PROPUESTA DE MÉTODO DE VALORACIÓN DE LA SOMBRA VEGETAL EN ESPACIOS PÚBLICOS EN COLOMBIA A PARTIR DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y LA PRECIPITACIÓN SEGÚN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Manuela Murillo Galvis (1); Juan Sebastián Calle Medina (2); Lucas Arango Díaz (3); Sebastián Pinto Quintero (4)

(1) Arquitecta, candidata a magister en bioclimática, manuela.murillo@usbmed.edu.co, Universidad de San Buenaventura Medellín, (+57) 604 514 5600 ext. 4402

(2) Arquitecto, candidato a magister en bioclimática, juan.calle212@tau.usbmed.edu.co, Universidad de San Buenaventura Medellín, (+57) 604 514 5600 ext. 4402

(3) Arquitecto, doctor en arquitectura y urbanismo, lucas.arango@usbmed.edu.co, Universidad de San Buenaventura Medellín, (+57) 604 514 5600 ext. 4402

(4) Arquitecto, magister en urbanismo, spinto@ucm.edu.co, Universidad Católica de Manizales, (+57) 8933050

RESUMEN

La incorporación de especies arbóreas y pisos blandos en espacios públicos se plantean a fin de favorecer el desempeño térmico en espacios resilientes al cambio climático, sin embargo, se estima que podría tener consecuencias negativas en la habitabilidad del espacio público por la retención de agua de las superficies de piso. Por tanto, existe la necesidad de revisar la cantidad de sombra vegetal espacios públicos para lograr el balance entre desempeño térmico y la retención de agua en las superficies de piso. El objetivo de la presente investigación es proponer un método para la valoración de la sombra vegetal en el contexto urbano de acuerdo con su densidad, según un análisis simultáneo entre el desempeño térmico y capacidad de evaporación de agua en las superficies de pisos duro y blando. Para esto se analizaron, bajo simulaciones computacionales en el software *Rhino 3D* con el plugin *Grasshopper*, dieciséis (16) escenarios variando entre tres tipos de árboles según densidad (alta, media, baja y sin sombra), el tipo de piso (duro o blando), el escenario climático actual y uno futuro para la ciudad de Cali, Colombia. Como conclusiones principales se obtuvo que el antagonismo entre las variables de desempeño térmico y agua total en superficie resulta más significativo de lo esperado, por lo que se deberá considerar un balance entre ambas a la hora de diseñar espacios públicos. Finalmente esta investigación esboza nuevos criterios de habitabilidad para el aumento de la sombra vegetal en zonas urbanas como estrategia de mitigación del cambio climático.

Palabras chave: Sombra vegetal, Cambio climático, Desempeño térmico, Espacios públicos, Precipitación.

ABSTRACT

Incorporation of tree species and permeable surface in public spaces has the target of improve thermal performance in resilient spaces to climate change. However, is expected that its possible obtain negative consequences for the habitability of this kind of spaces, because of water retention. Therefore, there is a need of reviewing the amount of tree shade in public spaces for achieving the balance between thermal performance and water retention in the surfaces. The main objective of this research was proposed a method for rating of tree shade in the urban context in accordance with its density, based on a simultaneous analysis between thermal performance and water evaporation capacity on impermeable and permeable floor surfaces. For that an analysis was done, through computer simulations with the plug-in Grasshopper for Rhino 3D, on sixteen (16) scenarios. Varying the density of treetop (high, medium, low and without shadow), the kind of floor (impermeable or permeable), the current climate scenario and one climate change scenario (2080) for Cali, Colombian city. As main conclusions must be highlighted, on the one hand, the antagonism observed between the variables as thermal performance and total water on the surfaces, results more significant than expected. For this reason, is relevant consider a balance between those before design public spaces. Finally, on the other hand, this research outlines news criterion of habitability for increasing the shade tree in urban zones as strategy of climate change.

Keywords: tree shade, climate change, thermal performance, public spaces, precipitation.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el cambio climático representa uno de los retos más importantes para la humanidad. De acuerdo con el más reciente informe sobre cambio climático - AR6 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático – IPCC (IPCC AR6 WG III, 2022), la temperatura del planeta ya aumentó, en promedio, más de 1.0°C con relación a la era preindustrial, y para evitar que aumente más de 1,5°C deberá reducirse, al menos, en un 50% las emisiones de gases efecto invernadero con relación a los niveles de 2010 y alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2050.

