

Leidy Milena Marín-Bedoya
 David Alejandro Orozco-Gallo
 Juan Camilo Villegas-Echavarría
 John Arango-Flórez
 Yury Andrea Hernández-Duque
 Daniel López-Álvarez

Asoleamiento y radiación solar en diferentes zonas geográficas del Valle de Aburrá

Sunlight and Solar Radiation in Different Geographical Zones of the Aburrá Valley

RESUMEN: El relieve topográfico del Valle de Aburrá genera condiciones climáticas variables a lo largo de su territorio, que no se toman en cuenta en las decisiones urbanísticas. El objetivo de la investigación fue establecer las diferencias de asoleamiento y radiación en distintas zonas, definir factores que influyen en su variabilidad, y proponer alternativas para diferentes condiciones. Se seleccionaron y modelaron nueve manzanas en ladera y planicie, en tres franjas del valle, y se hicieron simulaciones mediante programas computacionales para definir los microclimas en cuanto a asoleamiento y radiación. Se concluye que: existen diferencias climáticas importantes entre las laderas oriental, occidental y la planicie; la radiación solar en las vías se reduce, según su orientación y arborización; los municipios al sur tienen mejor desempeño en la atenuación de la radiación; la radiación en las fachadas al poniente difiere hasta un 29% y las calles en sentido oriente - occidente tienen más tiempo de radiación solar por día como promedio.

PALABRAS CLAVE: arquitectura bioclimática, clima tropical andino, radiación solar, asoleamiento, habitabilidad, Valle de Aburrá

ABSTRACT: The topographic relief of the Aburrá Valley generates variable climatic conditions throughout its territory, which are not taken into account in urban planning decisions. The objective of the research was to establish differences in sunlight and radiation in different areas, define factors that influence its variability, and propose alternatives for different conditions. Nine blocks on slopes and plains were selected and modeled, in three strips of the valley, and simulations were made using computer programs to define microclimates in terms of sunlight and radiation. It is concluded that: there are important climatic differences between the eastern and western slopes and the plain; solar radiation on the roads is reduced, depending on their orientation and tree planting; the municipalities to the south have a better performance in radiation attenuation; radiation on the façades to the west differs by up to 29%; and the streets in the east-west direction have more solar radiation time per day on average.

KEYWORDS: bioclimatic architecture, tropical andean climate, solar radiation, sunlight, habitability, Aburrá Valley

RECIBIDO: 10 diciembre 2022

ACEPTADO: 15 febrero 2023

Introducción

El Valle de Aburrá está ubicado en Antioquia, Colombia, sobre la cordillera central del sistema montañoso de los Andes, y comprende los municipios de Caldas, Sabaneta, La Estrella, Envigado, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa. Tiene una longitud de 60 km, que son atravesados en su totalidad por el Río Aburrá [1]. Su población asciende a 3 866 000 habitantes, lo cual corresponde al 60% de la población en Antioquia.

El Valle de Aburrá, cuenta con un clima tropical andino, enmarcado en montañas que oscilan entre los 1 300 y 2 800 metros sobre el nivel del mar, y tiene condiciones ambientales continuamente cambiantes, con temperaturas entre los 17°C y 28°C y humedad relativa entre 40% y 70% . [1]

Geográficamente, el Valle de Aburrá está conformado por dos laderas escarpadas el los costados oriente y occidente, atravesadas por el Río Medellín en sentido sur-norte, a esta estructura topográfica se le superpone un trazado urbano en damero que configura a la conurbación central del Valle de manera paralela y perpendicular al río, generando vías en sentido oriente occidente que presentan pendientes de entre el 5% y el 50%, incluso más [2] en muchos casos vías impracticables para los vehículos cuya única configuración posible es en forma de escaleras peatonales. Estas condiciones diferenciadas de altitud e inclusive de orientaciones del damero rotadas con respecto al norte, generan una variedad de microclimas que definen en mayor o menor medida la vida cotidiana de los habitantes y no han sido caracterizadas de manera sistemática para mejorar la toma de decisiones en el desarrollo del territorio.

A pesar de esta condición climática cambiante del valle, los actores involucrados en el desarrollo urbano (diseñadores, planificadores, constructores, albañiles, auto constructores, entidades gubernamentales, etc.) basan los procesos de toma de decisión en materia urbanística en datos bioclimáticos homogenizados de las condiciones climáticas de la ciudad, lo que puede generar inconsistencias entre las formas urbanas y arquitectónicas y las condiciones microclimáticas de los distintos sectores de la ciudad, afectando así la calidad de vida de sus habitantes.

