



**ELABORACIÓN DE UN MAPA DE SOMBRAS PARA LA COMUNIDAD
ESTUDIANTIL DE LA UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR EN LA CIUDAD DE
BARRANQUILLA.**

AUTORES

Luis Bolívar Anillo

Duban Diaz Barreto

Corporación Universitaria Reformada

**Facultad de Ingeniería Ambiental por ciclos propedéuticos de tecnología en
desarrollo ambiental y sostenible**

Barranquilla-Atlántico

2024

**ELABORACIÓN DE UN MAPA DE SOMBRAS PARA LA COMUNIDAD
ESTUDIANTIL DE LA UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR EN
LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.**

AUTORES

Luis Bolívar Anillo

Duban Diaz Barreto

Investigación presentada como requisito para optar por el título de **Ingeniero
Ambiental.**

Tutora:

Barbara guerrero silva

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla– Atlántico

2024

Contenido

Contenido	3
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Planteamiento del problema	10
Justificación	13
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Hipótesis	16
Variables del estudio	16
Variables Independientes	16
Radiación Solar	17
Variables Dependientes	17
Temperatura Ambiental	17
Zonas de Mitigación Climática	18
Marco Referencial	18
Antecedentes	18
Mapas de sombra	30
Islas de calor urbanas	31
Zonas de mitigación climática	32
Confort térmico	32
Planificación urbana sostenible	33
Resiliencia climática	34
Marco Legal	34

	4
Sistema Nacional Ambiental en Colombia: Ley 99 de 1993	35
Plan Nacional de Desarrollo	35
Lineamientos legales internacionales	36
Acuerdo de Paris	36
Objetivos de Desarrollo Sostenible y La Agenda 2030	36
Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030)	37
Metodología	37
Tipo de investigación	37
Enfoque	38
Método	38
Técnicas	39
Área de estudio	39
Determinación de Rutas Peatonales	41
Elaboración de ortofotos de alta resolución	41
Medición de humedad y temperatura en las rutas	42
Determinación de especies vegetales	42
Medición directa:	42
Observación sistemática:	43
Análisis geoespacial:	43
Resultado Y Discusión	43
Rutas Peatonales (áreas sombreadas)	43
Humedad y Temperatura a lo Largo de las Rutas	46
Numero de árboles en las diferentes rutas	47
Discusión	49
Conclusiones	53
Referencias	55

Resumen

El estudio se centra en el diseño de ciudades sostenibles y habitables, específicamente abordando el efecto "isla de calor" en el barrio El Prado de Barranquilla, Colombia. Se destaca la necesidad de infraestructuras verdes para mitigar el calor urbano y mejorar la calidad de vida. Utilizando imágenes tomadas por drones, se analizó la distribución de sombra en diversas rutas peatonales para identificar áreas de confort térmico para peatones. Los resultados sugieren que identificación de zonas con sombra natural y/o artificial puede mejorar significativamente el confort térmico de los peatones. Se proponen recomendaciones para la planificación urbana que promuevan entornos más confortables y saludables, y se subraya la importancia de la cobertura de sombra para reducir el riesgo de problemas de salud derivados de la exposición prolongada al calor.

Palabras Claves: Isla de calor, Infraestructuras verdes, Confort térmico, Sombra, Planificación Urbano Sostenible.

Abstract

The study focuses on the design of sustainable and livable cities, specifically addressing the "urban heat island" effect in the El Prado neighborhood of Barranquilla, Colombia. It highlights the need for green infrastructure to mitigate urban heat and improve quality of life. Using drones, the distribution of shade in various pedestrian routes was analyzed to identify areas with different levels of solar exposure. The results suggest that incorporating natural and artificial shade can significantly improve pedestrian thermal comfort.

Recommendations are proposed for urban planning to promote more comfortable and healthier environments, emphasizing the importance of shade coverage to reduce the risk of health issues resulting from prolonged heat exposure.

Keywords: Urban heat island, Green infrastructure, Thermal comfort, Shadow, Sustainable urban planning.

Introducción

El diseño de ciudades sostenibles y habitables (Borja, 2021) sostiene que una ciudad sostenible y habitable debe ofrecer condiciones que permitan una vida saludable, accesible y con calidad de vida para todos los ciudadanos haciendo hincapié en la equidad y el acceso a servicios esenciales. Borja destaca la importancia de la planificación urbana que priorice tanto el bienestar humano como el equilibrio ecológico. En consecuencia, en áreas de altas temperaturas se requiere de enfoques que aborden el efecto "isla de calor", un fenómeno en el que las áreas urbanas retienen más calor que las rurales debido a la presencia de superficies impermeables como edificios y pavimentos. Para mitigar este efecto, el uso de infraestructuras verdes y elementos naturales se ha demostrado fundamental, pues los espacios verdes no solo ayudan a bajar la temperatura, sino que también mejoran la calidad del aire y la habitabilidad urbana, ofreciendo un ambiente más saludable y seguro para los residentes (Mut, 2024). Además, incorporar techos verdes, fachadas vegetales y superficies reflectantes puede reducir la acumulación de calor y aumentar el confort térmico de los espacios públicos, incentivando su uso seguro y continuo por parte de la comunidad (Banco Interamericano de Desarrollo, 2024). Barranquilla, ciudad ubicada en la costa norte de Colombia, experimenta temperaturas promedio de 30°C durante gran parte del año, con sensaciones térmicas que pueden superar los 35°C, lo cual afecta la comodidad y la movilidad de los peatones (IDEAM, 2023).

El aumento de la temperatura y la radiación solar en entornos urbanos es un desafío creciente para la movilidad peatonal, especialmente en áreas con alta densidad de actividad como zonas comerciales y universitarias. Esto genera un ambiente incómodo y a menudo peligroso para los transeúntes, quienes son más vulnerables a los efectos de las olas de calor y la exposición solar prolongada. Según investigaciones, la implementación de sistemas urbanos verdes (como árboles y fachadas vegetales) puede mitigar parcialmente los efectos del calor, mejorando el confort térmico de los peatones. En particular, los árboles, al proporcionar sombra, son efectivos para reducir la temperatura en las calles y fomentar un mayor confort térmico en climas cálidos (Taher, et al. 2024).

Sin embargo, la falta de planificación adecuada, como la escasez de áreas verdes y la presencia de superficies que absorben el calor, limita la calidad de vida y reduce la accesibilidad a los espacios públicos. La planificación orientada al peatón, que considere la sombra natural y superficies de pavimento reflectante, puede mejorar significativamente la experiencia urbana, haciendo que los ciudadanos estén más dispuestos a caminar y aprovechar los espacios públicos.

Estudios han demostrado que la sombra, ya sea natural (árboles y vegetación) o artificial (estructuras urbanas), juega un papel esencial en la reducción del estrés térmico y en la mejora de la habitabilidad urbana, especialmente en climas cálidos. La presencia de sombra en las ciudades reduce la sensación térmica percibida, facilitando una movilidad peatonal cómoda y segura. En ciudades calurosas y con escasa vegetación urbana, como Barranquilla, es fundamental mapear las zonas de sombra para planificar estrategias de mitigación del calor en áreas concurridas. Como señala SmithGroup (2019), las ciudades de todo el mundo continúan creciendo, haciéndose más grandes, más calientes y más

congestionadas. Este contraste entre espacios expuestos y zonas con sombra subraya la importancia de mejorar la infraestructura verde para optimizar el confort térmico urbano.

Por otro lado, la implementación de drones ha facilitado este proceso de mapeo al proporcionar datos precisos en tiempo real sobre temperaturas superficiales y niveles de radiación solar. Esta tecnología permite identificar áreas prioritarias donde se requiere mejorar la cobertura de sombra, lo que contribuye a una movilidad más segura y confortable en ciudades afectadas por el efecto de isla de calor urbano. Iniciativas como la de SmithGroup (2029) han utilizado drones equipados con cámaras térmicas para documentar cómo los proyectos de diseño urbano pueden reducir el impacto térmico, apoyando así en la planificación y ejecución de estrategias de adaptación climática en espacios urbanos.

Este estudio se enfoca en el barrio El Prado, una zona de Barranquilla caracterizada por un flujo constante de peatones. La combinación de sombra natural y artificial en las rutas peatonales de este barrio ofrece un contexto ideal para evaluar la relación entre la disponibilidad de sombra y el confort térmico. A través del uso de imágenes captadas por drones, se identificará y analizará la distribución de sombra en diferentes rutas, evaluando su relación con variables como la temperatura y la humedad relativa.

El objetivo de este trabajo es identificar rutas peatonales en el barrio El Prado que optimicen la movilidad mediante la maximización de la sombra disponible. Además, se busca proponer recomendaciones para la planificación urbana que contribuyan a crear entornos más confortables para los peatones, promoviendo así una infraestructura pública adaptada a las condiciones climáticas locales. Este estudio tiene implicaciones para la salud pública, al contribuir a la reducción del riesgo de problemas derivados de la exposición

prolongada al calor, como la deshidratación y el golpe de calor, especialmente en poblaciones vulnerables.

Este trabajo se estructura en cinco capítulos principales, organizados de manera que facilitan el desarrollo y comprensión del estudio. En primer lugar, se presenta una introducción general, que contextualiza sobre la estructura del estudio. A continuación, en el marco referencial, se profundiza en conceptos teóricos y estudios previos relacionados con la mitigación del calor en entornos urbanos y el impacto de la sombra en el bienestar de los peatones. El marco metodológico describe el enfoque de investigación, las técnicas y herramientas empleadas a lo largo de la investigación. Posteriormente, se exponen los resultados del análisis, mostrando las zonas de mayor y menor confort térmico, y sus implicaciones en la movilidad peatonal. Finalmente, en las conclusiones, se presentan recomendaciones para el diseño urbano y la planificación de zonas de sombra en Barranquilla, considerando tanto los hallazgos de la investigación como las implicaciones para futuros estudios en ciudades de clima cálido.

Planteamiento del problema

La creciente preocupación por el cambio climático ha impulsado la búsqueda de estrategias de mitigación que contrarresten sus efectos adversos, especialmente en áreas urbanas vulnerables donde el calor extremo y la pérdida de confort térmico afectan la salud pública y la calidad de vida de los habitantes (Sánchez, 2015). En este contexto, la elaboración de mapas de sombras se ha convertido en una herramienta fundamental en la planificación urbana sostenible. Estos mapas permiten analizar la distribución espacial de la radiación solar en áreas urbanas, revelando cómo el acceso a sombra y vegetación influye

en la temperatura ambiente y el consumo energético para enfriar los edificios, aspectos especialmente críticos en zonas tropicales como el Caribe colombiano (IDEAM, 2022).

A nivel mundial, el cambio climático se manifiesta en fenómenos como el aumento de las temperaturas, las alteraciones en los patrones de precipitación y la mayor frecuencia de eventos extremos, como olas de calor y tormentas intensas, en el informe, la Organización Meteorológica Mundial (2022) señala que el cambio climático está provocando un aumento de la frecuencia y la intensidad de fenómenos extremos, como olas de calor, incendios forestales, sequías, y alteraciones en los patrones de precipitación. En Colombia, estas tendencias son visibles en la región Caribe, donde las características climáticas y socioeconómicas incrementan la vulnerabilidad de las ciudades costeras ante el calentamiento global. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), “el Caribe colombiano es una de las regiones más vulnerables a los efectos del cambio climático, con un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como olas de calor y lluvias torrenciales” (IDEAM, 2022, p. 23). La ciudad de Barranquilla, en particular, enfrenta condiciones de alta exposición a la radiación solar y al calor, lo cual exacerba el fenómeno de las islas de calor urbanas y afecta la habitabilidad en sus áreas más densamente pobladas.