Frente a las incertezas sobre la posibilidad de alcanzar la reducción suficiente de emisiones, en este se describen escenarios futuros de aumento de la temperatura, de cambio de régimen de lluvias, entre otros, en función de las emisiones de gases efecto invernadero proyectadas. La Tabla 1 presenta los escenarios en los que se relacionan el aumento de temperatura y de precipitación:

Tabla 1 - Categorías de escenarios de calentamiento global, según AR6 y aumento de precipitación IPCC
Fuente: Adaptada de (Arango-Díaz et al., 2022)

Escenario	Descripción	Alineado con SRES	Alineado con SSP	Cambio de la temperatura media global °C		Cambio en la precipitación (%)
				Pico de calentamiento	Año 2100	Datos P25/P75 - Año 2081-2100
C3a	Limitando el calentamiento a 2°C empezando acciones al 2020		SSP1-2,6	1,7	1,6	3,7 / 6,8
C6	Limitando el calentamiento a 3 °C (>50%)		SSP2-4,5	la temperatura no alcanza su punto máximo en 2100	2,7	5,0 / 10,1
C7	Limitando el calentamiento a 4 °C (>50%)	A2	SSP3-7		3,5	4,4 / **12,2**
C8	Exceder el calentamiento de 4 °C (>50%)	A1	SSP5-8,5		4,2	7,9 / 16,8

Desde el punto de vista del diseño y rediseño de espacios públicos en los que se considere la variabilidad del cambio climático para la mitigación y adaptación, varias investigaciones han señalado, entre otras, la necesidad de incluir dispositivos de sombra urbana o árboles que favorezcan la habitabilidad de las personas, reduzcan la posibilidad de generación de islas de calor, al tiempo que absorban CO2 así como también se ha llamado la atención sobre la necesidad de usar pisos permeables para disminuir temperatura superficial y favorecer filtración.

Se evidencia que la reforestación en espacios urbanos así como el control de la materialidad de los pisos son estrategias para favorecer la habitabilidad y evitar las islas de calor urbano. Sin embargo, frente al aumento generalizado de regímenes de lluvia en el territorio colombiano, parece importante también evitar la generación de charcos o inundaciones. Por tanto, la importancia de esta investigación radica en la necesidad de revisar, a nivel urbano, el balance de estrategias encaminadas a optimizar la sombra urbana con árboles y de estrategias para favorecer la evaporación del agua lluvia y la absorción de agua en pisos.

2. OBJETIVO

El objetivo de esta investigación es proponer un método para la valoración de la sombra vegetal en el contexto urbano de acuerdo con su densidad, según el análisis simultáneo entre el desempeño térmico y la capacidad de evaporación de agua en las superficies de pisos duro y blando.

3. METODO

Para la realización de la investigación fueron realizadas simulaciones computacionales de secciones de espacios urbanos hipotéticos localizados en Cali, Colombia (3°27′00″N, 76°32′00″O, 990 M.S.N.M.). Las secciones de espacios urbanos consideraron diferentes tipos de árboles, como se puede ver en la Figura 1, y dos tipos de piso. Para las simulaciones fueron utilizados archivos climáticos generados en *Meteonorm*. Los resultados de las simulaciones fueron analizados según el porcentaje de tiempo en zona de confort que se alcanzaría en esos espacios urbanos hipotéticos y según la capacidad de mantener pisos secos para favorecer la habitabilidad de las personas.

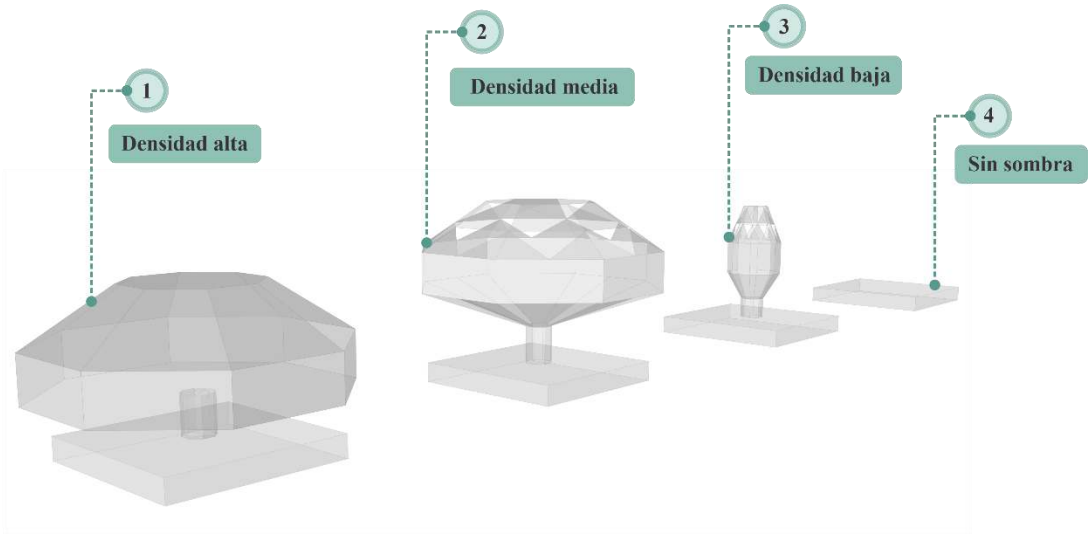


Figura 1 – Tipos de árboles evaluados. Fuente: elaboración de los autores

3.1. Tipos de densidad de sombra vegetal

Para el análisis de la sombra vegetal en el diseño urbano y su influencia en el estado de las superficies de piso, se consideraron tres (3) tipos de densidades de sombra de árboles y un escenario adicional sin sombra. Este último se propone con la intención de evaluar el estado de una superficie que se encuentra completamente expuesta a la radiación solar en un ambiente determinado, en comparación a una superficie que recibe diferentes tipos de sombra.