Se sostiene la hipótesis de que estos factores climáticos se ven afectados principalmente por las condiciones geográficas cambiantes, además del trazado urbano, el arbolado, y las intervenciones paisajísticas, que generan una serie de microclimas dependiendo de la localización.

Es por ello que este estudio planteó como objetivo establecer las diferencias de asoleamiento y radiación en diferentes zonas del Valle de Aburrá, que abarcan la planicie y las laderas oriental y occidental, para definir los factores que influyen en su variabilidad, e igualmente, proponer diferentes alternativas en las condiciones asociadas a estos fenómenos, para un mejoramiento en la calidad de vida de los moradores en los lugares de estudio.

Marco teórico

Microclimas, relaciones entre geografía, estructura urbana, arbolado y radiación solar

El microclima se define como aquello “que caracteriza a una zona urbana a pequeña escala, y está constituido por la influencia del entorno construido en las condiciones climáticas a mayor escala. Las variables atmosféricas de un microclima pueden desviarse sustancialmente de las condiciones que prevalecen en una zona más amplia. En otras palabras: el diseño de una

[1] Área Metropolitana Valle de Aburrá [Internet]. 2019 [consultado: 24 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/area/Paginas/somos/Historia.aspx>

[2] Muñetón-Pérez JC, Sepúlveda-Morales CM, Pérez-Quintero M, Jurado-Santander BC, Higuera-Rodríguez A, Cerón-Gómez S, et al. Incidencia de las condiciones materiales y morfológicas de la estructura urbana y el espacio vial de las laderas del Valle de Aburrá en el comportamiento humano. En: Sexto Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable MACDES. La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae; 2022. p. 3487-98.

ciudad y sus componentes establece las condiciones de sus microclimas [3]. En este sentido, el contexto urbano del Valle de Aburrá está constituido por microclimas definidos por la morfología urbana, el crecimiento de la ciudad y la topografía en ladera [4], factores que establecen variables que cambian según el sector, influenciando la ventilación, la radiación y la temperatura urbanas y por tanto los modos de vida de los habitantes de la ciudad. [2] [5] [6].

A su vez, la arborización en climas tropicales se vuelve esencial para el confort climático urbano exterior, afectado por el viento, el sol y la temperatura [7]. Se ha comprobado que la intervención paisajística en forma lineal es la más eficiente para generar sombra en esquemas urbanos en damero. Sin embargo, en trazados orgánicos adaptados a las pendientes propias del terreno, la eficiencia del arbolado urbano no está en función de su ubicación geométrica perfectamente alineada al eje de la vía, sino que, en cambio, es necesario buscar nichos “problemáticos”, donde las condiciones de radiación y temperatura sean críticas, y generar allí pequeños bosques diseñados especialmente para ese tipo de espacios [8], igualmente este tipo de intervenciones se puede complementar con la implementación de elementos verdes en fachadas, patios y cubiertas, además de la construcción de parques, de tal manera que se logre disminuir entre 1 y 4,7 °C la temperatura de cada uno de estos espacios.

La generación de este tipo de intervenciones trae grandes beneficios más allá de lo ornamental: “el mejoramiento del microclima urbano a partir de la reducción de la temperatura ambiente, la humectación del aire, la intercepción del agua de lluvia, la regulación y control de iluminación natural, aumento de la biodiversidad, disminución de los gases de invernadero, entre otros” [8, p. 8].

Adicionalmente existen otra variedad de factores como: el albedo, el ozono y la altitud y latitud que influyen directamente en la temperatura y el viento [9]. Por ejemplo, la latitud en la zona tórrida determina la inclinación de los ángulos solares los cuales inciden de manera directa garantizando radiación solar durante todo el año. Este tipo de fenómenos afectan las condiciones de confort térmico en las personas, tanto en interiores como en exteriores, debido al comportamiento térmico del espacio [6] [10].

De igual forma, el estudio de la radiación es importante, pues se conoce que una exposición prolongada a la radiación ultravioleta (UV) “puede provocar daños severos en la piel y alteraciones en la salud, y el sistema inmune, cambios y degeneración de las células y tejidos fibrosos” [9, p. 1], así que conociendo el índice ultravioleta (IUV) en zonas específicas, es posible plantear estrategias urbanas adecuadas con el propósito de proteger a las personas de la exposición excesiva de los rayos del sol.

Materiales y método

Para el desarrollo del presente trabajo se seleccionó una muestra conformada por nueve manzanas, distribuidas en tres franjas transversales al río Aburrá (tres manzanas por franja), ubicadas en: ladera occidental, ladera oriental y planicie, o fondo del valle respectivamente. Se realizó el modelado de cada una de ellas, y se generaron simulaciones computacionales de radiación y asoleamiento de un año promedio, cuyos datos arrojados permitieron, mediante un método inductivo analítico, definir la serie de microclimas presentes a lo largo del Valle. (Figura de la portada).