El fenómeno de las islas de calor urbanas, en el cual las áreas urbanas experimentan temperaturas notablemente más altas que las zonas rurales circundantes, se debe en gran medida a la absorción de calor por materiales como el asfalto y los edificios, junto con la escasez de vegetación que podría ayudar a regular las temperaturas. Este fenómeno no solo incrementa la demanda de energía para enfriamiento, sino que también contribuye al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, exacerbando así el cambio climático. Además, las emisiones urbanas, especialmente en ciudades densamente pobladas, son una

fuente importante de gases contaminantes como el CO₂, intensificando los efectos de calentamiento urbano y generando impactos sobre la calidad del aire y la salud pública (Fernández García, 2009). En un contexto de altas temperaturas, la calidad del aire también se ve afectada, ya que el calor extremo fomenta la formación de ozono troposférico, que tiene efectos perjudiciales sobre la salud respiratoria y cardiovascular, especialmente en niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

En particular, en la región del Caribe colombiano, los cambios de temperatura y el deterioro del confort térmico incrementan el riesgo de problemas de salud pública, dado que las altas temperaturas agravan enfermedades respiratorias y cardiovasculares y pueden reducir la calidad de vida en zonas urbanas de alta densidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2021). La ausencia de sombras en áreas como el barrio El Prado en Barranquilla dificulta aún más el desarrollo de actividades al aire libre, afectando el bienestar de los ciudadanos y el acceso a espacios públicos en la ciudad.

Ante estos desafíos, la elaboración de un mapa de sombras para el barrio El Prado se presenta como una estrategia eficaz para identificar zonas urbanas con mayor exposición a la radiación solar y diseñar soluciones que optimicen la distribución de sombras, tanto naturales como artificiales. Este enfoque permitirá evaluar cómo la sombra contribuye a la reducción de la temperatura y, en última instancia, a la mitigación del cambio climático en el entorno urbano (IDEAM, 2022). Además, este estudio puede servir de base para políticas públicas y estrategias de planificación urbana sostenibles que favorezcan el uso de sombras naturales y vegetación para moderar el clima urbano y mejorar el confort térmico.

La pregunta que guiará esta investigación es: **¿De qué manera la distribución de sombras en el barrio El Prado de Barranquilla impacta en la mitigación climática y**

cómo puede esta información contribuir a la planificación de un entorno urbano más resiliente?

Este planteamiento invita a una perspectiva interdisciplinaria que integre climatología, geografía urbana y ciencias ambientales. Un análisis detallado de las áreas con sombra permitirá implementar estrategias de adaptación y planificación urbana que contribuyan a la resiliencia de las comunidades locales ante el cambio climático en el presente y en el futuro, optimizando la calidad de vida en zonas urbanas vulnerables a las altas temperaturas.

Justificación

La presente investigación se fundamenta en la imperiosa necesidad de abordar de manera integral la problemática del cambio climático, focalizándose en los puntos críticos de calor en la ciudad de Barranquilla, específicamente en el barrio El Prado. Desde un enfoque teórico, este estudio se apoya en la comprensión de la interacción entre el cambio climático y las características del entorno urbano, particularmente en la manifestación de las "islas de calor", un problema exacerbado en áreas con alta densidad de edificaciones y pavimento, según el Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), el cambio climático inducido por actividades humanas ha elevado la frecuencia y severidad de las olas de calor desde la década de 1950, y las proyecciones indican que continuarán intensificándose con cada incremento de temperatura global. Esto afecta tanto al medio ambiente urbano como a la salud de sus habitantes, en especial de aquellos en situación de vulnerabilidad. Además, el efecto de "isla de calor" en las ciudades amplifica estos impactos, especialmente en

comunidades urbanas marginalizadas y en sectores con infraestructura clave expuesta al cambio climático (World Meteorological Organization, 2023).

La ciudad de Barranquilla no es ajena a esta realidad, esta investigación permitirá examinar cómo la variación de sombras influye en la temperatura ambiente, estableciendo así bases teóricas para el diseño de ciudades adaptadas a las condiciones climáticas actuales y futuras, promoviendo la resiliencia urbana y la mitigación de los efectos del cambio climático (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

A nivel práctico, este estudio responde a la necesidad de identificar y aplicar estrategias de adaptación climática en áreas urbanas específicas. La creación de un mapa de sombras para el barrio El Prado facilitará el análisis de la distribución de sombra en espacios públicos y privados, orientando intervenciones urbanísticas que disminuyan el impacto de las altas temperaturas y mejoren la calidad de vida de sus habitantes. Este enfoque no solo beneficia a la comunidad local, sino que también puede ser replicado en otras zonas urbanas del país, contribuyendo a la planificación de ciudades más sostenibles y adaptadas al cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2021). La elaboración de este mapa de sombras, generado mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y software de modelado climático, permitirá evaluar cómo la variación de la sombra en El Prado influye en la temperatura ambiente y la exposición al calor, proporcionando una base sólida para el desarrollo de estrategias efectivas de mitigación climática.

En el caso del barrio El Prado en Barranquilla, la aplicación de mapas de sombras tiene el potencial de transformar el entorno urbano, orientando la ubicación de espacios de recreación, áreas peatonales y zonas verdes. Esto no solo mejora la funcionalidad del espacio público, sino que también promueve el bienestar de los ciudadanos al proporcionar

refugio contra el calor extremo barrios como El Prado podrían beneficiarse de la creación de microclimas que aumenten el confort térmico y reduzcan la demanda energética para la refrigeración, aspectos clave en el diseño de ciudades sostenibles. (lopez, 2022)

En conclusión, los mapas de sombras son una herramienta esencial para el diseño urbano en ciudades tropicales, no solo desde una perspectiva de confort térmico, sino también como una estrategia integral para la sostenibilidad ambiental y la resiliencia climática. Estas representaciones visuales permiten a los ingenieros ambientales, urbanistas y tomadores de decisiones desarrollar ciudades que sean tanto más eficientes energéticamente como más habitables para sus habitantes, en sintonía con los principios de desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático.

Objetivos

La presente sección expone los objetivos de la investigación que guiarán el desarrollo del estudio titulado estos objetivos están orientados a estructurar y definir el alcance de la investigación desde un enfoque cuantitativo, estableciendo metas claras que permitan obtener resultados precisos y aplicables a la realidad del entorno urbano del barrio El Prado.

Objetivo General

Elaborar un mapa de sombras identificando áreas con diferentes niveles de exposición solar y sombreado en la comunidad estudiantil de la universidad Simón Bolívar en la ciudad de Barranquilla

Objetivos Específicos

- Establecer las condiciones de intensidad y dirección de la radiación solar en diferentes momentos del día en el barrio el prado.

- Identificar las áreas con mayor y menor incidencia de sombra natural y artificial en el barrio.
- Determinar las posibles zonas de mitigación climática en el barrio el Prado a través de un análisis de la relación entre la distribución de sombras y la temperatura ambiente.

Hipótesis

En este estudio se plantea la hipótesis de que la distribución de sombras en el barrio El Prado de Barranquilla, generada tanto por elementos naturales como por construcciones artificiales, tiene una correlación inversa con las temperaturas ambientales registradas. Esto sugiere que las áreas con mayor cobertura de sombra mantienen temperaturas más bajas, lo cual contribuye a mitigar el impacto climático local. Esta hipótesis se fundamenta en la premisa de que la radiación solar directa incrementa las temperaturas en áreas expuestas, mientras que las zonas sombreadas limitan este aumento, generando microclimas más frescos que pueden ser estratégicamente aprovechados en el diseño urbano para favorecer la sostenibilidad y adaptarse a los efectos del cambio climático (Mills, 2022; Salvati & Carlucci, 2021). Se espera que, mediante mediciones directas y análisis geoespaciales, los datos confirmen que la ampliación de sombras en áreas públicas puede ser una medida efectiva para la mitigación del calor urbano en ciudades cálidas como Barranquilla.

VARIABLES DEL ESTUDIO

Para el análisis cuantitativo y la elaboración del mapa de sombras en el barrio El Prado, se han identificado y clasificado las variables del estudio en dos categorías: **independientes** y **dependientes**. Estas variables permiten cuantificar y analizar los efectos de la cobertura

de sombras y la radiación solar sobre la temperatura ambiental, y también facilitan la identificación de zonas de mitigación climática en el área de estudio.

Variables Independientes

Cobertura de Sombras

Esta variable independiente se refiere a la extensión y densidad de las sombras generadas en el barrio El Prado, tanto por elementos naturales como árboles y vegetación, como por estructuras artificiales como edificios y otros tipos de construcciones. La medición se llevará a cabo a través de análisis geoespacial mediante el uso de imágenes satelitales y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permite cartografiar con precisión la distribución de sombras en diferentes horarios y temporadas del año. Se capturarán imágenes en horarios específicos (por ejemplo, a las 10:00 a.m. y 3:00 p.m.), y se empleará tecnología LiDAR para medir la altura y ubicación de los objetos generadores de sombra. Estos datos permitirán determinar la variación en la cantidad de sombra a lo largo del día, lo cual será fundamental para el análisis cuantitativo de su relación con la temperatura ambiental (Song et al., 2022).

Radiación Solar

La radiación solar, que impacta directamente la temperatura en áreas expuestas, es otra variable clave en este estudio. Para su medición, se colocarán piranómetros en puntos específicos del barrio que representan áreas sombreadas y no sombreadas. Estos dispositivos medirán la intensidad y dirección de la radiación solar en unidades de W/m^2 en intervalos de una hora, desde las 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m. Las mediciones en condiciones climáticas variadas (por ejemplo, con nubosidad y cielo despejado) permitirán

analizar el efecto de la radiación solar en el calentamiento de las superficies y su relación con la cobertura de sombras (Chen et al., 2021).

Variables Dependientes

Temperatura Ambiental

La temperatura ambiental será la variable dependiente principal de este estudio, y se medirá de forma simultánea a las mediciones de radiación solar y cobertura de sombras. Para obtener datos precisos, se instalarán termómetros digitales calibrados y protegidos de la radiación solar directa en los mismos puntos estratégicos donde se encuentren los piranómetros. La temperatura se registrará cada hora y se asociará con datos georreferenciados para correlacionarla con la cantidad de sombra y la radiación solar en el área específica. Se espera observar una disminución de la temperatura en zonas con mayor sombra en comparación con las áreas expuestas directamente al sol (Rossi et al., 2019).

Zonas de Mitigación Climática

Esta variable representa el resultado de combinar las variables independientes y dependientes, identificando áreas que demuestran una mayor efectividad en la reducción de temperatura gracias a su cobertura de sombra. Utilizando herramientas de mapeo y modelado geoespacial, se generarán mapas de calor para localizar y cuantificar las áreas donde la interacción de sombras y temperaturas registradas muestra una tendencia significativa a la reducción del calor urbano. Las áreas que presenten una reducción de al menos 2 °C en comparación con las zonas más expuestas serán clasificadas como zonas de mitigación climática y servirán como base para sugerencias de estrategias de urbanismo sostenible en el barrio.

Marco Referencial

Antecedentes

A continuación, se presentan diversos estudios nacionales e internacionales que complementan y enriquecen la investigación sobre el impacto de las sombras, la radiación solar y su relación con la temperatura en entornos urbanos. Estos estudios son relevantes para el análisis del impacto térmico en el barrio El Prado y aportan herramientas metodológicas y resultados clave que pueden ser aplicados al contexto específico del estudio.

Zuluaga, Londoño, Parra, Arango y Zalazar (2023) en su estudio titulado *El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor urbana en el Caribe colombiano* analizan la arborización como una posible solución para mitigar el fenómeno de la Isla de Calor Urbana (ICU), un problema generado por la alta densificación, el aumento de superficies impermeables y la falta de sombra en las ciudades, que se ve agravado por el cambio climático, especialmente en regiones con climas cálido-húmedos. En este estudio, se evaluó la efectividad de la arborización en la vía "Carrera 44" de Barranquilla, una zona altamente expuesta a la radiación solar. Utilizando simulaciones computacionales de temperatura operativa para los años 2020 y 2050, los investigadores compararon diversas opciones de sombra vegetal, demostrando que, si bien todas las intervenciones generaron una disminución de la temperatura operativa de hasta 3,7°C, ninguna fue suficiente para eliminar completamente la ICU. Este estudio contribuye al diseño de espacios públicos más sostenibles y resilientes en el Caribe colombiano, al proporcionar evidencia sobre cómo la arborización puede ser un componente clave en la

mitigación del calor urbano, aunque se requiere un enfoque más integral para abordar el fenómeno en su totalidad.

