XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

O Papel da vegetação e da forma urbana na eficiência da sombra em um clima Tropical e quente

El rol de la vegetación y la forma urbana en la eficiencia de la sombra en un clima tropical y cálido

The Role of vegetation and urban form in shade efficiency in a tropical and warm climate

Iluminação natural de edifícios e ambientes urbanos/ *Iluminación natural de edifícios y entornos urbanos/ Natural lighting in buildings and urban environments*

Rodriguez-Potes, Lizeth

Doctora en Arquitectura, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, lizethrodriguez@mail.uniatlantico.edu.co

Resumo

Este estudo analisa a eficácia da sombra das árvores em ambientes urbanos com base na orientação das ruas e na incidência solar em um contexto de edifícios de quatro andares (H/W=0.6). O objetivo é avaliar o impacto das árvores urbanas na redução da radiação solar em fachadas e no solo. Foram realizadas medições comparativas entre ruas com e sem árvores em diferentes orientações (Norte-Sul, Leste-Oeste, Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste). Os resultados mostram que as orientações oblíquas (NeSo e NoSe) são mais eficazes na atenuação da radiação solar, enquanto a orientação Leste-Oeste oferece menos sombra. Conclui-se que a presença de árvores melhora significativamente a proteção solar das fachadas e do solo, fornecendo critérios importantes para o planejamento urbano e o design climático das cidades.

Palavras-chave: Sombra urbana, orientação das ruas, arborização urbana, design climático

Resumen

Este estudio analiza la eficacia de la sombra proporcionada por árboles en entornos urbanos según la orientación de la calle y la incidencia solar en un contexto de edificación de cuatro pisos (H/W=0.6). El objetivo es evaluar el impacto del arbolado urbano en la reducción de la radiación solar sobre fachadas y suelo. Se utilizaron mediciones comparativas entre calles con y sin árboles en distintas orientaciones (Norte-Sur, Este-Oeste, Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste). Los resultados muestran que las orientaciones oblicuas (NeSo y NoSe) presentan mayor eficacia en la atenuación de la radiación solar, mientras que la orientación Este-Oeste genera menor sombra. Se concluye que la presencia de árboles mejora significativamente la protección solar en las fachadas y el suelo, aportando criterios para la planificación urbana y el diseño climático de las ciudades.

Palabras clave: Sombra urbana, calles, arborización urbana, diseño bioclimático

Abstract

This study analyzes the effectiveness of tree shade in urban environments based on street orientation and solar incidence in a four-story building context (H/W=0.6). The objective is to evaluate the impact of urban trees on reducing solar radiation on facades and the ground. Comparative measurements were conducted between streets with and without trees in different orientations (North-South, East-West, Northeast-Southwest, and Northwest-Southeast). The results show that oblique orientations (NeSo and NoSe) are more effective in attenuating solar radiation, while the East-West orientation provides the least shade. It is concluded that the presence of trees significantly enhances solar protection for facades and the ground, offering valuable insights for urban planning and climate-responsive city design.

Keywords: Urban shade, Street, urban forestry, climate-responsive design

Introducción

Estudios previos han demostrado que la presencia de árboles en el entorno urbano mejora significativamente las condiciones bioclimáticas, comparando áreas con y sin vegetación. En Brasil, algunas especies arbóreas pueden reducir la radiación solar en un rango del 73,5% al 94,8% en verano y del 51,4% al 73,5% en (Abreu-Harbich, Lucila Chebel, & Matzarakis, 2015). En Colombia, específicamente en ciudades costeras como Barranquilla, estudios realizados por Rodríguez-Potes (2011) han encontrado que especies nativas como la Mangifera indica pueden proporcionar reducciones de temperatura superficial de hasta 1,7°C en comparación con áreas sin arborizar. Este efecto depende de factores como la densidad y estructura de la copa (LAI), la morfología de las hojas y la edad del árbol. Así, la vegetación se consolida como una estrategia eficaz para mitigar el estrés térmico en ciudades con climas cálidos.

Metodología

Las condiciones de estudio se simularon para la ciudad de Barranquilla, ciudad localizada a 10°59'16" latitud Norte, 74°47'20" longitud oeste, en el norte de Colombia, a una altitud de 18 metros sobre el nivel del mar. El clima de Barranquilla está clasificado como Tropical con invierno seco (Aw según la clasificación climática de Köppen). La temperatura media de Barranquilla es 27,6° C, la humedad relativa media anual es de 81% y los vientos predominantes son los alisios con velocidades entre 2,2 y 5,3 m/s (IDEAM).

