado a partir de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá (catalogofloravalledeaburra.eia.edu.co).

Tabla 4: Datos ingresados a la Biblioteca de materiales sobre el material seleccionado.

Material	Reflectancia solar	Emitancia infrarroja	Color
Bloques de Hormigón	0,84	0,95	Blanco

Fuente: Elaboración del autor.



Para la creación de las simulaciones se utilizaron los datos climáticos del archivo EPW de Medellín del período comprendido entre los años 2009-2023, que fueron analizados por la herramienta CBE Clima Tool de tal manera que se pudiera conocer la temperatura de bulbo seco, humedad relativa, dirección y velocidad del viento de las siguientes 4 fechas:

- I) 20 de marzo (Equinoccio de primavera).
- II) 20 de junio (Solsticio de verano).
- III) 22 de septiembre (Equinoccio de otoño).
- IV) 21 de diciembre (Solsticio de invierno).

Tabla 5: Datos ingresados a ENVI-met para simular el microclima urbano en las fechas seleccionadas para ambos escenarios.

Fecha	T. min. del bulbo seco y hora	T. máx. del bulbo seco y hora	HR min. y hora	HR máx. y hora	Dirección del viento	Velocidad del viento
20 de marzo	14.20 °C – 7:00.	26.30 °C – 15:00.	47.00% - 14:00.	99.00% - 6:00.	90.00°	1.25 m/s
20 de junio	14.20 °C – 7:00.	29.00 °C – 15:00.	49.00% - 14:00.	100% - 6:00.	90.00°	1.00 m/s
22 de septiembre	18.20 °C – 6:00.	30.00 °C – 16:00.	37.00% - 15:00.	87.00% - 6:00.	90.00°	0.75 m/s
21 de diciembre	17.30 °C – 7:00.	27.50 °C – 14:00.	45.00% - 13:00.	99.00% - 6:00.	0.00°	2.45 m/s

Fuente: Elaboración del autor.

3.5 Estimación de la ICU

Se estimó la intensidad de la ICU realizando una comparación entre la Temperatura del aire (Ta) del archivo climático EPW utilizado para esta investigación y la Temperatura del aire resultante de la simulación del escenario existente, teniendo en cuenta que los archivos EPW proporciona datos climáticos que representan años meteorológicos típicos (AMT).

Para conocer la información acerca de la Ta del archivo EPW en el horario de las 6:00h–18:00h se utilizó la herramienta CBE Clima Tool, de tal manera que se pudiera comparar las mismas horas y días simulados para el escenario existente.

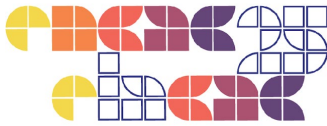
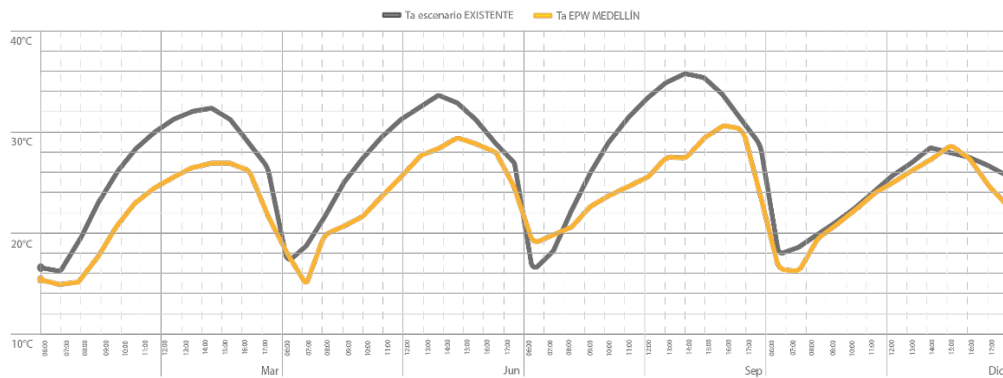


Figura 3: Intensidad de la ICU en diferentes horas de las 4 fechas escogidas.



Fuente: Elaboración del autor.

La intensidad de la ICU se estimó con un promedio general de 3,29 °C, presentando el mayor valor en el equinoccio de otoño a las 14:00 horas con una intensidad de 8,6°C.