Aragón, Rodríguez, Varón y Sánchez (2020) en su trabajo titulado *Análisis de Islas de Calor por medio de Imágenes Satelitales y Sistemas de Información Geográficos en el Área Urbana de la Sabana de Bogotá*, exploran la aplicación de sensores remotos para la identificación de islas de calor urbano (ICU) en la región de la Sabana de Bogotá. Estas islas son responsables de fenómenos como el aumento de temperaturas extremas y efectos negativos en la salud humana, así como la dispersión de contaminantes. Los autores utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 proporcionadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), que abarcan un área de 170 x 183 km, junto con datos meteorológicos de estaciones oficiales. A través del procesamiento de las bandas espectrales 10, 4 y 5 de las imágenes satelitales, y la comparación de la temperatura superficial (LST) obtenida de los satélites con las mediciones de temperatura en estaciones meteorológicas, lograron generar mapas detallados de las islas de calor. Utilizando métodos estadísticos y herramientas como ArcGIS 10.3 y cokriging, se detectaron diferencias significativas en las temperaturas de zonas urbanizadas con más vegetación en comparación con áreas densamente urbanizadas. Este análisis es relevante para la investigación de la mitigación de las islas de calor, ya que demuestra la utilidad de las tecnologías satelitales y de GIS para mapear y comprender las dinámicas de temperatura en las áreas urbanas, lo cual puede ayudar a diseñar estrategias de mitigación efectivas.

En su investigación titulada *Asoleamiento y radiación solar en diferentes zonas geográficas del Valle de Aburrá*, Marín, Orozco, Villegas, Arango, Hernández y López (2023) exploran las variaciones climáticas que el relieve topográfico del Valle de Aburrá

genera a lo largo de su territorio y cómo estas no son siempre consideradas en los planes urbanísticos. El estudio tiene como objetivo analizar las diferencias de asoleamiento y radiación solar en distintas zonas, determinar los factores que afectan su variabilidad y proponer alternativas para mejorar las condiciones en áreas urbanas. Para ello, se seleccionaron y modelaron nueve manzanas en laderas y planicie en tres franjas del valle, realizando simulaciones computacionales para definir los microclimas en términos de asoleamiento y radiación. Los resultados muestran diferencias significativas entre las laderas oriental y occidental, y la planicie. La radiación solar en las vías varía según la orientación y el grado de arborización, y los municipios del sur tienen un mejor desempeño en la atenuación de la radiación. Se concluyó que los árboles en las vías y andenes reducen la radiación entre un 23% y un 55%, siendo más efectivos en las fachadas orientadas al poniente, particularmente en los municipios del sur del valle, donde la densidad de los sistemas de arborización es mayor. Este estudio refuerza la necesidad de implementar verdaderos sistemas verdes en el diseño urbano, con una variedad de especies distribuidas en corredores y espacios de estancia, con el fin de mejorar las condiciones higrotérmicas y hacer las ciudades más agradables.

En su estudio titulado *Metodologías de identificación de islas de calor urbanas y la influencia del arbolado urbano en su mitigación, un acercamiento desde el estado del arte*, Herrera (2023) aborda los retos ambientales que enfrentan las grandes ciudades del mundo debido al crecimiento urbano y el aumento de la población. La investigación se enfoca en el fenómeno de las Islas de Calor Urbanas (ICU), que se generan por la alta concentración de edificaciones y materiales como el hormigón, los cuales absorben el calor, combinado con la escasa vegetación arbórea. Este fenómeno se presenta también en Bogotá, donde el

Jardín Botánico José Celestino Mutis ha promovido esfuerzos para mitigar este efecto. El estudio recopila metodologías utilizadas desde 2010 para identificar las ICU, además de proponer nuevas metodologías de evaluación in situ. A través de la revisión documental, se concluye que las coberturas vegetales desempeñan un papel fundamental en la regulación de la temperatura urbana, siendo las características fisiológicas y estructurales de las especies clave para su efectividad. En Bogotá, más de la mitad de las especies arbóreas son introducidas, lo que resalta la importancia de seleccionar adecuadamente las especies para la mitigación del cambio climático. Además, se proponen tres metodologías para evaluar la influencia del arbolado en la atenuación de las ICU, que incluyen mediciones de temperatura, humedad y la tasa de transpiración de especies seleccionadas en dos localidades de la ciudad.

En su estudio *Mitigación de las Islas de Calor Urbanas mediante diseño residencial bioclimático* (2021), Hsintzy Huang Lin explora las soluciones basadas en el diseño bioclimático para mitigar las Islas de Calor Urbanas (ICU), un fenómeno cada vez más prevalente en áreas urbanas debido a la alta concentración de edificaciones y la escasa vegetación. Huang Lin destaca que las estrategias de diseño bioclimático pueden ser efectivas para reducir la temperatura ambiental en zonas urbanas al incorporar elementos como la orientación adecuada de los edificios, el uso de materiales de baja absorción térmica y la integración de espacios verdes. Además, resalta la importancia de incorporar estos principios desde las fases iniciales del diseño arquitectónico y urbano para maximizar su impacto en la mitigación de las ICU. El estudio sugiere que la implementación de estos enfoques puede mejorar significativamente la calidad de vida en las ciudades, reduciendo

los efectos nocivos de las altas temperaturas, como los problemas de salud y el aumento de la demanda energética.

Por otro lado, En el estudio "*Estimación de Islas de Calor Urbano aplicando el algoritmo de Split Window, para establecer una propuesta de manejo ambiental en la ciudad de Tacna*" (2022) de Aica y Zúñiga, se identifican las Islas de Calor Urbano (ICU) en la ciudad de Tacna utilizando imágenes satelitales Landsat 8 y el algoritmo de Split Window. Este estudio, realizado entre 2013 y 2021, aplica técnicas avanzadas de teledetección para generar índices ambientales como el NDVI, temperatura superficial y humedad relativa, entre otros, para caracterizar la formación y distribución de las ICU en el área urbana. Uno de los mayores aportes de la investigación es el uso de ArcGIS para procesar las imágenes y generar representaciones espaciales multitemporales de los índices ambientales, lo que permite identificar y analizar el impacto de las ICU en distintas zonas urbanas. Este estudio es relevante para el trabajo de investigación en curso porque proporciona una metodología robusta para la identificación de las Islas de Calor Urbano utilizando imágenes satelitales, una herramienta clave para la evaluación de impactos ambientales urbanos en tiempo real. Además, el análisis realizado en Tacna, en relación con las coberturas vegetales y la configuración del paisaje urbano, puede servir de referencia para otras ciudades similares en Colombia o Latinoamérica. Aportando al trabajo de investigación, esta metodología puede ayudar a identificar áreas críticas para la implementación de medidas de mitigación, como el aumento de la vegetación urbana, con el objetivo de reducir los efectos nocivos de las ICU en la salud pública y el bienestar de las comunidades.

En su estudio sobre el *Uso de drones para el control y extinción de incendios forestales*, Gambín (2023) presenta un enfoque innovador para mejorar las labores de prevención, detección y extinción de incendios mediante vehículos aéreos no tripulados (UAVs). En este trabajo se desarrollan tres prototipos de drones diseñados específicamente para realizar estas tareas: el UAV meteorológico, el UAV modular y el UAV rociador. Estos drones incorporan tecnologías avanzadas como el *Machine Learning* para optimizar la eficiencia en la intervención y gestión de incendios, especialmente en áreas de difícil acceso. Además, se incluye una simulación en un entorno real, el Parque Regional de Sierra Espuña, para evaluar el funcionamiento de estos prototipos en situaciones reales. El principal aporte de este estudio radica en su capacidad para integrar tecnologías de vanguardia en un sistema práctico de lucha contra incendios. El uso de UAVs para la prevención y control de incendios ofrece ventajas significativas, como la capacidad de recopilar datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales y aplicar intervenciones precisas, reduciendo así los riesgos para los equipos humanos y mejorando los tiempos de respuesta. Esta investigación es crucial para la optimización de la gestión de desastres naturales y puede tener un impacto significativo en la mejora de la resiliencia ante incendios forestales.

Este estudio *Ciudades resilientes al clima, una guía básica sobre la reducción de la vulnerabilidad de los desastres*, tiene como objetivo Manual inicia un proceso de aprendizaje para los gobiernos locales. Analiza los problemas del clima cambio climático, las posibles consecuencias del cambio climático que pueden afectar a las ciudades y las críticas relación entre el desarrollo urbano actual y las tendencias financieras de los gobiernos locales con el cambio climático, la gestión del riesgo de desastres y el desarrollo sostenible. La Primera recomendación- considera una autoevaluación exhaustiva de la

ciudad y una base de información completa como puntos de partida y proporciona una guía sobre cómo las ciudades pueden prepararse para enfrentar el cambio climático y reducir vulnerabilidades mediante infraestructura de resiliencia climática, que incluye refugios y zonas de sombra (Neeraj prasad, 2009).

Resiliencia climática urbana a través de infraestructura híbrida, este estudio explorará los conocimientos y oportunidades emergentes para el diseño de infraestructuras híbridas para contribuir a la resiliencia frente a fenómenos extremos. Entendemos las infraestructuras como sistemas espaciales naturales o diseñados y gestionados que prestan servicios a las personas y que están interconectados a través de flujos o transferencias de materiales, energía, organismos, personas e información. En la hibridez intentamos capturar una cualidad que surge de las relaciones, reales y conceptuales, entre las estructuras biofísicas a escala del paisaje y los procesos inherentes a los ecosistemas como las marismas, los bosques urbanos y los ríos (infraestructura verde y azul) y el entorno construido, diseñado por el hombre, que consiste, entre otros, en carreteras, redes eléctricas, edificios, alcantarillas y diques, concluye La hibridez en el diseño de infraestructuras ofrece oportunidades para formas más complementarias de generar resiliencia y anticipar nuevos regímenes de perturbaciones. Los elementos de infraestructura funcionalmente diversos pueden ofrecer diversas funciones de atenuación, nuevas formas de cambiar activamente la conectividad de la infraestructura y una cartera más amplia de vías de reorganización guiadas pero orgánicas. (erick anderson, 2022)

Otro estudio llamado, *Efectos de la dinámica de los espacios verdes en las islas de calor urbanas: mitigación y diversificación* tiene como objeto Comprender cómo los espacios verdes afectan la temperatura urbana es crucial para evaluar los beneficios térmicos de la

planificación del paisaje. Este estudio investigó la dinámica de los espacios verdes y la temperatura de la superficie terrestre (LST) en la metrópolis de Beijing. Los tipos de paisaje se clasificaron a partir de imágenes QuickBird (2002) e IKONOS (2012) y los valores LST se extrajeron de imágenes Landsat TM. Se obtuvieron cinco tipos de paisaje en esta región, incluidos terrenos impermeables (IL), terrenos forestales (FL), terrenos de pastizales (GL), cuerpos de agua (WB) y terrenos desnudos (BL). Donde se concluye que Hubo una mitigación obvia de la temperatura a partir de la conversión de terrenos impermeables en espacios verdes. Sin embargo, la expansión de los espacios verdes a partir de terrenos impermeables podría conducir a una importante diversificación de los efectos térmicos dentro de los espacios verdes. (Sol de Ranhao, 2016)