Los árboles se modelaron en el software *Rhinoceros 3D*, basados en una caracterización ambiental que relaciona el tipo se densidad de sombra con especies arbóreas existentes en Colombia. De acuerdo con este análisis, los modelos de sombra variaron según: la geometría del árbol, el tamaño y grado de porosidad de la copa, y la altura del árbol.

Los tipos de densidades (alta, media o baja) se determinaron según la cantidad de horas de protección a la radiación solar directa. Utilizando el software *Andrew Marsh* y la aplicación web *Dynamic Overshadowing*. Se identificó en un punto de la superficie de análisis el número de horas al día en que el espacio tendría sombra los diferentes meses del año; como se muestra en la figura 2. Se definieron así, los cuatro (4) escenarios según los tipos de árboles:

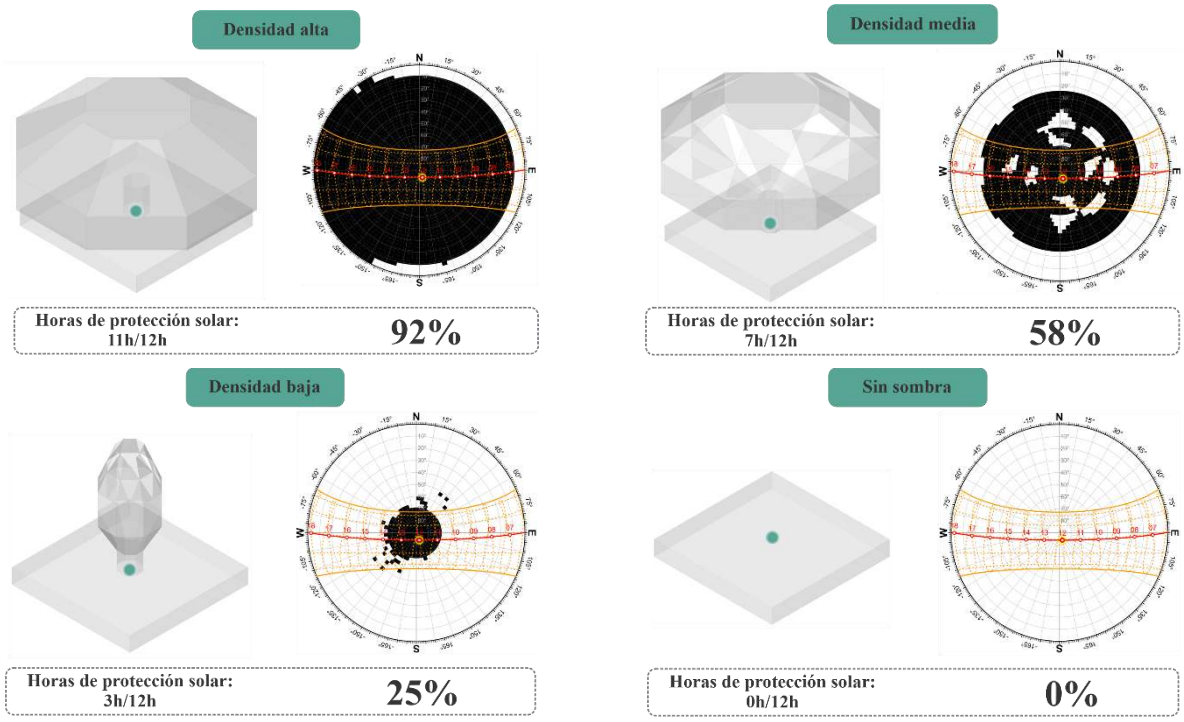


Figura 2 – Tipos de árboles evaluados y horas de protección solar. Fuente: elaboración de los autores

Estos escenarios se compararon con la clasificación de los tipos de cielo que realiza El *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM) para la verificación de la nubosidad. Esta verificación tiene por objetivo comprobar que los valores consignados en el Diario de observaciones correspondan a tres (3) categorías: la categoría 1 corresponde a *cielo despejado o ligeramente cubierto* (0 a 2 octas) comparado con los escenarios sin sombra y de densidad baja; la categoría 2 *cielo parcialmente cubierto* (3 a 6 octas) se compara con el escenario de densidad media; y la categoría 3 *cielo cubierto* (7 y 8 octas), se compara con el escenario de densidad alta. (IDEAM, 2021).

Este análisis permite relacionar los escenarios de la investigación, con la clasificación que realiza el IDEAM para el control de la calidad de los datos meteorológicos en la pre-verificación, captura y verificación. Además, el grado de nubosidad es un factor determinante para el paso de la radiación solar o no, asimismo el tipo de densidad de sombra vegetal será una barrera que mitigará o impedirá el paso de radiación solar a la superficie de piso.