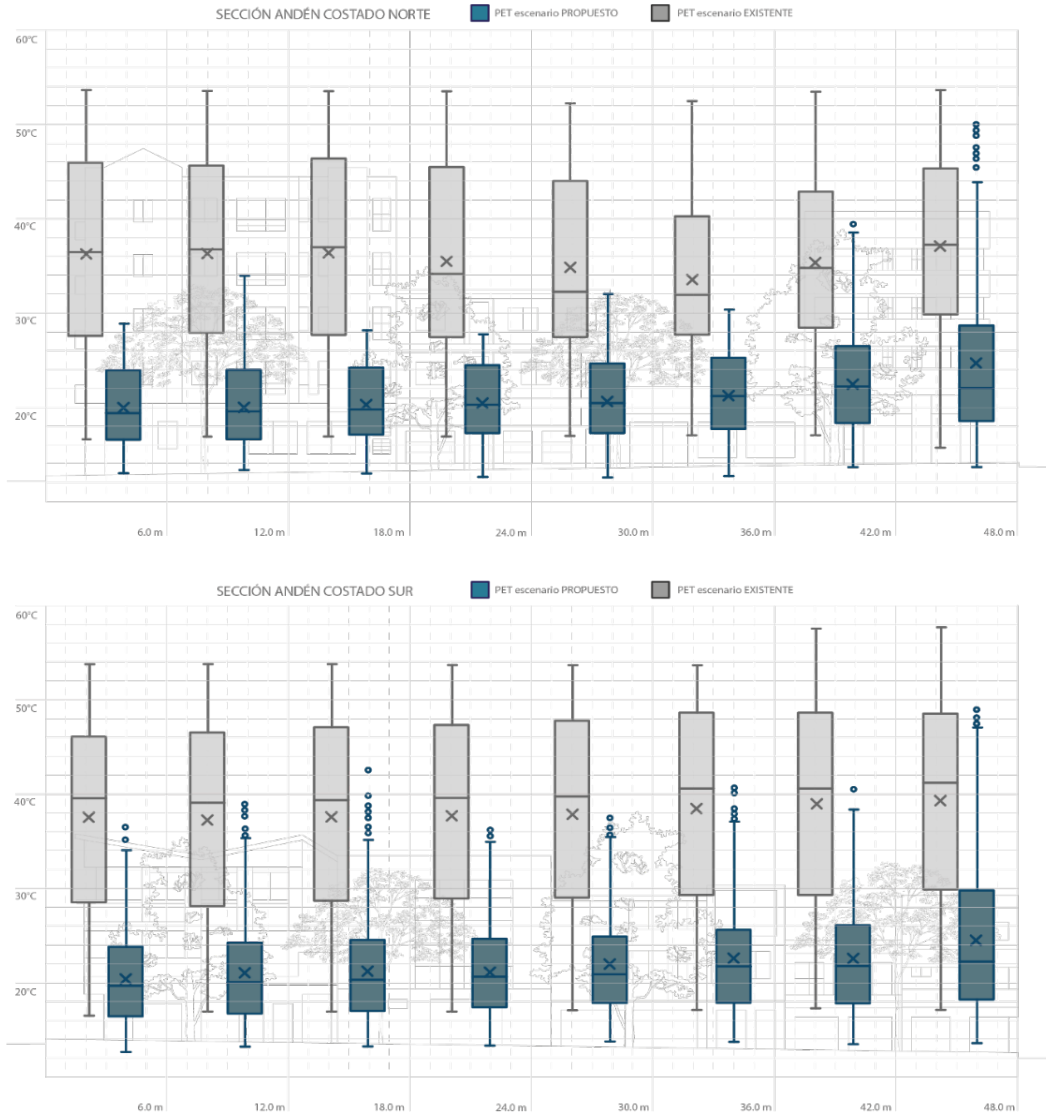
4. RESULTADOS

En la Figura 4 se evidencia que la PET en el Andén C. Norte del escenario existente varía entre 15°C-54°C presentando el mayor y menor valor entre los 0m-24m, y entre los 25m-48m respectivamente, mientras que la PET en el Andén C. Sur del mismo escenario varía entre 17°C-58°C presentando el mayor valor entre los 36m-48m, y valores relativamente homogéneos entre los 0m y 35. En el escenario propuesto se logró reducir la PET significativamente, oscilando entre un promedio de 12°C-16°C y 14°C-17°C de disminución en el Andén C. Norte y Sur respectivamente, evidenciando que el Andén C. Sur presenta un promedio entre 5°C-11°C más que el Andén C. Norte.