También tenemos *Adaptación de la salud pública al cambio climático en las grandes ciudades: una línea de base global*, este artículo manifiesta que el cambio climático tendrá impactos significativos en la salud humana, y se espera que las poblaciones urbanas sean altamente sensibles. Los riesgos para la salud del cambio climático en las ciudades se ven agravados por la rápida urbanización, la alta densidad de población y los entornos construidos sensibles al clima. Los gobiernos locales están posicionados para proteger a las poblaciones de los riesgos climáticos para la salud, pero no está claro si los municipios están produciendo políticas adaptativas al clima. En este artículo, desarrollamos y aplicamos métodos sistemáticos para evaluar el estado de la adaptación de la salud pública en 401 áreas urbanas a nivel mundial con más de 1 millón de personas, creando la primera línea de base global para la adaptación de la salud pública urbana. (malcom Araos, 2015)

Desarrollo de directrices de diseño de infraestructura verde para la adaptación climática urbana, este estudio tuvo como objetivo el desarrollo de pautas de diseño para

infraestructura verde urbana (UGI) sensible al clima que los profesionales del diseño consideran útiles se establece que, *en* el contexto del calentamiento global y el aumento de los problemas climáticos urbanos, los espacios y elementos verdes urbanos han sido reconocidos como una estrategia para la adaptación climática urbana. Sin embargo, a pesar de la creciente evidencia científica de los impactos positivos que la infraestructura verde urbana (UGI) está teniendo en el microclima urbano, esta evidencia no se está incorporando en la práctica del diseño urbano. Este estudio exploratorio se realizó para crear pautas de diseño para UGI sensibles al clima que surjan del conocimiento científico y sean útiles para la práctica del diseño. Se aplicó un enfoque participativo de "Investigación a través del Diseño" (RTD) en dos estudios de diseño para que los arquitectos paisajistas probaran las pautas preliminares basadas en evidencia. (Klemm de Wiebke, 2018)

Efectos de las islas de calor urbanas sobre la fenología de las plantas: variabilidad intraurbana y respuesta a la cobertura del suelo, esta revista resalta el efecto de isla de calor urbana (ICU) se caracteriza por temperaturas elevadas en las áreas urbanas, en relación con el campo circundante, aunque se espera que el 60% de la población mundial viva en áreas urbanas para el año 2030, los impactos ecológicos de la ICU siguen siendo poco comprendidos (menzel, 2015)

En general, encontramos que el UHI tiene un impacto significativo en la fenología urbana con variabilidad intraurbana en escalas espaciales finas en respuesta a la composición de la cobertura terrestre local. En todas las temporadas de crecimiento, encontramos que el UHI conduce a aumentos estadísticamente significativos de GSL T en áreas urbanas, con un efecto PCI que contrarresta parcialmente los impactos del UHI en GSL T y un efecto de lago pequeño y relativamente localizado cerca de la orilla del lago.

(Samuel C Zipper, 2016)

Escenario de planificación local para el sombreado de los árboles como una solución urbana basada en la naturaleza, Con más del 75 % de la población de la Unión Europea (UE) viviendo en áreas urbanas, el proceso de urbanización en este continente es extremadamente alto. Las ciudades y pueblos son hábitats humanos vitales, pero enfrentan desafíos cada vez mayores debido a los cambios inducidos por el hombre, en particular la presión sobre el uso del suelo con sus efectos secundarios causales, La densificación, acompañada de una reducción de los espacios verdes, plantea riesgos para el bienestar humano y los ecosistemas. Los hábitats humanos sufren la expansión de las áreas edificadas y más del 80 % de los hábitats de las especies están en malas condiciones. Por esta razón, se necesitan urgentemente soluciones sostenibles. Las áreas urbanas, incluidos los parques, los árboles de las calles y los bosques, enfrentan presiones ambientales constantes debido al cambio climático y la pérdida de biodiversidad. El objetivo de esta investigación es investigar la influencia de los árboles de la calle como NbS en el sombreado en espacios públicos, especialmente a lo largo de senderos y carriles bici. Este análisis se ilustra utilizando una ciudad europea como sitio de prueba de escenario que representa un espacio habitable típico. (Nicola Weidmuller, 2024)

Por último, tenemos *Buscando refugio: ¿pueden los refugios climáticos abordar vulnerabilidades interseccionales?* Los refugios climáticos son infraestructuras urbanas críticas para apoyar la adaptación al cambio climático que ofrecen espacios públicos donde refugiarse durante episodios de temperaturas extremas. Con más de 200 espacios públicos designados como “refugios climáticos”, Barcelona permite investigar en qué medida estos espacios están satisfaciendo las necesidades, expectativas y experiencias cotidianas de los

residentes más vulnerables. Este estudio tuvo como objetivo comprender cómo comunidades urbanas consideradas vulnerables están experimentando el cambio climático en particular, sus experiencias vividas de confort térmico, su acceso a espacios de refugio y sus inquietudes y expectativas sobre el cambio climático para evaluar hasta qué punto las infraestructuras climáticas existentes satisfacen sus necesidades. Al aplicar una perspectiva de justicia climática interseccional, revelamos experiencias desiguales de confort térmico y desigualdades de calor y frío, con algunos grupos sociales significativamente más afectados que otros. Además, descubrimos que las infraestructuras públicas de refugio climático actuales no son efectivas, bien conocidas o utilizadas, al menos no con el propósito de ofrecer refugio de fenómenos climáticos extremos. (ANA T. AMORIM MAIA, 2023)

En conjunto, estos estudios subrayan la importancia de la infraestructura verde y la vegetación urbana como elementos clave en la mitigación de las islas de calor urbanas. Cada uno, desde su enfoque particular, aporta herramientas técnicas y empíricas que refuerzan la necesidad de integrar la vegetación y los espacios verdes en la planificación urbana, no solo para mejorar el confort térmico, sino también para reducir las disparidades sociales y ambientales que existen en las ciudades.

Referentes conceptuales

El presente marco conceptual estructura los conceptos clave que guiarán el análisis y la interpretación de los datos. Se exploran nociones fundamentales como el microclima urbano, el confort térmico, la planificación urbana sostenible y la resiliencia climática, que son esenciales para comprender cómo la disposición de áreas sombreadas puede influir en la reducción de los efectos del calor extremo en zonas urbanas. Este marco conceptual

establece las bases teóricas necesarias para la implementación de mapas de sombras como herramienta de diagnóstico y planificación, aportando un enfoque riguroso a la identificación de espacios de mitigación climática y mejora del bienestar urbano en ciudades tropicales como Barranquilla.

Mapas de sombra

En América Latina, la necesidad de integrar estrategias para la resiliencia climática en la planificación urbana ha cobrado relevancia en las últimas décadas, como respuesta a las crecientes vulnerabilidades asociadas al cambio climático. (Rodríguez, 2013) El uso de herramientas como los mapas de sombras en esta región no solo responde a los desafíos climáticos, sino también a la histórica urbanización acelerada y la desigualdad en el acceso a espacios públicos de calidad, lo que ha generado ciudades con áreas altamente vulnerables al calor y al estrés térmico. (Aldabe, 2018)

Los mapas de sombras son una herramienta fundamental en la ingeniería ambiental y la planificación urbana, ya que permiten visualizar cómo las estructuras naturales y artificiales influyen en la exposición solar de un área a lo largo del día y las estaciones. (Sarria, 2006)

Los mapas son especialmente útiles en climas cálidos y tropicales, donde el control de la radiación solar es crucial para mejorar la habitabilidad urbana y mitigar los efectos del calentamiento global y las islas de calor urbanas. (Gómez & Ríos, 2020)

La elaboración de mapas de sombras se basa en la integración de datos topográficos, geoespaciales y de orientación solar, junto con la modelización en sistemas de información geográfica (SIG). Estos mapas permiten una lectura precisa de las zonas que se benefician

de sombra natural, así como de aquellas con una mayor exposición solar, proporcionando una base científica para tomar decisiones en la gestión del espacio público y el diseño sostenible. (Montero, 2018)

Un ejemplo relevante es el estudio en Bogotá, que demuestra cómo el uso de mapas de sombras permite identificar áreas críticas de alta exposición solar, y propone soluciones como la implementación de corredores verdes y la colocación estratégica de mobiliario urbano para mejorar el confort térmico en espacios al aire libre. (Gonzales, 2021)

Islas de calor urbanas

Las islas de calor urbanas son una problemática ambiental creciente en las ciudades modernas, caracterizada por el aumento significativo de la temperatura en áreas urbanas en comparación con las zonas rurales circundantes. Este fenómeno se debe a la alta densidad de edificaciones, la falta de vegetación y el predominio de superficies impermeables como asfalto y concreto, que absorben y retienen el calor. (garcia, 2021)

Las islas de calor pueden tener múltiples efectos adversos, incluyendo el incremento del consumo energético, el deterioro de la calidad del aire y la afectación de la salud humana, particularmente en poblaciones vulnerables. (garcia, 2021)

Investigaciones más recientes en el contexto latinoamericano también han destacado la gravedad de este problema señalan que en ciudades como Bogotá y Medellín, se han identificado patrones claros de islas de calor que están estrechamente vinculados a la densidad poblacional y la configuración del paisaje urbano. (arias, 2020)

Por otra parte, la importancia de implementar estrategias de mitigación, como la creación de espacios verdes y el uso de materiales de construcción de alto albedo. En su estudio, concluyen que la incorporación de vegetación urbana no solo reduce las

temperaturas superficiales, sino que también mejora la calidad del aire y el bienestar psicológico de los residentes. (Luis sanchez, 2015)

Zonas de mitigación climática

Las zonas de mitigación climática se definen como áreas dentro de un entorno urbano que presentan características que ayudan a reducir los efectos negativos del cambio climático, como altas temperaturas y contaminación del aire. Estas zonas pueden incluir espacios verdes, cuerpos de agua, áreas sombreadas y otros elementos que contribuyen a enfriar el ambiente y mejorar la calidad del aire. Desde una perspectiva conceptual respaldada por la literatura y la investigación, las zonas de mitigación climática son fundamentales para promover la resiliencia urbana y proteger la salud y el bienestar de los habitantes de las ciudades. (Rodríguez, 2013)

Las Zonas de Mitigación Climática representan una estrategia clave para adaptar las ciudades al cambio climático, mitigando los impactos negativos en la salud y el confort de los ciudadanos. Estas zonas proporcionan refugio contra el calor extremo y la radiación solar directa, creando microclimas más frescos y saludables en entornos urbanos densamente poblados. (Luis sanchez, 2015)

Además, las Zonas de Mitigación Climática también pueden desempeñar un papel importante en la reducción de la contaminación del aire al absorber y filtrar partículas nocivas, lo que beneficia la calidad del aire y la salud respiratoria de la población. (mundial, 2020)

Confort térmico

El confort térmico, también conocido como bienestar térmico, se refiere a la percepción personal que tienen las personas sobre su sensación de frío o calor. Este

concepto se entiende como el nivel de satisfacción que las personas experimentan con respecto al entorno térmico. Su importancia radica en que contribuye a que los edificios, sean residenciales, de oficinas o espacios públicos, sean disfrutados de manera más cómoda y agradable. (Esteve, 2023)

El confort térmico no solo se ve afectado por las condiciones climáticas, sino también por la configuración urbana, que incluye la disposición de edificios, la cantidad de vegetación y la presencia de zonas de sombra. Ciudades tropicales como Barranquilla, con temperaturas promedio superiores a los 30 °C, requieren intervenciones de planificación urbana orientadas a reducir las islas de calor mediante la implementación de áreas sombreadas y la creación de corredores verdes que mejoren el flujo de aire y el confort térmico de sus habitantes. (Rincon, 2020)

Planificación urbana sostenible

La planificación urbana sostenible es una estrategia que busca desarrollar ciudades capaces de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer los recursos para las futuras. Este enfoque es esencial en América Latina, donde la urbanización acelerada ha llevado a un crecimiento desordenado y al aumento de la vulnerabilidad frente al cambio climático. (Ricardo Jordan, 2003)