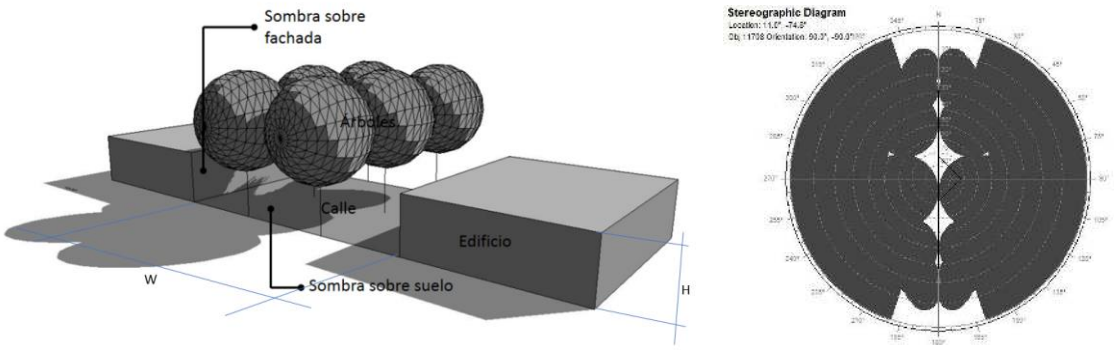
Selección de tipología urbana: Se seleccionaron los casos de estudio considerando la clasificación climática Local Climate Zones LCZ 6 Open Lowrise. El LCZ (Local Climate Zone) propuesto por Stewart y Oke (Oke & Stewart, 2010) es una clasificación climática en la escala local y micro que se fundamenta en las características de la morfología urbana, como la geometría, el SVF y la cobertura de la superficie. Se priorizó la geometría de altura-ancho (H/W) más frecuente en la ciudad: de 0,6. El coeficiente H/W es la relación entre la altura (H) de los edificios y el ancho (W) de la calle, propuesta por Oke y denominada Aspect ratio

(1988). Según el estudio realizado por Villadiego Bernal (2014), esta relación H/W representa aproximadamente el 35% de las calles del área urbana consolidada de Barranquilla, lo que garantiza la relevancia del modelo para el contexto local. Se establecieron diversas orientaciones del eje vial (N-S, E-O, NO-SE, NE-SO) con el fin de evaluar variaciones en la incidencia solar. Las dimensiones de la calle son de 14 a 22 metros de ancho y la altura entre 1 y 3 pisos.

Selección de especie arbórea: La especie Mangifera indica (mango) fue seleccionada por ser una especie común en el contexto urbano de Barranquilla, de follaje perennifolio, con una copa densa que proporciona sombreado constante durante todo el año. Las dimensiones modelizadas para el árbol fueron: altura total 12 m, altura del tronco 3 m, y diámetro de copa 8m, correspondiendo a ejemplares maduros comúnmente encontrados en la ciudad.

Configuración y simulación de escenarios: Se generaron configuraciones urbanas que combinaron calles con árboles y sin árboles con el objetivo de analizar el impacto de la vegetación en la generación de sombra. Los casos fueron modelizados para el 21 de junio (solsticio de verano) con la ayuda de las herramientas "Sunpath", "Shadow display" y SVF (Sky view factor) del software Ecotect Analysis 2010, lo que permitió obtener los porcentajes de sombra proyectada por edificaciones y vegetación en distintos momentos del día (cada hora entre las 8:00 y las 17:00).

Ilustración 1. Sombra producida por el árbol en fachadas y en suelo. Sky view factor de la calle: 0.2



Fuente: autor.

Resultados

Se compararon los valores de sombra generados en superficies verticales (fachadas) y horizontales (suelo) para evaluar las diferencias según la presencia de árboles y la orientación de la calle (Tabla 1). Para determinar la significancia estadística de estas diferencias, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (orientación y presencia de árboles), seguido de pruebas post-hoc de Tukey para comparaciones múltiples cuando el ANOVA resultó significativo ($p<0.05$). Adicionalmente, se calculó la magnitud del efecto mediante η^2 parcial para cuantificar la proporción de variabilidad explicada por cada factor y su interacción.

Tabla 1. Porcentajes de sombra para los tipos de caso estudiados.

Hora	Sombra N-S, Suelo	Sombra N-S, Suelo (sin árbol)	Sombra E-O, Suelo	Sombra E-O, Suelo (sin árbol)	Sombra Noreste-Suroeste, suelo	Sombra Noreste-Suroeste, suelo (sin árbol)	Sombra Noroeste-Sureste, suelo	Sombra Noroeste-Sureste, suelo (sin árbol)
08:00	83%	72%	69%	7%	99%	86%	77%	48%
09:00	83%	61%	63%	5%	99%	67%	74%	39%
10:00	79%	49%	43%	5%	99%	61%	72%	38%
11:00	68%	38%	41%	5%	83%	44%	77%	38%
12:00	77%	36%	49%	5%	68%	38%	41%	5%
13:00	41%	5%	51%	12%	36%	0%	59%	15%
14:00	71%	14%	57%	16%	43%	5%	92%	33%
15:00	83%	29%	76%	16%	62%	5%	99%	38%
16:00	83%	44%	99%	24%	69%	7%	99%	53%
17:00	75%	72%	88%	54%	59%	28%	99%	94%
Promedio	74%	42%	64%	15%	72%	34%	79%	40%