3.2. Análisis potencial de intercepción de agua por la copa del árbol

Adicional al análisis del porcentaje de radiación solar que llega a la superficie de piso, se analiza la capacidad que tiene la copa del árbol de impedir el paso de un porcentaje de agua. Incluso, recientes investigaciones analizan el impacto hidrológico en diversidad de árboles urbanos: el dosel puede interceptar y almacenar la lluvia, retrasando o disminuyendo el volumen disponible para la caída y así la cantidad de escorrentía (SELBIG et al., 2022). De acuerdo con esto, se incorpora un porcentaje de agua que retienen las copas de los árboles, en cada uno de los escenarios como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2 – Porcentaje de agua interceptada por la copa del árbol según escenarios

Escenario	Porcentaje de agua retenida en la copa del árbol
Densidad alta	40%
Densidad media	20%
Densidad baja	5%
Sin sombra	0%

Fuente: elaboración de los autores

3.3. Tipos de superficies de piso

En conjunto con los escenarios de diferentes tipos de sombreamiento urbano, se evaluaron las superficies de piso; con la intención de analizar el desempeño térmico y la retención de agua en las superficies en función del material. Considerando que el suelo, según su composición, permite diferentes niveles de infiltración de agua, se quiere evidenciar cual sería la configuración más favorable para evitar la retención de agua y alcanzar una menor temperatura en escenarios de cambio climático.

En el *Anexo No.1 de la Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*, que tiene como uno de sus propósitos, incentivar buenas prácticas en el sector de la construcción para mitigar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad urbana en Colombia; recomienda la reducción de superficies impermeables para evitar el aumento de escorrentía (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2013). En el capítulo de recolección de aguas lluvias y reutilización, se especifican los *coeficientes de escorrentía* en función del material. De acuerdo con esta información se seleccionaron los dos tipos de materiales, categorizados como piso duro y piso blando, para evaluar su comportamiento en función del desempeño térmico y la capacidad de infiltración del agua.

Para la superficie de piso duro, se seleccionó el **Pavimento (**Concreto, Asfalto**)** con un coeficiente de escorrentía entre 90% a 100%; es decir, que este tipo de material del piso puede tener entre **0%** a **10%** de infiltración de agua. De acuerdo con esto, en los escenarios evaluados con este piso no se consideró infiltración.

Para los escenarios con superficie de piso blando, se consideró el **Suelo con vegetación**, que cuenta con un coeficiente de escorrentía del 10% a 60%; es decir, que puede infiltrar hasta un **40%** del agua. Como se puede ver la Tabla 3:

Tabla 3 – Porcentaje de infiltración de agua según el tipo de piso.

Escenario	Material	Porcentaje de infiltración de agua
Piso duro	Pavimento (Concreto, Asfalto)	0%
Piso blando	Suelo con vegetación	40%

Fuente: elaboración de los autores

3.4. Archivos climáticos ciudad de Cali:

Los archivos climáticos disponibles actualmente no son adecuados para prever las posibles condiciones climáticas a las que se enfrentarán los edificios en el futuro. Por lo tanto, es importante modificarlos con las tendencias de cambio climático para evaluar las condiciones de habitabilidad en escenarios futuros (YASSAGHI; MOSTAFAVI; HOQUE, 2019). Inicialmente se obtuvo un período de línea base, en el programa Meteonorm7 para el período de 1961-1990 para la ciudad de Cali. Con este se creó el archivo climático a largo plazo para el año 2080, basados en el escenario A2 de los escenarios SRES del IPCC. En la tabla 1 se pueden ver las equivalencias a los grupos de escenarios.

Dado que los archivos climáticos disponibles para los escenarios futuros no incorporan variaciones en la radiación solar, y esta variación afecta directamente el cálculo de la evaporación de agua en las superficies de piso, se consideró la misma radiación para el escenario actual y el escenario 2080; puesto que existen diversas posturas con respecto al aumento o disminución de la radiación en escenarios de cambio climático.

Frente a este panorama, una de las perspectivas frente a la variación de la radiación, presenta que el cambio climático relacionado con los gases de efecto invernadero, puede causar tanto el agotamiento del ozono estratosférico como la disminución de la nubosidad. Como resultado, más radiación solar llegará a la superficie de la tierra (JOARDER et al., 2009). Sin embargo esto puede depender de las acciones deliberadas de la población para mitigar los efectos del cambio climático.

De acuerdo con los análisis anteriores, se presenta la Figura 3 con el promedio de temperatura anual (°C) en Cali, en el escenario actual y 2080, evidenciando que puede alcanzar temperatura superiores a los 35°C en escenarios futuros. Además se presenta la radiación global horizontal (Wh/m2) utilizada para el escenario actual y 2080. Estos datos fueron utilizados posteriormente para el análisis de desempeño térmico y capacidad de evaporación según los tipos de densidad de sombra y superficies de piso.