- [3] Pijpers-van Esch M. Designing the Urban Microclimate: A framework for a design-decision support tool for the dissemination of knowledge on the urban microclimate to the urban design process. A+BE | Architecture and the Built Environment [Internet]. 2015 [consultado: 9 de julio de 2023]; [6]:[1-308 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.7480/abe.2015.6.905>
- [4] Salazar JH, Arango-Flórez J. Zonas de similitud y diferencia térmica en el área urbana del Valle de Aburrá, Colombia. En: Sexto Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable MACDES. La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana, Cujae; 2022. p. 3432-42.
- [5] García-Cardona AA, Herreño-Tellez E, Hernández-Duque YA, Arango-Flórez J. Condiciones geoclimáticas y sociodemográficas de espacios urbanos en el clima tropical andino, caso de estudio zona norte Medellín, Colombia. En: Sexto Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable MACDES. La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana, Cujae; 2022. p. 3479-86.
- [6] Cerón-Gómez S, Fernández-Aguirre B, Gómez-Castaño MC, Higuera-Rodríguez A, López-Álvarez D, Muñeton-Pérez JC, et al. Comparación simultánea de condiciones térmicas de zonas urbanas en laderas de Medellín, Colombia. En: Sexto Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable MACDES. La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana, Cujae; 2022. p. 3499-509.
- [7] Zuluaga SC, Londoño F, Restrepo MC, Parra E, Arango L, Salazar JH. El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor urbana en el Caribe colombiano. En: Sexto Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable MACDES. La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana, Cujae; 2022. p. 3470-8.
- [8] Castillo AL, Correa EN, Cantón MA. Incidencia de la permeabilidad solar forestal en el comportamiento térmico de urbanizaciones adaptadas a áreas piedemontanas. Estoa [Internet]. 2022 [consultado: 9 de julio de 2023]; 11(21):[7-20 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.18537/est.v011.n021.a01>
- [9] Ernst MJ, Charadía RA, Gonzalez PS. Caracterización del índice ultravioleta de riesgo solar en Concepción del Uruguay [trabajo de curso]. Universidad Tecnológica Nacional, 2020. Disponible en: <http://jei.fagdut.org.ar/files-jei/TRABAJO%2020.pdf>
- [10] Rajkumar S, Amirtham LR, Horrison E. Thermal Comfort assessment of a Studio Classroom in Hot & Humid Climate Conditions. En: ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment. Toulouse, France: World Meteorological Organization; 2015. 6 p.

Como criterios para la selección de las franjas se tuvieron: a) que pasen por distintos municipios del Valle de Aburrá, b) que sean transversales al río, c) que la amplitud del valle varíe en cada una de ellas, y d) que las condiciones topográficas, o las pendientes en las zonas de estudio, fueran variadas. (Figura 1).



Figura 1. Sección de la Franja 02 Medellín, Fuente Autores, 2022.

Para la selección de las manzanas, igualmente se buscó diversidad en los casos de estudio: a) manzanas con distintas formas de ocupación urbana, y con variedad de formas edilicias, b) que tuvieran distintas conformaciones de arbolado urbano o, incluso, ausencia del mismo, y c) que el tamaño de las parcelas y las alturas de las edificaciones fueran diversos, al igual que las secciones de vía. En general, se buscaron casos de estudio dispares, para lograr evidenciar la mayor cantidad posible de condiciones microclimáticas asociadas al asoleamiento, y así poder identificar cuáles de ellas poseían mejor desempeño.

Recolección y organización de la información

Para llevar a cabo las simulaciones fue necesario establecer un sistema para ordenar la información, permitiendo así su posterior organización y acceso, tanto para el modelado de las manzanas, como para la ejecución de las simulaciones. Para ello se llevaron a cabo las siguientes acciones:

Codificación de manzanas: Se propuso la siguiente tabla de nomenclatura para las manzanas (Tabla 1) para facilitar la identificación, ordenamiento y almacenamiento de la información generada.

Tabla 1. Nomenclatura de manzanas de estudio.

FRANJA	CÓDIGO	CONTENIDO
Franja 01: Bello	F1_ME	Franja 1; manzana este
	F1_MC	Franja 1; manzana centro (fondo de valle)
	F1_MO	Franja 1; manzana oeste
Franja 02: Medellín	F2_ME	Franja 2; manzana este
	F2_MC	Franja 2; manzana centro (fondo de valle)
	F2_MO	Franja 2; manzana oeste
Franja 03: Itagüí - Envigado	F3_ME	Franja 3; manzana este
	F3_MC	Franja 3; manzana centro (fondo de valle)
	F3_MO	Franja 3; manzana oeste

Fuente: Autores, 2022.