Fuente: autor

Análisis del efecto de la orientación y los árboles en el sombreado

El análisis de varianza (ANOVA) de dos factores reveló efectos principales significativos tanto para la orientación de la calle ($F(3,72) = 5.28$, $p < 0.01$, η^2 parcial $= 0.18$) como para la presencia de árboles ($F(1,72) = 187.42$, $p < 0.001$, η^2 parcial $= 0.72$). Además, se encontró una interacción significativa entre ambos factores ($F(3,72) = 4.13$, $p < 0.01$, η^2 parcial $= 0.15$). La prueba post-

hoc de Tukey mostró que las orientaciones oblicuas (NE-SO y NO-SE) no difieren significativamente entre sí ($p = 0.74$), pero ambas proporcionan niveles de sombreado significativamente mayores que la orientación E-O ($p < 0.01$ para ambas comparaciones).

Eficacia de la sombra en fachadas: En la orientación norte-sur, la eficacia del árbol para dar sombra es menor comparada con las orientaciones oblicuas, con una diferencia media de 32% ($p < 0.001$), especialmente marcada entre las 13:00 y 15:00, cuando alcanza hasta un 54%. La orientación este-oeste recibe menor radiación solar total, pero presenta la menor eficacia del árbol en sombrear fachadas (49%, $p < 0.001$), ya que la sombra proyectada es poco prolongada: la fachada norte queda expuesta y la sur en sombra, con mínima contribución del árbol. En la orientación noreste-suroeste (NeSo), la sombra del árbol es más eficaz (38%, $p < 0.001$), gracias al ángulo de incidencia solar que permite cubrir mayor área de fachada durante las horas críticas. La orientación noroeste-sureste (NoSe) también muestra alta eficacia (39%, $p < 0.001$) y la mayor consistencia diaria en el sombreado (coeficiente de variación de 0.24), en comparación con N-S (0.31), E-O (0.29) y NE-SO (0.32).

Eficacia de la sombra sobre el suelo: En orientación norte-sur, la eficacia del árbol es baja (incremento medio de 32 puntos porcentuales, $p < 0.001$), sobre todo cerca del mediodía. La orientación este-oeste vuelve a mostrar el menor sombreado en el suelo (49 puntos porcentuales, $p < 0.001$), debido a la alta trayectoria solar que limita la proyección de sombra. En orientación NeSo, el sombreado es mayor (38 puntos porcentuales, $p < 0.001$), con beneficios significativos en la mañana (8:00-12:00). En NoSe, el incremento medio de sombreado es de 39 puntos ($p < 0.001$), con un aporte máximo en la tarde (14:00-16:00), alcanzando hasta 61 puntos porcentuales.

Conclusión

El análisis de la sombra de los árboles en distintas orientaciones revela que las direcciones noreste-suroeste (NeSo) y noroeste-sureste (NoSe) son las más efectivas para generar sombra en calles y fachadas durante el solsticio de verano. La orientación este-oeste es la menos favorable, ya que, aunque recibe menor radiación total, la sombra proyectada es reducida y poco prolongada. Los resultados estadísticos confirman que tanto la orientación de la calle como la presencia de árboles tienen efectos significativos en el nivel de sombreado, siendo la presencia de árboles el factor dominante (η^2 parcial = 0.72). La interacción significativa entre ambos factores sugiere que el diseño urbano debe considerar simultáneamente la orientación y la estrategia de vegetación para optimizar el confort térmico.

Bibliografía

Abreu-Harbich, L.; Chebel, L. L.; Matzarakis, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. **Landscape and Urban Planning**. v. 138, p. 99-109, 2015.

IDEAM – Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. Atlas climatológico de Colombia. [S. l.]: [s. n.], [s. d.].

Oke, T. R.; Stewart, I. Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. In: **9th Symposium on Urban Environment.** Keystone, CO, 2010.

Oke, T. R**.** Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**. v. 11, p. 103-113, 1988.

Rodríguez-Potes, L. Análisis de las condiciones que impiden la plantación de árboles según los principios de la silvicultura urbana en el nororiente de Barranquilla. **Revista Módulo.** v. 1, n. 10, p. 55-83, 2011.

Villadiego Bernal, K. Une lecture de la forme urbaine et des microclimats : le cas de Barranquilla. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Université Aix-Marseille, França, 17 nov. 2014.