La planificación urbana sostenible debe integrar criterios ambientales, sociales y económicos, promoviendo la creación de infraestructuras verdes y fomentando la eficiencia energética en los edificios. (Suarez Y García, 2020)

Las intervenciones también generan beneficios sociales, como la reducción de la pobreza energética y el fortalecimiento de la cohesión comunitaria. Los mapas de sombras, en este contexto, son una herramienta valiosa para guiar la disposición de árboles y

estructuras arquitectónicas que maximicen la sombra natural y minimicen el uso de energía para climatización artificial, lo cual contribuye significativamente a la sostenibilidad urbana. (Almeida, 2019)

Resiliencia climática

La resiliencia climática hace referencia a la capacidad de un ecosistema, sociedad o empresa para anticiparse, prepararse y responder a los impactos del cambio climático. Se basa en la comprensión de los riesgos y vulnerabilidades relacionados con el clima y en la aplicación de las medidas necesarias para gestionarlos de forma eficaz. (Alexander Jonker, 2024)

El camino hacia un futuro resiliente y sostenible no será fácil, pero es posible. La resiliencia climática, junto con la implementación de las NDC, es una de las formas más efectivas de abordar los desafíos del cambio climático y la pobreza. En el PNUD, seguiremos conectando a las personas con el planeta, apoyando tanto a los gobiernos como a las comunidades para que, juntos, podamos construir un futuro más equitativo y seguro para todos. (Gutierrez, 2024)

Marco Legal

El marco legal de la investigación se enfoca en resaltar la relevancia de las normativas y políticas públicas que sustentan y regulan la planificación urbana sostenible y la resiliencia climática en Colombia. Este capítulo examina los referentes legales que guían la implementación de estrategias orientadas a mitigar los efectos del cambio climático en entornos urbanos, así como los principios de diseño sostenible que deben ser considerados en el desarrollo de proyectos urbanos.

Se abordarán normativas como la Ley 99 de 1993, que establece el Sistema

Nacional Ambiental en Colombia, y el Plan Nacional de Desarrollo, además, se mencionarán los lineamientos de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, que promueve la integración de la variable climática en la planificación y gestión del territorio. En consecuencia, el marco legal proporcionará un contexto esencial que respalda la necesidad de implementar un mapa de sombras.

Sistema Nacional Ambiental en Colombia: Ley 99 de 1993

La Ley 99 de 1993 en Colombia es una de las normativas ambientales más importantes del país, ya que dio origen al Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableciendo una estructura institucional y regulatoria sólida para la gestión del medio ambiente. Este sistema integra las políticas, entidades, mecanismos y procedimientos necesarios para asegurar la protección ambiental y el manejo sostenible de los recursos naturales. (Ley 99 de 1993)

En cuanto a la planificación urbana, la ley subraya la necesidad de adoptar medidas que reduzcan el impacto ambiental de los asentamientos humanos, promoviendo la creación de ciudades más sostenibles. En este sentido, establece la obligatoriedad de realizar estudios de impacto ambiental para los proyectos de desarrollo urbano, así como la implementación de instrumentos de gestión ambiental que permitan la mitigación de los efectos negativos asociados con el cambio climático, como las islas de calor urbanas. (Ley 99 de 1993)

Plan Nacional de Desarrollo

Establece una visión estratégica que busca posicionar al país como una potencia mundial de la vida, basándose en cinco grandes transformaciones. Estas incluyen: el derecho humano a la alimentación, el ordenamiento del territorio alrededor del agua, la

seguridad humana, una economía productiva para la vida y la lucha contra el cambio climática, y la convergencia regional.

Una de las principales líneas de acción del PND 2022-2026 es el enfoque en sectores comprometidos con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático, lo que implica la adopción de estrategias que minimicen los impactos negativos de las actividades humanas sobre el medio ambiente.

Lineamientos legales internacionales

Acuerdo de París

Es uno de los principales marcos internacionales relacionados con el cambio climático. Este acuerdo, firmado por Colombia, establece el compromiso global de mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2 °C, con esfuerzos para limitarlo a 1.5 °C. Dentro de este contexto, la planificación urbana sostenible, la gestión del territorio y la integración de variables climáticas en las políticas locales son esenciales para alcanzar las metas establecidas, lo que incluye la creación de espacios más sostenibles que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero. (Paris, 2015)

Objetivos de Desarrollo Sostenible y La Agenda 2030

La Agenda 2030 de la ONU establece 17 objetivos que buscan promover un desarrollo sostenible a nivel mundial. El ODS 11 se centra en lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Esto implica una planificación urbana más eficiente, la gestión del espacio público y la mitigación de los

efectos del cambio climático en áreas urbanas mediante, por ejemplo, la creación de mapas de sombras que identifiquen zonas de mitigación climática. (ODS, 2015)

Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030)

Promueve la reducción de riesgos relacionados con desastres naturales, incluyendo aquellos exacerbados por el cambio climático. La planificación territorial que tome en cuenta las variables climáticas, como las zonas de sombra para mitigar los efectos del calor en las ciudades, es una estrategia esencial para aumentar la resiliencia de las comunidades urbanas.

Metodología

En este capítulo se describe el enfoque y los métodos empleados para alcanzar los objetivos propuestos. Este apartado presenta las técnicas de investigación utilizadas y los instrumentos aplicados. Además, se detallan los procedimientos criterios de selección de los participantes y las fases de implementación del estudio para la construcción del mapa de sombras en el barrio El Prado de Barranquilla, Además para la identificación de especies(arboles), utilizamos el aplicativo PictureThis - Plant Identifier y con ella logramos conocer todas las especies en las diferentes rutas.

Tipo de investigación

El tipo de investigación cuantitativo adoptado en esta investigación se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos para elaborar el mapa de sombras en el barrio El Prado de Barranquilla, permitiendo medir de manera precisa la radiación solar y su relación con la mitigación climática.

Este se caracteriza por su enfoque en la objetividad, la medición de variables cuantificables y la utilización de instrumentos estandarizados para obtener datos reproducibles.

(Hernández Sampieri, 2014)

Este enfoque busca establecer relaciones causales y patrones entre la exposición solar y las condiciones climáticas del área de estudio, utilizando técnicas como la fotogrametría y los sistemas de información geográfica (SIG) para identificar las áreas más afectadas por la radiación solar.

La precisión de los resultados obtenidos mediante este enfoque cuantitativo permite generar conclusiones basadas en evidencia empírica y estadísticas robustas, contribuyendo a la planificación urbana sostenible.

Enfoque

El enfoque es cuantitativo adoptado en esta investigación tiene como objetivo tanto la exploración de las características del entorno urbano del barrio El Prado como la descripción detallada de la distribución de sombras y su relación con las condiciones climáticas locales. Este tipo de enfoque es adecuado en investigaciones donde se pretende obtener una comprensión profunda y precisa de fenómenos poco estudiados en contextos específicos, en este caso, la interacción entre la radiación solar, el sombreado y la temperatura ambiente en un área urbana.

Método

El método de estudio de caso cuantitativo utilizado en esta investigación se justifica por su capacidad para focalizar el análisis en un área geográfica específica, como lo es el barrio El Prado de Barranquilla, y recolectar datos numéricos que permitan evaluar de manera objetiva la distribución de sombras y su impacto en el

confort térmico y la mitigación climática. Este tipo de estudio se centra en la cuantificación de variables clave como la radiación solar, la temperatura en diferentes zonas del barrio, y la proporción de áreas sombreadas, proporcionando un análisis riguroso y estadísticamente fundamentado.

Técnicas

En esta investigación se utilizaron diversas técnicas cuantitativas para recolectar y analizar datos relacionados con la radiación solar y la distribución de sombras en el contexto estudiado. Estas técnicas son esenciales para obtener mediciones precisas y respaldar el análisis geoespacial de la zona estudiada. A continuación, se describen las principales técnicas utilizadas.

Área de estudio

La ciudad de Barranquilla ($10^{\circ}59' N$ y $74^{\circ}47' W$), está ubicada en el norte de Colombia, en la desembocadura del río Magdalena en la costa caribeña. (Katia villadiego, 2014)

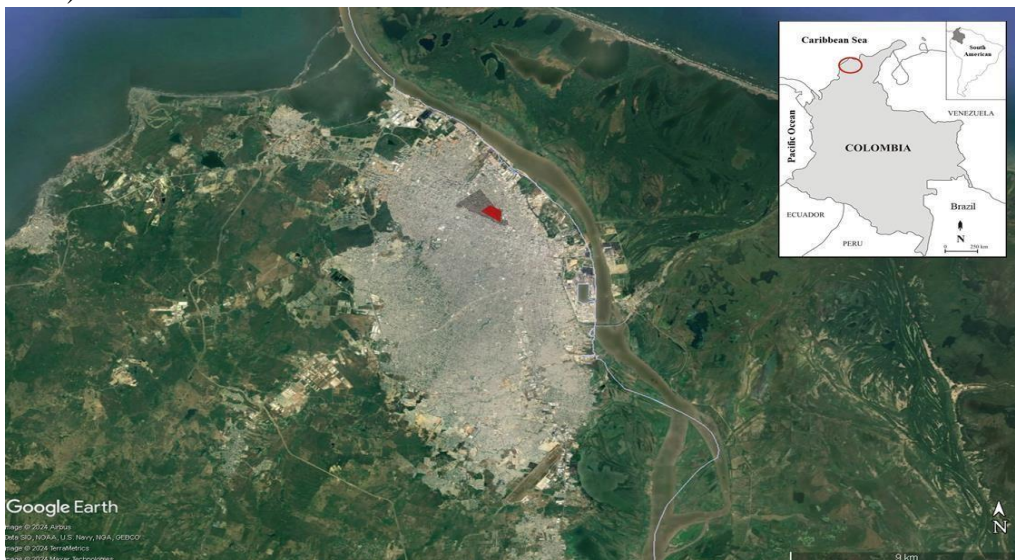


Ilustración 1 Tomada en Google Earth.

En la imagen se observa la ubicación del área de estudio, donde el área gris significa la ubicación de la Ciudad de Barranquilla y el área que esta en rojo hace referencia a la ubicación del barrio el prado.

Es una ciudad de tamaño medio con aproximadamente 1.200.000 habitantes y una superficie de 166 km². (Deliang Cheh, 2012) La ciudad presenta una elevación de 4 a 120 m sobre el nivel del mar, una humedad media anual relativa del 80% y una temperatura media de 28°C (Katia villadiego, 2014). Barranquilla está organizada en 5 sectores: Suroeste, Sureste, Norte-Centro Histórico, Metropolitano y Riomar. El Centro Histórico Norte de Barranquilla está lleno de historia y cultura. (Cañate Bello, 2013), ya que esta es la zona donde se originó la ciudad. Este sector está compuesto por 41 barrios, entre ellos El Prado que es el corazón de Barranquilla y abarca aproximadamente 113 hectáreas. (POT, 2024) Todas las ciudades colombianas están atravesadas por un sistema de avenidas (carreras) y calles (CALLES) que son ampliamente normales entre ellos. El Prado se encuentra entre Carreras 50° y 60°, y Calles 53 y 75 y está clasificado como "monumento nacional" por su valor histórico, arquitectónico y urbanístico (Barranquilla, 2024).