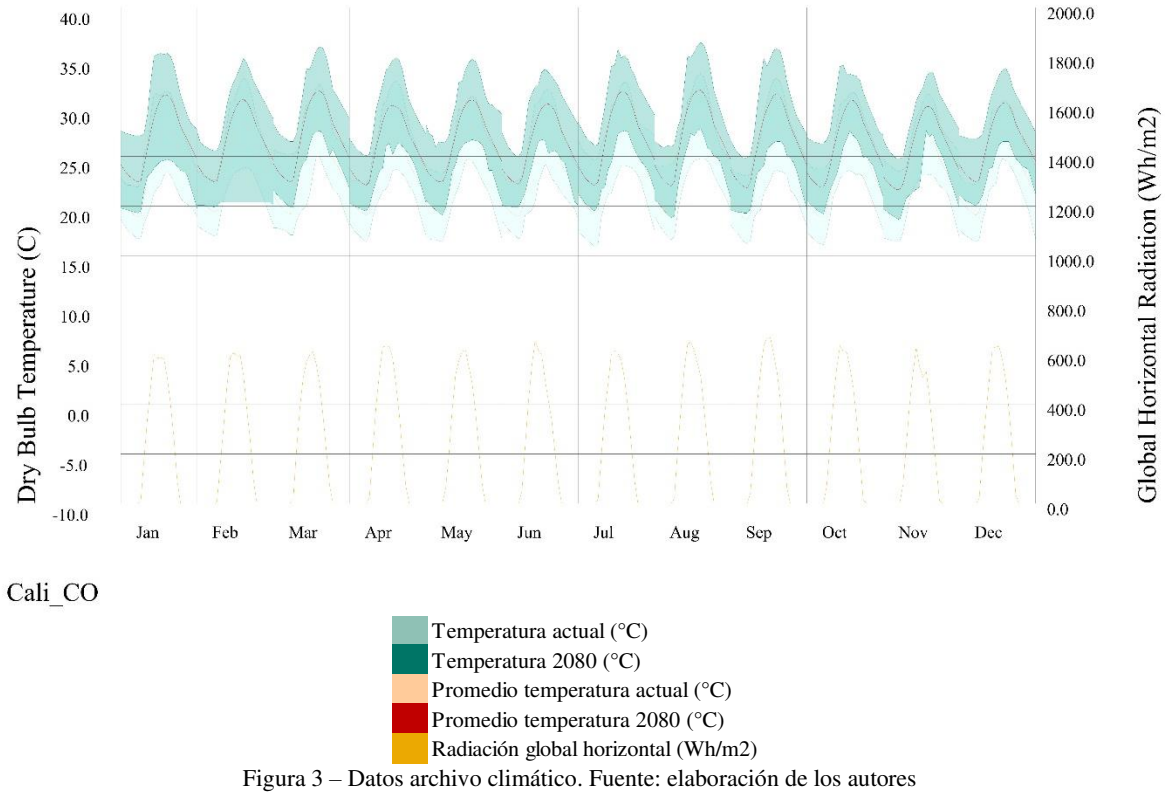


Figura 3 – Datos archivo climático. Fuente: elaboración de los autores

Para extraer los datos de precipitación actual, se realizó un promedio diario de los últimos seis años (6) años (2017-2022) con los datos almacenados de la estación meteorológica *Universidad del Valle* (código de la estación: 26055120) ubicada en 3°22'32.1"N 76°32'03.7"W. Esta información fue encontrada en el Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos – DHIME, un portal que permite el acceso a diferentes herramientas y geoinformación del *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM). Para identificar la precipitación en escenarios futuros, para el año 2080, de acuerdo con el escenario SSP3-7 de IPCC, se seleccionó el P75 del escenario a largo plazo (2081-2100) correspondiente al 12,2. De acuerdo con este escenario, los resultados de la precipitación actual se aumentaron en un **12%**. Este un valor de referencia frente a los diferentes valores que pueden variar en los escenarios de cambio climático.

3.5. Escenarios preliminares evaluados

De acuerdo con los análisis anteriores, se especifican los dieciséis (16) escenarios evaluados:

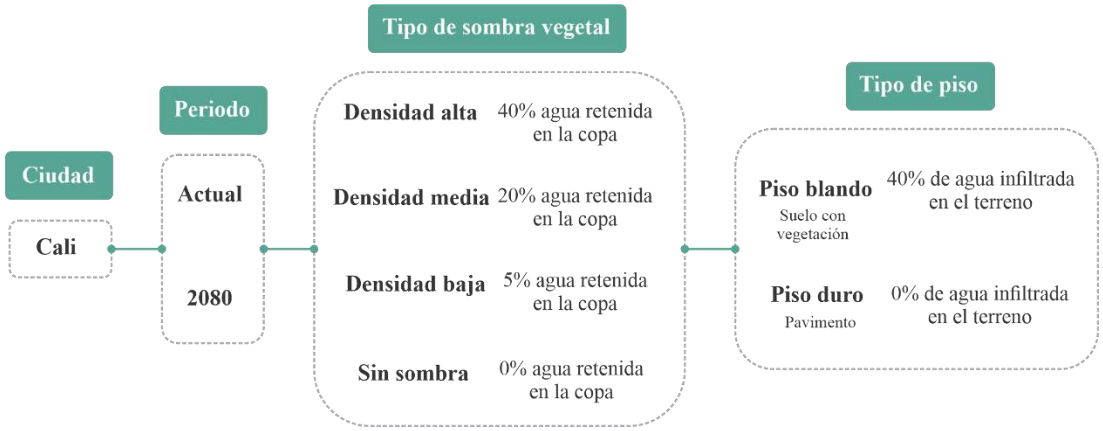


Figura 4 – Escenarios evaluados. Fuente: elaboración de los autores

3.6. Análisis desempeño térmico (°C) y de radiación global horizontal

Se modelaron los tipos de árboles utilizando el software *Rhinoceros 3D* y se realizaron las simulaciones con el plugin *Grasshopper*; este programa permitió ajustar las características y propiedades de los modelos digitales para evaluar las correlaciones entre el tipo de sombreamiento y el tipo de piso. Para el desarrollo de la investigación era necesario obtener los datos de radiación global horizontal, temperatura del aire y temperatura radiante. La fórmula implementada para el cálculo de la evaporación requiere de los datos de temperatura del aire (°C) y radiación global horizontal (Wh/m2), este dato variaba según el tipo de densidad de sombra.

El proceso de la simulación computacional para adquirir los datos de radiación global horizontal, temperatura del aire y temperatura radiante, se realizaron en dos (2) etapas:

En la primera etapa se realizaron simulaciones de radiación utilizando el algoritmo de *Radiation* de la página de *Hydra*, para ello, se utilizó el *plugin Ladybug*. La malla de análisis fue de 0.5m de distancia y 1.00m de altura. De allí se extrajo información para el cálculo posterior de evaporación.

En el caso de los datos para el análisis del desempeño térmico, se utilizó el algoritmo *Trees in Outdoor Thermal Comfort* modificado, para la obtención de datos de temperatura del aire y temperatura radiante. Los datos de temperatura del aire se utilizaron para el cálculo de la evaporación y posteriormente, los datos resultantes de temperatura radiante y temperatura del aire se promediaron, obteniendo así la temperatura operativa. En la Tabla 4, se indica la zona de confort adaptativa en los periodos evaluados, zona que establece la base de análisis para identificar los días en que se encuentra el escenario evaluado en la zona de confort.

Tabla 4 - Zona de confort adaptativa para Cali en escenarios A2 actual y largo plazo

Cali			
Período de tiempo	**Promedio anual**	**Confort**	**Temperatura (°C)**
Actual	**23,4**	Confort 90+	27,6
		Confort	25,1
		Confort 90-	22,6
2080	**26,4**	Confort 90+	28,5
		Confort	26,0
		Confort 90-	23,5

Fuente: elaboración de los autores

3.7. Análisis de evaporación

Para el cálculo de la evaporación de agua relacionado con el espacio público, se resuelve aplicando la fórmula de Turc modificada calcula la evaporación real (mm/año), mediante la ecuación:

$$ETP = K [T / T + 15] (RG + 50) \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:
ETP = Evapotranspiración potencial mensual, en mm.
K = 0.40 para los meses de 30 y 31 días
K = 0.37 para el mes de febrero
K = 0.13 para un período de 10 días
T = Temperatura media mensual, en %
RG = Radiación global, en cal/cm2/día

Se tiene en cuenta la conversión para tener datos de evaporación diarios durante todo el año, que corresponda con la variación de temperatura media del ambiente en °C y la radiación media horizontal.

Se rescata de esta fórmula y se aplica para la investigación, por la posibilidad de obtener todos los datos y que estos se puedan ajustar según los resultados provenientes de la simulación.

3.8. Cálculo agua total (mm/día):

Para el cálculo del agua total, se restan los valores escenarios analizados anteriormente, correspondientes al agua que queda en la copa de los árboles y según el escenario de piso blando, a la precipitación total. Adicional a este, se resta el cálculo de la evaporación resultante de la fórmula. Este cálculo se realiza para el escenario actual y futuro.

3.9. Análisis de resultados

Los resultados se analizaron en dos (2) etapas. En la primera etapa se realiza un comparativo entre la temperatura operativa y el agua total en los escenarios evaluados, por medio de un *diagrama de dispersión*. En este diagrama se indican, para el análisis del desempeño térmico, los datos que se encuentran dentro del rango de temperatura de confort (según el confort adaptativo).

En la segunda etapa se analizan los porcentajes de tiempo en confort y porcentajes de tiempo seco o mojado.

4. RESULTADOS

A continuación se presenta un diagrama de dispersión comparando el desempeño térmico y el agua total para cada tipo de árbol según la densidad.