Estos datos permitieron demostrar que en el Andén C. Sur hay mayor variabilidad de la PET en ambos escenarios en comparación con el Andén C. Norte, además de que presenta mayores valores de temperaturas.



Figura 4: Comparación de la PET(°C) a 1.5 m del suelo entre el escenario propuesto y el escenario existente del Andén C. Norte y Sur durante las 4 fechas seleccionadas.

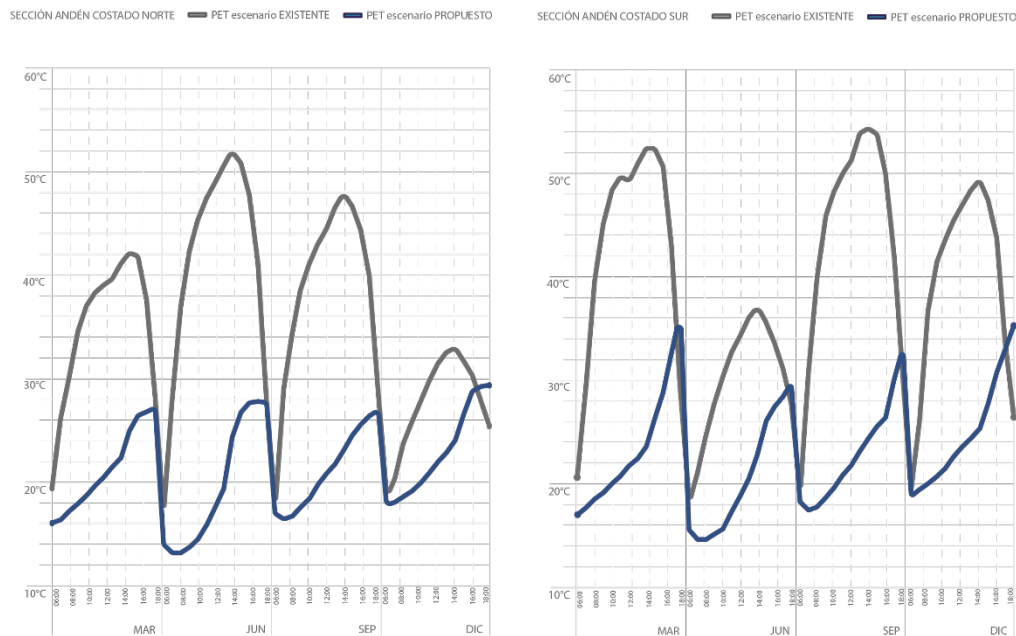


Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 5 se evidencia que los 4 días escogidos correspondientes al solsticio de verano e invierno, y el equinoccio de primavera y otoño presentan valores de temperaturas diferentes que oscilan entre 18°C-54°C para el escenario existente y entre 13°C-35°C para el escenario propuesto.



Figura 5: Comparación de la PET(°C) a 1.5m del suelo entre el escenario propuesto y el escenario existente del Andén C. Norte y Sur durante el horario 6:00 h-18:00 h en las 4 fechas seleccionadas.



Fuente: Elaboración del autor.

Para el escenario existente del Andén C. Norte y el Andén C. Sur se presentan los valores más bajos en diciembre y junio respectivamente, con una variación de hasta 18°C. Asimismo se evidencia que los valores más altos en el escenario propuesto se presentan en el Andén C. Sur los meses de marzo y diciembre con una variación de hasta 7°C.

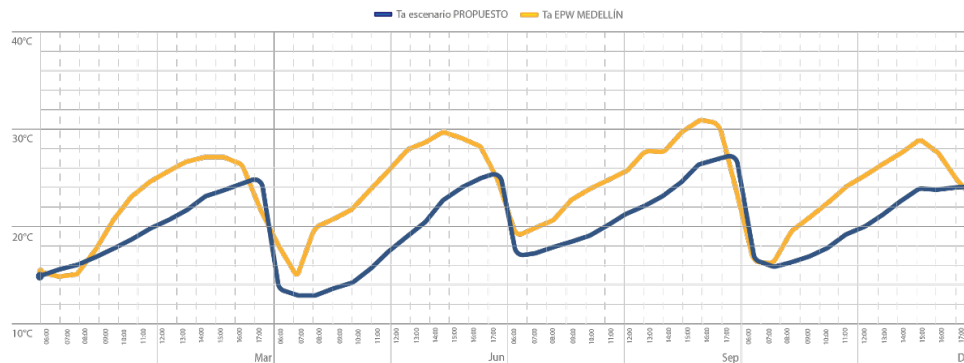
También se evidencia que independientemente de la fecha y ubicación de los andenes, los picos más altos de temperatura para el escenario existente ocurren a las 14:00h mientras que estos picos para el escenario propuesto ocurren a las 18:00h.