Una de las principales características de El Prado es la presencia de diferentes universidades, centros de salud, áreas gastronómicas, hoteles, shoppings, bancos, escuelas y empresas, lo que lo convierte en un barrio con una alta presencia peatonal. Entre las universidades, la Universidad Simón Bolívar (10°59'39.69" N, 74°47'30.96" W), cuenta con 1.512 estudiantes de pregrado, 1.034 estudiantes de posgrado, 1.085 profesores y 537 administrativos distribuidos en siete sedes, algunas de ellas bastante distantes entre sí. Cada una de esas sedes, a excepción del sitio 5 y la Casa Blanca, El Sitio 5 cuenta con el museo universitario, un auditorio y un espacio para prácticas culturales y exposiciones. (Unisimon, 2024)

Determinación de Rutas Peatonales

El objetivo de este trabajo es establecer las mejores rutas que pueden utilizar estudiantes, y personas que transiten por la Universidad Simón Bolívar, es decir, el personal administrativo y los estudiantes que habitualmente se desplazan entre las diferentes sedes. Para la determinación de las rutas térmicamente más cómodas para los peatones, se estableció el grado de cobertura vegetal arbórea presente a lo largo de las rutas mediante el uso del dron DJI Mavic 3 Multi Spectral . El dron cuenta con una cámara RGB de 20 MPX integrada con capacidad para obtener fotografías aéreas de alta precisión de hasta 200 ha. El dron puede tomar imágenes a una distancia de hasta 15 km del punto de despegue. Con el fin de cubrir diferentes condiciones de sombra, se programaron seis vuelos en abril de 2024, a intervalos de una hora, con salida desde las 10 a.m. hasta las 3 p.m. (es decir, las horas de temperatura máxima). Se relevó un área de 48 ha que abarcaba toda la sede de la Universidad Simón Bolívar, tomando fotos cada 2 segundos con una distancia focal de 12,29 mm entre ellas, con una resolución de 5280 x 3957 y un tamaño de píxel de 3,36 x 3,36 micras. Así, al final de cada vuelo, se obtuvieron un total de 338 fotos alineadas a una altura media de vuelo de 129 m con una resolución terrestre de 3,37 cm/pix.

Elaboración de ortofotos de alta resolución

Para obtener las ortofotos, las imágenes se procesaron implementando un flujo de trabajo de estructura de movimiento con el software Agisoft Metashape v2.1.2 . Mediante el proceso de georreferenciación automática, el software es capaz de convertir las coordenadas ráster (conjunto de píxeles de las fotos de vuelo) en un sistema de coordenadas conocido que permite localizarlas en la superficie terrestre. Las ortofotos se exportaron en formato TIF y se insertaron en el programa QGIS Desktop v3.28.0 , establecer las

diferentes rutas potenciales entre las distintas sedes de la Universidad Simón Bolívar, su longitud, las áreas cubiertas por árboles y las extensiones de las áreas de sombra vinculadas tanto a factores naturales (árboles) como artificiales (es decir, debidos a edificaciones).

Medición de humedad y temperatura en las rutas

La humedad y la temperatura se midieron varias veces en varios puntos a lo largo de las rutas cada hora desde las 10 a.m. hasta las 3 p.m. y luego se calcularon los valores promedio. Las mediciones se realizaron en áreas sombreadas naturales y artificiales, así como en áreas no sombreadas a lo largo de las rutas seleccionadas, utilizando un termohigrómetro digital con sonda de humedad-temperatura (KTJ Thermo).

Determinación de especies vegetales

La identificación de las diferentes especies de árboles presentes en los recorridos peatonales se llevó a cabo mediante la observación de sus características morfológicas, es decir, hojas, tallos y flores. Además, la aplicación PictureThis - Plant Identifier , se utilizó ya que proporcionó información sobre el nombre científico y la descripción botánica de cada árbol identificado.

Medición directa: Se emplearon dispositivos especializados como fotómetros y radiómetros para capturar datos precisos sobre la radiación solar en diferentes puntos del área de estudio. Estos instrumentos permitieron registrar la intensidad de la radiación en vatios por metro cuadrado, lo que facilita un análisis detallado de las áreas con mayor exposición solar. Esta técnica es clave para cuantificar la cantidad de radiación que incide sobre las diferentes superficies urbanas y evaluar cómo estas condiciones impactan en la temperatura y el confort térmico.

Observación sistemática: Se llevará a cabo un registro fotográfico y de video durante el transcurso del día para documentar la evolución de las sombras en distintos momentos. La observación se realizará de manera sistemática en puntos estratégicos del barrio, permitiendo identificar patrones de sombreado en diversas estructuras y zonas verdes. Este proceso permitirá comparar las áreas sombreadas en diferentes horarios y estaciones del año, proporcionando una representación visual complementaria a las mediciones cuantitativas.

Análisis geoespacial: Para el análisis de los datos recolectados, se utilizará software especializado de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permite mapear y analizar la distribución de sombras y temperaturas en el área de estudio. Este tipo de análisis geoespacial facilitará la identificación de zonas críticas en términos de exposición solar y ayudará a generar propuestas de mitigación climática basadas en la planificación estratégica del espacio urbano. El uso de SIG permitirá integrar datos topográficos y de radiación solar, ofreciendo una representación visual clara de las áreas que requieren intervenciones en términos de diseño urbano sostenible.

Resultado Y Discusión

Rutas Peatonales (áreas sombreadas)

Considerando las necesidades de movimiento de los peatones y la ubicación/variabilidad de las áreas sombreadas durante el día, se crearon mapas para tres intervalos de tiempo diferentes. El primero cubre de 10 a.m. a 1 p.m., ya que no se observaron diferencias significativas en la ubicación de las áreas sombreadas en este rango de tiempo. Sin embargo, durante los intervalos de 1 a 2 p.m. y de 2 a 3 p.m., se identificaron variaciones

en la distribución de áreas de sombra tanto naturales como artificiales, por lo cual se crearon mapas diferentes para cada intervalo.

Route Map (10 am - 1 pm)



Ilustración 2 Ruta de mapeo 10 Am

En la imagen se muestran los resultados de las diferentes rutas que los peatones pueden elegir según los intervalos de tiempo considerados, es decir, de 10 a.m. a 1 p.m., de 1 a 2 p.m., y de 2 a 3 p.m. Las rutas peatonales se diseñaron para conectar la sede 6 con las otras sedes, ya que esta alberga laboratorios de investigación y aulas de clases que todos usan y está más alejada de las otras sedes, lo que obliga a los miembros de la universidad a recorrer largas distancias para llegar allí.

Durante el intervalo de 10 a.m. a 1 p.m., las áreas sombreadas estaban esencialmente relacionadas con la presencia de árboles (sombra natural), ya que las áreas sombreadas por

edificios (sombra artificial) no eran significativas; por lo tanto, las rutas de movimiento peatonal identificadas atraviesan zonas arboladas.

Route Map (2 pm)

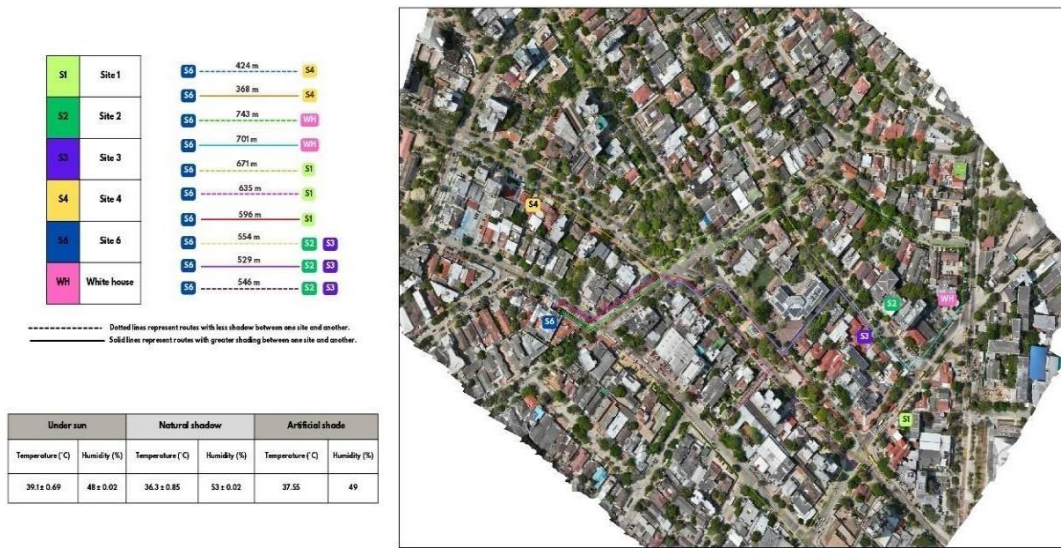


Ilustración 3 Ruta de Mapeo 2 pm

En el intervalo de 1 a 2 p.m., hay una mayor cantidad de rutas disponibles debido a la presencia de áreas sombreadas tanto por edificios como por zonas arboladas urbanas, ofreciendo diferentes alternativas para la movilidad peatonal. Sin embargo, dichas rutas son generalmente más largas que las disponibles en el siguiente intervalo de tiempo.

En el intervalo de 2 a 3 p.m., las rutas disponibles entre las diferentes sedes son más cortas debido a la presencia de grandes y numerosas áreas de sombra asociadas tanto a edificios como a zonas arboladas urbanas.

Route Map (3 pm)

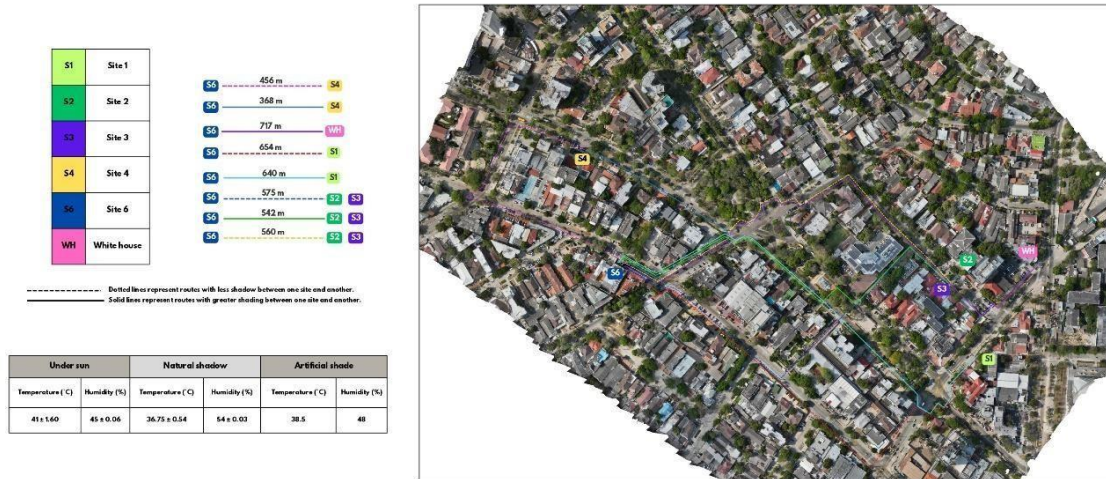


Ilustración 4 Ruta de Mapeo 3 Pm

Además, se observó una superposición entre varias de las rutas peatonales disponibles para los tres intervalos de tiempo presentados, como fue el caso de algunas rutas hacia las sedes 1, 2 y 3. Estos sectores comunes a diversas rutas de movilidad están vinculados a la gran abundancia de árboles y, por esta razón, probablemente registrarán un gran número de peatones.

Humedad y Temperatura a lo Largo de las Rutas

Los resultados del trabajo de campo destacaron que, a pesar del intervalo de tiempo considerado, el valor promedio de temperatura medida fue siempre mayor en áreas soleadas en comparación con áreas sombreadas tanto por edificios como por zonas arboladas urbanas. Durante el período de investigación, las temperaturas registradas en áreas soleadas presentaron pequeñas variaciones entre los intervalos de tiempo considerados, es decir, los valores promedio fueron 40°C de 10 a.m. a 1 p.m., 39.1°C de 1 a 2 p.m., y 41°C de 2 a 3

p.m. En contraste, las áreas sombreadas generalmente registraron temperaturas más bajas, con valores promedio de 36.4°C de 10 a.m. a 1 p.m., 36.3°C de 1 a 2 p.m., y 36.7°C de 2 a 3 p.m. en áreas sombreadas por zonas arboladas urbanas y valores promedio de 37.7°C de 10 a.m. a 1 p.m., 37.5°C de 1 a 2 p.m., y 38.5°C de 2 a 3 p.m. para áreas sombreadas por edificios.