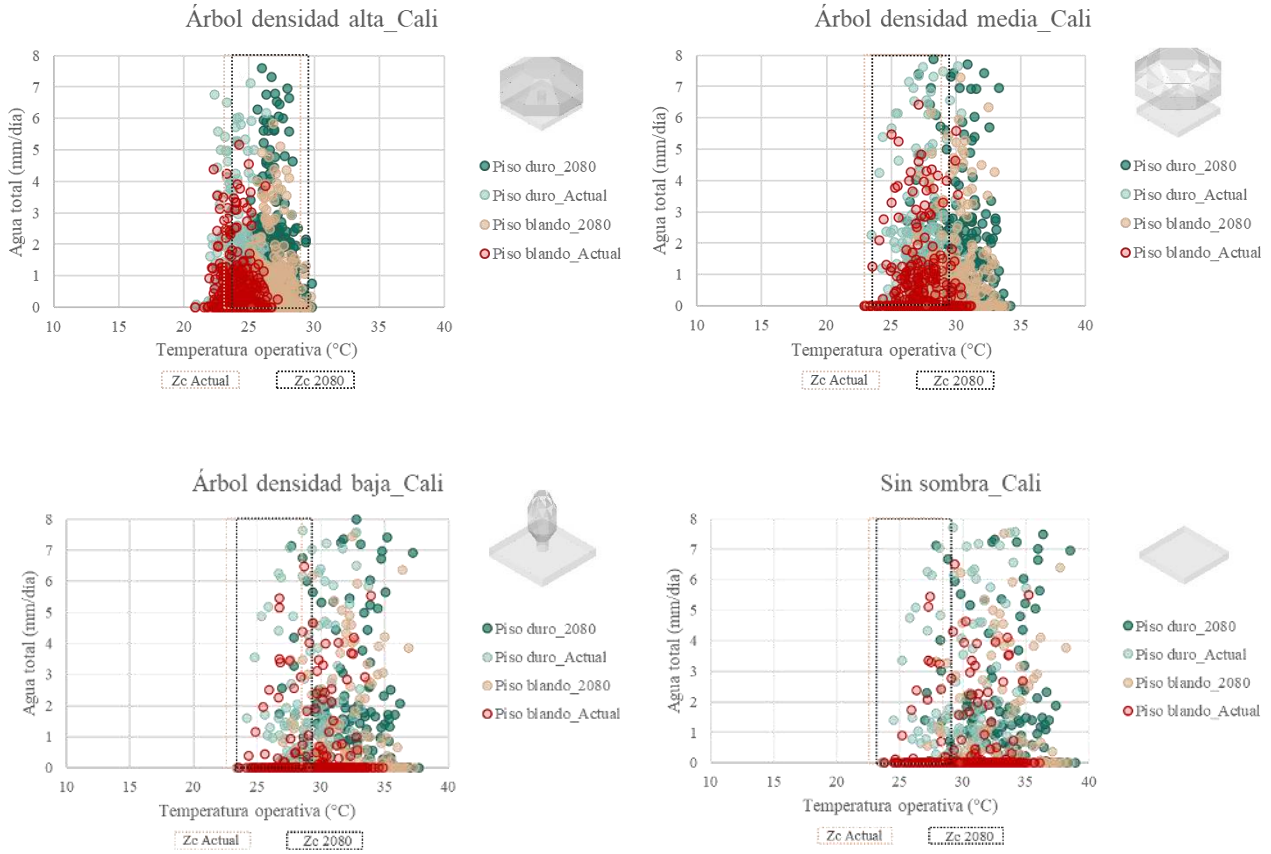


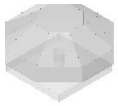
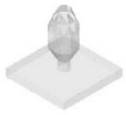
Figura 5 – Resultados Diagrama de dispersión. Fuente: elaboración de los autores

De los cuatro escenarios, el árbol de alta densidad es el que mayor porcentaje de días se encuentra dentro de la zona de confort. Sin embargo, su distribución predominante en el eje vertical indica que gran parte de estos días las superficies se encontrarán mojadas. Como se podría deducir, a medida que va disminuyendo la densidad de sombra del árbol, va disminuyendo la cantidad de agua total sobre la superficie en una relación inversa con la temperatura.

Como se observa en la Tabla 5, la cual resume los resultados porcentuales por periodo, tipo de piso y tipo de árbol, de acuerdo con los periodos de cambio climático evaluados, las variaciones del resultado de agua total no presentan cambios significativos entre dichos periodos, sumándole peso a la variable del desempeño térmico frente al fenómeno del cambio climático. Caso contrario a la diferencia entre piso blando y duro, en la que se observa una disminución considerable y persistente en los escenarios de piso blando para cualquier año evaluado. En relación con el desempeño térmico, la situación es totalmente opuesta, las variaciones en este se deben únicamente al cambio de periodo evaluado, pues el tipo de piso no tiene una incidencia considerable en este.

Si bien el objetivo de la investigación era proponer un método de análisis, de acuerdo con los resultados obtenidos, se podría prever, que el árbol con densidad alta sobre superficies blandas es el que mayor porcentaje de tiempo en confort arroja con un porcentaje de tiempo seco representativo dentro de los resultados obtenidos.