En la Figura 6 se estimó la intensidad de la ICU realizando una comparación entre la Ta del archivo climático EPW utilizado y la Ta resultante de la simulación del escenario propuesto, de tal manera que se estableció la intensidad de la ICU luego de aplicar las estrategias de mitigación de dicho fenómeno propuestas por esta investigación.

Se logró un promedio general de 0,9 °C, que indica una mitigación del 93% de la ICU en la zona estudiada. No obstante, se observa que el valor más alto de la ICU para el escenario propuesto es en el equinoccio de otoño con un valor de 4,6°C a las 18:00h, mitigando el 9,8%.



Figura 6: Intensidad de la ICU en diferentes horas de las 4 fechas escogidas aplicando las estrategias propuestas.



Fuente: Elaboración del autor.

5. CONCLUSIONES

Esta investigación demostró como la selección de unas características específicas para la arborización y los materiales fríos pueden contribuir a la mitigación de la Isla de Calor. Los resultados indican que los andenes en el costado sur de las manzanas presentan mayores valores de temperaturas en comparación con los andenes en el costado norte de las manzanas, evidenciando la necesidad de hacer mayor énfasis en estas zonas a la hora de diseñar y planificar el espacio público en Medellín.

Se logra determinar que el impacto de implementar las estrategias propuestas para la mitigación de la ICU en la zona estudiada fue efectivo, puesto que se logró observar una mitigación promedio del 93% de la ICU y una disminución hasta de 17°C del estrés térmico utilizando el índice de confort PET. Por lo tanto, se recomienda que los diseñadores y planificadores urbanos tengan en cuenta las características específicas de la arborización y los materiales a la hora de implementarlas como estrategias de mitigación de la ICU en el espacio público.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bustamante - Fernández, Carolina. **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.** Maestría – Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 2018.



Crank, Peter; Sailor, David; Ban-Weiss, George & Taleghani, Mohammad. "Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies". **Urban Climate**. v.26, dic. 2018, 188-197.

Doulos, L; Santamouris, M & Livada, I. "Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials". **Solar Energy**. v.77, may. 2004, 231–249.

Erell, E; Pearlmutter, D; Boneh, D & Kutiel, P. B. "Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons". **Urban Climate**. v.10, n.2, dic. 2014, 367–386.

Herrera - Hurtado, María - Alejandra. **Morfología urbana y clima local: alternativas de diseño urbano a partir de infraestructura verde**. Maestría – Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2019.

Martínez - Osorio, Alejandro. **Islas de calor en el área urbana del Valle de Aburrá**. Maestría – Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2017.

Moreno, Favio & Hoyos, Claudia. Establecimiento de la vegetación leñosa en espacios verdes urbanos. En: [Arroyave, Morales & Moreno]. **Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá**. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 2015. pp. [153-216].

Santamouris, M; Synnefa, A & Karlessi, T. "Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions". **Solar Energy**. v.85, n.12, dic. 2012, 3085–3102.

Speak, Andrew; Montagnani, Leonardo, Wellstein, Camilla & Zerbe, Stefan. "The influence of tree traits on urban ground surface shade cooling". **Landscape and Urban Planning**. v.197, n.2, may. 2020.

Taleb, Dana & Abu – Hijleh, Bassam. "Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE". **Renewable Energy**. v.50, feb. 2013, 747-762.

Torres - Quintana, José - Luis. **Estrategias de mitigación de islas de calor urbano en Toluca**. Doctorado – Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, 2020.

Zuluaga, Sara, Londoño, Felipe; Parra, Elizabeth; Arango, Lucas & Salazar, Jorge. "El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor urbana en el Caribe colombiano". **Arquitectura y Urbanismo**. Medellín, v.44, n.2, feb. 2023, 32-39.