En cuanto a los valores promedio de humedad registrados en áreas soleadas durante los días investigados, oscilaron entre 45% de 10 a.m. a 1 p.m. y de 2 a 3 p.m. hasta 48% de 1 a 2 p.m. En contraste, las áreas sombreadas generalmente registraron mayor humedad, con valores promedio de 53% de 10 a.m. a 1 p.m. y de 1 a 2 p.m., y 54% de 2 a 3 p.m. en áreas sombreadas por zonas arboladas urbanas y valores promedio de 50% de 10 a.m. a 1 p.m., 49% de 1 a 2 p.m., y 48% de 2 a 3 p.m. en áreas sombreadas por edificios.

Numero de árboles en las diferentes rutas

El número de árboles y el género predominante varió a lo largo de las diferentes rutas peatonales. Se observaron varias rutas con cobertura de arbolado urbano superior al 90% .



Ilustración 5 Zona con abundantes árboles

Sin embargo, otras rutas tenían una cobertura de arbolado urbano de solo 6.6%.



Ilustración 6 Zona con poca Arborización .

Los géneros de árboles predominantes en la mayoría de las rutas peatonales trazadas fueron *Tabebuia* (roble morado) y *Arecaceae* (palma). *Tabebuia rosea* es un árbol frondoso pero caducifolio, cuyas hojas caen entre marzo y junio. A su vez, la *Arecaceae* no es un árbol muy frondoso y genera poca sombra. El mayor número de árboles se observó en el Parque Los Fundadores, con un total de 75 árboles, donde el género predominante fue *Arecaceae*. Los géneros de árboles más predominantes a lo largo de las rutas peatonales se muestran en la tabla . Cabe destacar que algunas rutas se caracterizan por la presencia de árboles del género *Ceiba* (, que presentan gran tamaño y frondosidad. Sin embargo, son árboles caducifolios y, por lo tanto, sus hojas caen entre enero y marzo. Debido a esto, las rutas con abundancia de géneros *Tabebuia* y *Ceiba* pierden parte de su efectividad durante los meses mencionados.

Géneros de árboles predominantes a lo largo de las rutas investigadas.

Genero	Numero de arboles
<i>Areceaceae</i>	68
<i>Tabebuia</i>	60
<i>Mangifera</i>	18
<i>Delonix</i>	13
<i>Conocarpus</i>	4
<i>Gliricidia</i>	4
<i>Terminalia</i>	2
<i>Azadirachta</i>	2

Discusión

La temperatura de la superficie terrestre fue aproximadamente 1,09 °C más alta en el período 2011-2020 en comparación con el período 1850-1900 (Valérie Masson-Delmotte, 2021) y se prevé que aumente entre 3,3 y 5,7 °C para 2100 en base al escenario de emisiones de gases de efecto invernadero muy altas . (Valérie Masson-Delmotte, 2021) En Colombia, durante el período 1971-2000, se observó un aumento de la temperatura promedio de 0,13 °C por década y los escenarios de cambio climático predicen un aumento de 1,4 °C para 2040 y de 2,14 °C para 2100 (Ideam, 2015). El aumento de la temperatura global es uno de los principales factores responsables de la degradación de los ecosistemas, y las olas de calor extremo amenazan la sostenibilidad de los asentamientos urbanos en todo el mundo. La exposición a las altas temperaturas pone en peligro la salud de los ciudadanos, el desarrollo de las ciudades y su calidad ambiental en general (Cascada

Tuholske, 2021). Además, la población urbana mundial ha alcanzado ya los 3.900 millones, es decir, casi el 54% de la población mundial total y, para 2050, se espera que alrededor del 66% de la población mundial viva en zonas urbanas (Kolokotsa, 2016). A pesar de que las regiones de América Latina y el Caribe se encuentran entre las regiones más biodiversas y urbanizadas del mundo (Canela Dobbs, 2023), la vegetación de las ciudades de América Latina y el Caribe está fragmentada, inconexa e inequitativamente distribuida (Canela Dobbs, 2023). Por lo tanto, mantener una vegetación urbana adecuada es clave para producir ciudades más habitables y resilientes, mejorar la salud y el bienestar, y promover estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático (Canela Dobbs, 2023).

Barranquilla es la capital del departamento del Atlántico, en Colombia, y la ciudad más poblada de la costa caribeña colombiana con Ca. 1,2 millones de habitantes (Y. Nuñez, 2023). Desde el año 2011, la Alcaldía viene implementando en Barranquilla un programa denominado "Todos al Parque", que ha dado como resultado que el 91% de las manzanas de la ciudad cuenten con un parque o área verde a menos de 800 metros de distancia, lo que ha permitido que Barranquilla sea reconocida en 2023 por la FAO y la Fundación Arbor Day como Ciudad Arbórea con 185.155 árboles plantados (Barranquilla, 2024).

Actualmente Barranquilla es considerada una Ciudad Biodiversa donde se priorizan los corredores verdes para la movilidad sostenible y segura de los ciudadanos (Barranquilla, 2024). Sin embargo, establecieron que, en Barranquilla, la mala planificación de algunos barrios, principalmente en los de bajos ingresos, impide que sus habitantes aprovechen el potencial de caminar y andar en bicicleta en estas áreas verdes (Arellana, 2021). Las accesibilidades peatonales con mayor potencial se encuentran en las zonas de ingresos altos y medios, donde las personas dependen más de los modos de transporte privado (Arellana,

2021). En este estudio, realizado en una zona de ingresos altos, se observó que los peatones no tienen indicaciones sobre rutas adecuadas para caminar y a menudo aumentan su exposición al sol al caminar en áreas soleadas paralelas a las áreas sombreadas existentes. Este comportamiento también se observó en otras zonas, por ejemplo, establecieron que en la ciudad de Greater Bendigo (Australia), aproximadamente el 52% de las rutas recorridas por los peatones carecían de sombra o tenían niveles muy bajos de sombra (Kavet Deilami, 2020). Sin embargo el uso de imágenes de drones realmente constituye una herramienta eficaz y alternativa para la identificación de sombras, urbanismo y actividades de conservación del medio ambiente (Nelson, 2024) Algunas de las ventajas del uso de imágenes obtenidas por dron frente a las obtenidas por satélite son, entre otras: Y la gran disponibilidad comercial de drones, su capacidad para lograr una resolución espacial mejor que las imágenes proporcionadas por los servicios por satélite, las imágenes no se ven afectadas por perturbaciones atmosféricas (por ejemplo, nubes) y son flexibles de usar y tienen la capacidad de reaccionar de manera oportuna si se detecta un problema (Juan Valente, 2020)

Por ello, varios estudios han utilizado imágenes obtenidas por drones para evaluar y mejorar el ambiente térmico de los espacios peatonales. utilizando imágenes térmicas recogidas por una cámara infrarroja, desarrollaron un método basado en la termografía 3D para analizar y evaluar la distribución espacial del confort térmico. Determinaron que la diferencia en las temperaturas radiantes medias en el espacio peatonal entre las áreas iluminadas por el sol y las sombreadas era superior a 3 °C (Zhao Xuexiu, 2020).

En este estudio se trazaron recorridos entre las diferentes sedes de la Universidad Simón Bolívar en Barranquilla utilizando imágenes captadas por un dron y se estableció cuáles rutas presentaban el mejor confort térmico para los peatones debido a la presencia de

sombra natural y artificial, resultados que coincidieron con los obtenidos por los autores antes mencionados. La sombra generada por los árboles fue la más térmicamente confortable para los peatones con una diferencia de aproximadamente 3 °C menos que las áreas sin sombra, quienes establecieron que las áreas sombreadas con árboles pueden disminuir la temperatura entre 0.1 y 5.6 °C, dependiendo de factores ambientales específicos y especies arbóreas (Margaret, 2017).

En este estudio también se observó que los peatones en Barranquilla utilizan diferentes medios de protección (por ejemplo, sombrilla, ropa y gorras) para evitar los efectos del sol.



Ilustración 7 Cubriéndose de rayos solares

El uso de sombrillas se ha vuelto muy popular en días muy soleados y calurosos. Sin embargo, el paraguas que proporciona sombra de los rayos UV directos, no protege contra los rayos UV difusos (Josette McMichael, 2013). La mejor ruta establecida según las imágenes del dron fue a través del Parque Los Fundadores, que cuenta con aproximadamente 75 árboles. Este parque emblemático de la ciudad es utilizado por muchos peatones debido a la gran cantidad de sombra natural que ofrece y es una ruta

común entre diferentes sedes de la Universidad Simón Bolívar. El género arbóreo predominante en la mayoría de las rutas peatonales trazadas fueron *Tabebuia* (roble morado) y *Arecaceae* (palma), Por lo tanto, la sombra generada por *Tabebuia* Los árboles se pierden entre los meses de marzo y junio y, posteriormente, esto disminuye la utilidad de las vías para los peatones. A su vez, las palmeras (*Arecaceae*) se suelen plantar en zonas de clima muy cálido principalmente por su valor estético (Roloff, 2016). Las pequeñas palmeras de dosel como las observadas en este estudio pueden ser útiles para proporcionar confort térmico a los peatones cuando el espacio es limitado (Spennemann, 2021) pero, en el barrio El Prado, parece que la plantación está más relacionada con aspectos estéticos porque se ubican en lugares donde se podrían plantar árboles con un dosel más grande. En este sentido, para una planificación y gestión exitosa de la plantación de árboles en las ciudades, es necesario tener en cuenta factores como la dinámica de los bosques urbanos, la composición de especies, la dinámica del suelo, el daño de las raíces a la infraestructura, las caídas de árboles, las alergias al polen, las condiciones climáticas cambiantes y los costos de plantación y gestión de los espacios diseñados, que limitan la ubicación de los árboles en el entorno construido (Diane pataki, 2021). Afortunadamente, en Barranquilla, como se mencionó anteriormente, la infraestructura verde solo ha mejorado en los últimos años y, por lo tanto, es necesario seguir trabajando para desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Conclusiones

La conclusión del estudio sobre la elaboración de un mapa de sombras en el barrio El Prado de Barranquilla resalta la relevancia de integrar estrategias de mitigación del calor en la planificación urbana, especialmente en contextos climáticos adversos. A lo largo de la

investigación, se evidenció que la falta de sombra en áreas urbanas no solo incrementa las temperaturas, sino que también afecta negativamente la calidad de vida de los ciudadanos, limitando su acceso a espacios públicos y actividades al aire libre.

Se concluye que la creación de un mapa de sombras es una herramienta fundamental para que los peatones puedan identificar las zonas con mayor confort térmico y evitar zonas de exposición a la radiación solar. Además, los mapas de sombra son útiles para diseñar intervenciones urbanísticas que optimicen la distribución de sombras, tanto naturales como artificiales. Este enfoque no solo contribuye a la reducción de la temperatura ambiental, sino que también promueve el bienestar de los habitantes al ofrecer refugio contra el calor extremo, lo que es especialmente crítico en ciudades como Barranquilla, donde las altas temperaturas son una preocupación constante.