Tabla 5 – Porcentaje de agua interceptada por la copa del árbol según escenarios

Cali						
Escenario evaluado		**Actual**		**2080**		**Modelo**
Árbol densidad alta		**Piso blando**	**Piso duro**	**Piso blando**	**Piso duro**	
Temperatura operativa	Arriba confort (%)	23%	24%	34%	34%	
	Confort (%)	37%	36%	45%	44%	
	Abajo confort (%)	40%	40%	21%	22%	
Agua total	Seco (%)	67%	49%	63%	46%	
	Mojado (%)	33%	51%	37%	54%	
Árbol densidad media		**Piso blando**	**Piso duro**	**Piso blando**	**Piso duro**	
Temperatura operativa	Arriba confort (%)	39%	39%	46%	45%	
	Confort (%)	28%	26%	36%	35%	
	Abajo confort (%)	33%	35%	18%	20%	
Agua total	Seco (%)	72%	56%	69%	55%	
	Mojado (%)	28%	44%	31%	45%	
Árbol densidad baja		**Piso blando**	**Piso duro**	**Piso blando**	**Piso duro**	
Temperatura operativa	Arriba confort (%)	42%	42%	49%	47%	
	Confort (%)	28%	26%	35%	34%	
	Abajo confort (%)	31%	33%	16%	19%	
Agua total	Seco (%)	88%	73%	85%	71%	
	Mojado (%)	12%	27%	15%	29%	
Sin sombra		**Piso blando**	**Piso duro**	**Piso blando**	**Piso duro**	
Temperatura operativa	Arriba confort (%)	43%	43%	50%	48%	
	Confort (%)	27%	25%	34%	33%	
	Abajo confort (%)	29%	32%	16%	19%	
Agua total	Seco (%)	89%	76%	88%	73%	
	Mojado (%)	11%	24%	12%	27%	

Fuente: elaboración de los autores

5. CONCLUSIONES

Considerando la hipótesis con la que nace esta investigación, se podría concluir para las variables consideradas lo siguiente; en primer lugar, se comprueba que entre mayor radiación sobre la superficie de piso, menos cantidad de agua se presenta.

En segundo lugar, se afirma la hipótesis de que entre menor área cubierta se obtendrían mayores temperaturas, situación desfavorable para el confort térmico. Fortaleciendo la idea del antagonismo que puede existir entre el desempeño térmico y la evaporación de agua en las superficies de piso, en la que es evidente que si se quiere obtener confort térmico, se dificultará garantizar un piso seco.

En tercer lugar, contrario a lo que se preveía, la implementación de un piso blando o un piso duro no generó efectos considerables en la temperatura operativa entre los periodos evaluados, por ende, no genera ningún efecto en el confort térmico a la luz del cambio climático.

En cuarto lugar, se logró evidenciar que es posible generar nuevos criterios para aplicar una de las estrategias más recurrentes en la mitigación del cambio climático: el aumento de sombra vegetal.

Finalmente, no se obtiene un escenario ideal en el que se presente un porcentaje de tiempo de la superficie seca y de tiempo de confort térmico, de forma simultánea, mayor a la media de los resultados obtenidos. Es por esto, que este método se propone como una herramienta que permitirá diseñar o proponer opciones de mejora para los espacios públicos, considerando el balance que se quiere lograr entre las dos variables analizadas, en escenarios actuales y futuros.

5.1. Futuras investigaciones

Para futuras investigaciones se deberían evaluar las configuraciones propuestas relacionándolas con las piezas urbanas típicas, permitiendo que se considere la variable del uso y carácter de éstas. Posibilitando que esta variable pueda servir de pauta para la definición de la sombra vegetal de acuerdo con el balance entre el confort térmico y la cantidad de agua en la superficies de piso.

Se entiende que este análisis es aplicable para la ciudad de Cali y ciudades con condiciones micro climáticas similares a esta. Es por esto, que esta investigación invita a realizar análisis similares en otras ciudades y que sus resultados puedan ser replicables en lineamientos y normativas con estimaciones previas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

IDEAM. **MANUAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS EN LAPREVERIFICACION, CAPTURA Y VERIFICACIÓN**. Bogotá: [s.n.].

JOARDER, A. et al. **The changing perspective of daylight design to face the challenge of climate change**. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/48354707.

MINISTERIO DE VIVIENDA, C. Y T. **Anexo Técnico Código de construcción sostenible en Colombia Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones**. [s.l: s.n.].

SELBIG, W. R. et al. **Quantifying the stormwater runoff volume reduction benefits of urban street tree canopy**. **Science of the Total Environment**, 2022.

YASSAGHI, H.; MOSTAFAVI, N.; HOQUE, S. Evaluation of current and future hourly weather data intended for building designs: A Philadelphia case study. **Energy and Buildings**, v. 199, p. 491–511, 15 set. 2019.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de San Buenaventura Medellín por posibilitar la realización de la investigación.