Además, se subraya la importancia de utilizar tecnologías avanzadas, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el modelado climático, para realizar un análisis detallado de la cobertura de sombras y su impacto en el confort térmico. La investigación también sugiere que los resultados obtenidos pueden servir como base para el desarrollo de políticas públicas que fomenten la sostenibilidad y la resiliencia urbana, promoviendo el uso de la vegetación y la infraestructura verde como estrategias efectivas para enfrentar los desafíos del cambio climático

Referencias

- Borja, J. (2021). *Espacio público y derecho a la ciudad*. Editorial Icaria.
- IDEAM. (2023). Informe de temperatura y clima en Barranquilla. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Disponible en <https://www.ideam.gov.co>
- SmithGroup. (2019). *Combatting the Urban Heat Island Effect*. Recuperado de <https://www.smithgroup.com>
- Taher, H., Elsharkawy, H., & Rashed, H. F. (2024). Urban green systems for improving pedestrian thermal comfort and walkability in future climate scenarios in London. *Buildings*, 14(3), 651. <https://doi.org/10.3390/buildings14030651>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2024). *Infraestructura verde urbana: una solución a los retos climáticos*. Recuperado de <https://blogs.iadb.org>
- Mut, G. (2024). *Mitigación del efecto isla de calor en ciudades y estrategias sostenibles para un futuro más fresco*. El Diario Inmobiliario. Disponible <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/infraestructura-verde-urbana-cambioclimatico/>
- Sanchez. O. (2015). Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/889969d0e5a0-48cf-a01d-54432324a595/content>
- Organización Meteorológica Mundial. (2022). *El cambio climático intensifica el calor extremo y la sequía*. Organización Meteorológica Mundial. Recuperado de <https://public.wmo.int/es>

Fernández García, J. (2009). *Las islas de calor en las ciudades: Factores que las generan y efectos sobre el cambio climático*. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org>

IDEAM. (2022). Informe anual del estado del clima en Colombia 2022. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2021). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en Colombia. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2020). Cambio climático y salud. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico>

World Meteorological Organization. (2023). *Climate change and heatwaves*. <https://wmo.int/content/climate-change-and-heatwaves>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). Informe anual del estado del clima en Colombia 2022. Recuperado de <https://www.ideam.gov.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2021). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en Colombia. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>

Chen, H., Yang, Y., Wang, Z., & Huang, H. (2021). Urban vegetation and microclimate: Effects on thermal environment. *Urban Climate*, 39, 100971. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100971>

Rossi, F., Auliciems, A., & Burton, T. (2019). Mitigating urban heat with vegetation: A microclimate approach. *Landscape and Urban Planning*, 185, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.012>

Song, J., Wang, F., & Hu, Y. (2022). Shadow mapping and urban heat mitigation: A data-driven approach. *Journal of Urban Management*, 11(2), 125-136.

<https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.10.003>

Zuluaga, J., Londoño, C., Parra, A., Arango, S., & Zalazar, M. (2023). *El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor urbana en el Caribe colombiano*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 12(3), 45-60.

Aragón, J. A., Rodríguez, E. D., Varón, G. A., & Sánchez, G. A. (2020). Análisis de Islas de Calor por medio de Imágenes Satelitales y Sistemas de Información Geográficos en el Área Urbana de la Sabana de Bogotá. *Revista de Geografía y Tecnología*, 15(2), 34-48.

Marín, J., Orozco, J., Villegas, M., Arango, C., Hernández, L., & López, R. (2023). Asoleamiento y radiación solar en diferentes zonas geográficas del Valle de Aburrá. *Revista de Geografía y Urbanismo*, 18(1), 12-29.

<https://www.redalyc.org/journal/3768/376875562006/html/>

Herrera, J. (2023). Metodologías de identificación de islas de calor urbanas y la influencia del arbolado urbano en su mitigación, un acercamiento desde el estado del arte. *Revista de Investigación Ambiental*, 12(1), 45-68.

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/8e13725d-181e-4999-8c5f-48fc213caa40/content>

Hsintzy Huang Lin. (2021). Mitigación de las Islas de calor urbanas mediante diseño residencial bioclimático. *Revista Internacional de Arquitectura y Urbanismo*, 18(2), 102118. <file:///C:/Users/USER/Downloads/mitigacion-de-las-islas-de-calor-urbanas-mediantedisenoresidencial.pdf>

Gambín, J. (2023). *Uso de drones para el control y extinción de incendios forestales*. Universidad Politécnica de Cartagena.

<https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/89fa13d7-6722-4513-a7ac-3233a3a37201/content>

(Neeraj prasad, 2009). *Ciudades resilientes al clima, una guía básica sobre la reducción de la vulnerabilidad de los desastres*.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YzmyP90Ek5UC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Climata+Resilient+Cities:+A+Primer+on+Reducing+Vulnerabilities+to+Disasters&ots=bv6nTcDOdE&sig=Etq7y7o3mukpMRsES7pXEqBxxNo#v=onepage&q&f=true>

(erick anderson, 2022) *Resiliencia climática urbana a través de infraestructura híbrida*,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343522000100#sec0035>

(Sol de Ranhao, 2016) *Efectos de la dinámica de los espacios verdes en las islas de calor urbanas: mitigación y diversificación.*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212041616301772>

(malcom Araos, 2015) *Adaptación de la salud pública al cambio climático en las grandes ciudades: una línea de base global.*

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0020731415621458>

(Klemm de Wiebke, 2018) *Desarrollo de directrices de diseño de infraestructura verde para la adaptación climática urbana.*

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/18626033.2017.1425320#d1e187>

(Samuel C Zipper, 2016) *Efectos de las islas de calor urbanas sobre la fenología de las plantas: variabilidad intraurbana y respuesta a la cobertura del suelo.*

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054023/meta#erlaa24des4>

(Nicola Weidmuller, 2024) *Escenario de planificación local para el sombreado de los árboles como una solución urbana basada en la naturaleza.*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259025202400014X#s0010>

(ANA T. AMORIM MAIA, 2023) *Buscando refugio: ¿pueden los refugios climáticos abordar vulnerabilidades interseccionales?*

<https://www.raco.cat/index.php/PapersIERMB/article/view/421354>

(Rodriguez, 2013) *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/0504c503-7703-4313-8106-878ba4c2edf8/content>

(Aldabe, 2018) *Potenciar la resiliencia de las ciudades y sus territorios de pertenencia en el marco de los acuerdos sobre cambio climático y de la Nueva Agenda Urbana*

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/4b86e0c0-5892-4783-be81-472ea5d1615e/content>

(Sarría, 2006) *Sistemas de Información Geográfica*

<https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

(garcia, 2021) *Análisis de la distribución e intensidad de las islas de calor urbanas superficiales diurnas (icus) en el cantón manta, manabí y su relación con la vegetación local y otras variables geográficas.*

<https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/180526/1/AN%C3%81LISIS%20DE%20LA%20DISTRIBUCI%C3%93N%20E%20INTENSIDAD%20DE%20LA%20ISLA%20DE%20C ALOR%20URBANA%20SUPERFICIAL%20DIURNA%20EN%20EL%20CANTON%20MA NTA.pdf>

(arias, 2020) *sostenibilidad urbana en el contexto latinoamericano y en el europeo.*

<file:///C:/Users/Nancy/Downloads/Dialnet-SostenibilidadUrbanaEnElContextoLatinoamericanoYEn-7672623.pdf>

(Luis sanchez, 2015) *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe Una revisión general*

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/889969d0-e5a0-48cf-a01d-54432324a595/content>

(mundial, 2020) *Lo que hay que saber sobre el cambio climático y la contaminación atmosférica* <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2022/09/01/what-you-need-to-know-aboutclimate-change-and-air-pollution>

(Esteve, 2023) *Que es el confort térmico y como se evalúa*

<https://blog.zeroconsulting.com/que-es-el-confort-termico-como-se-evalua>

(Rincon, 2020) *Confort térmico en edificios educativos naturalmente ventilados: un estudio en bioclima templado-seco*

<https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/3051/4329> (Alexander

Jonker, 2024) *¿Qué es la resiliencia climática?* <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/climate-resilience>

(Gutierrez, 2024) *Resiliencia Climática: el compromiso del PNUD hacia un futuro*

sostenible y equitativo <https://www.undp.org/es/el-salvador/blog/resiliencia-climatica-el-compromiso-del-pnudhacia-un-futuro-sostenible-y-equitativo>

(Katia villadiego, 2014) *Confort térmico exterior en un clima cálido y húmedo de Colombia: un estudio de campo en Barranquilla*

<https://www.researchgate.net/publication/260030793> *Outdoor Thermal Comfort in a Hot and Humid Climate of Colombia A Field Study in Barranquilla*

(Deliang Cheh, 2012) *Utilización de la clasificación de Köppen para cuantificar la variación y el cambio climático: un ejemplo para el período 1901-2010*

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211464513000328?via%3Dihub>
(Cañate Bello, 2013) *Problemática del espacio público en la localidad Norte Centro histórico en la ciudad de Barranquilla* <https://hdl.handle.net/11323/569>
- (POT, 2024) *Mapa de Barrios de Barranquilla Según el POT*
<https://www.datos.gov.co/Vivienda-Ciudad-y-Territorio/Mapa-de-Barrios-de-Barranquilla-Seg-n-el-POT/p57x-7s28>
- (Barranquilla, 2024) *Alcaldía de Barranquilla*
<https://www.barranquilla.gov.co/descubre/conoce-a-barranquilla/territorio>
- (Unisimon, 2024) *Universidad Simón Bolívar*
<https://www.unisimon.edu.co/experienciavirtual/index.html>
- (Valérie Masson-Delmotte, 2021) *limate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymaker*
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf
- (Ideam, 2015) *Nuevos escenarios de cambio climático*
<https://www.andi.com.co/Uploads/NUEVOS%20ESCENARIOS%20DE%20CAMBIO%20C LIM%C3%81TICO%20COLOMBIA%202011%20-%20202100.pdf>
- (Cascada Tuholske, 2021) *Exposición de la población urbana mundial al calor extremo*
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2024792118>
- (Kolokotsa, 2016) *Técnicas de mitigación del cambio climático local y de las islas de calor urbanas: el estado del arte*
https://www.researchgate.net/publication/289606394_Local_climate_change_and_urban_heat_island_mitigation_techniques_-_The_state_of_the_art
- (Canela Dobbs, 2023) *¿Estamos promoviendo ciudades verdes en América Latina y el Caribe? Explorando los patrones y los impulsores del cambio en la vegetación urbana*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837723003782>
- (Arellana, 2021) *Camina por aquí: Accesibilidad peatonal y equidad en Barranquilla y Soledad, Colombia*
<https://ideas.repec.org/a/eee/retrec/v86y2021ics0739885920302225.html>
- (Nelson, 2024) *Maximización del confort térmico de los peatones con imágenes de UAV y optimización espacial multiobjetivo*
https://www.researchgate.net/publication/378785640_Maximizing_the_Thermal_Comfort

of Pedestrians with UAV Imagery and Multiobjective Spatial Optimization (Zhao Xuexiu, 2020) *Análisis del entorno térmico en el espacio peatonal mediante imágenes térmicas 3D* <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3674>

(Juan Valente, 2020) *Recuento automatizado de plantas de cultivo a partir de imágenes aéreas de muy alta resolución*

<https://www.researchgate.net/publication/341535892> *Automated crop plant counting from very high-resolution aerial imagery*

(Margaret, 2017) *Los beneficios del microclima que las diferentes especies de árboles de la calle proporcionan a los peatones se relacionan con las diferencias en el índice de área de plantas*

<https://www.researchgate.net/publication/308365802> *Microclimate benefits that different street tree species provide to sidewalk pedestrians relate to differences in Plant Area Index*

(Josette McMichael, 2013) *Protección contra la radiación UV mediante paraguas de mano* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23553064/>

(Roloff, 2016) *Selección de especies para espacios de cultivo urbano: palmeras (Arecaceae)*

<https://www.researchgate.net/publication/307856408> *Species site matching Selecting palms Arecaceae for urban growing spaces*

(Spennemann, 2021) *El papel de las palmeras datileras canarias en la dotación de equipamientos físicos para entornos paisajísticos urbanos* <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/7/201>

(Diane pataki, 2021) *Beneficios y limitaciones de la plantación de árboles urbanos para la salud humana y ambiental* <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-andevolution/articles/10.3389/fevo.2021.603757/full>