Modelado de manzanas

Se procedió a la modelación digital y posterior simulación computacional de las zonas de estudio, utilizando los aplicativos Sketchup™, Rhinoceros™ y Climate Studio™. Fueron usadas las siguientes condiciones o protocolos:

- Los modelos se realizaron en Sketchup™ (formato .SKP).
- Se modeló únicamente el contexto inmediato a la manzana, esto es, los predios perimetrales al modelo resultante, de tal manera que quedaron solo las edificaciones con incidencia de sombra directa sobre la zona de estudio. No hubo ninguna geometría en la parte inferior al piso del modelo, y en general, se depuró cualquier objeto que no incidiera directamente en la manzana en estudio.
- Se nombró cada archivo resultante conforme al código alfanumérico correspondiente a cada manzana.
- Se orientó el modelo con norte real y se localizó en un punto cercano al origen.
- Se aplicó el siguiente esquema de nomenclatura de capas para su organización y manejo, discriminado por material: árbol, viento, asfalto, concreto, enchape piedra - cerámica, follaje, ladrillo, metal, revoque - pintura color, revoque - pintura blanco, teja de barro, teja de asbesto-cemento, tronco árbol, vidrio y zona verde. La reducción del número de materiales a los mencionados, facilitó la ejecución de la simulación, por disminuir la cantidad de variables y cálculos a realizar por parte del software.
- Se utilizó un nivel de detalle bajo: se modeló sólo una cara frontal en representación de toda la fachada de cada predio, sin incluir vanos, voladizos, escaleras, accesos, etc. Igualmente, las cubiertas se modelaron planas y representadas en una sola cara por edificación.
- Se verificó que la orientación de las caras fuera la correcta, esto es, que quedaran con la fachada de la textura primaria hacia afuera, para evitar problemas con el reconocimiento de estas.
- Se explotó el modelo para que quedara sin componentes o grupos, de tal manera que fuese correctamente procesado posteriormente al importarlo en la aplicación Rhinoceros™.

Bajo estas condiciones, se procedió a trasladar la información de los modelos en formato .SKP, a .3DM, del software Rhinoceros™, e igualmente cada modelo se nombró con la nomenclatura correspondiente al código de la manzana.

Simulación de los modelos computacionales

Se realizaron las simulaciones computacionales en el Plug In Climate Studio™ (complemento o extensión de la aplicación Rhinoceros™), bajo las siguientes condiciones:

- *Asignación de materiales:* se usaron materiales genéricos en representación de cada capa utilizada (Tabla 2).

Tabla 2. Materiales de Climate Studio™ asignados a las capas de trabajo de Sketchup.™.

CAPA	MATERIAL DE CLIMATE STUDIO™
Asfalto	asphalt road
Árbol	tree foliage
Ladrillo	red brick
Metal	media lab metal
Enchape piedra - cerámica	stone decorative wall
Revoque blanco	white painted wall
Teja de barro	ceramic stone tile
Teja de eternit	grey ceramic tile floor
Tronco árbol	arbol-tree truck
Vidrio	SageGlass clear
Zona verde	grass 3

Fuente: Autores, 2022.

- *Distancia entre sensores:* se dejaron los valores por defecto (4,80 m) tanto en fachadas como en cubiertas de las edificaciones, e igualmente en las caras representativas de árboles. Sobre el nivel de piso, se colocaron a 1 m, al ser un plano de análisis que requiere más nivel de detalle.
- Se comprueba la orientación de las caras en el sentido correcto, para que el plano de análisis fuera consistente en todo el modelo.
- Se usó el archivo climático de la ciudad de Medellín. (fCOL_ANT_Medellin-Olaya.Herrera.AP.801100_TMYx.2007-2021.epw), disponible en: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/COL_Colombia/index.html#IDANT_Antioquia-
- La información derivada de cada simulación y modelo se organizó en una carpeta con el código correspondiente a cada manzana.

Análisis de la información obtenida

Una vez ejecutadas las simulaciones, se procedió a presentar descriptivamente los resultados arrojados en cada caso, mediante la extracción de imágenes de los modelos 3D con los sensores y escalas de colores, al igual que los gráficos de barras que resumen las condiciones de cada zona.

Tanto la tabla de datos preliminares, como los resultados obtenidos en las simulaciones, se sometieron a un proceso de inducción analítica. Mediante este método se llegó a generalizaciones que permitieron caracterizar climáticamente cada franja a partir de los

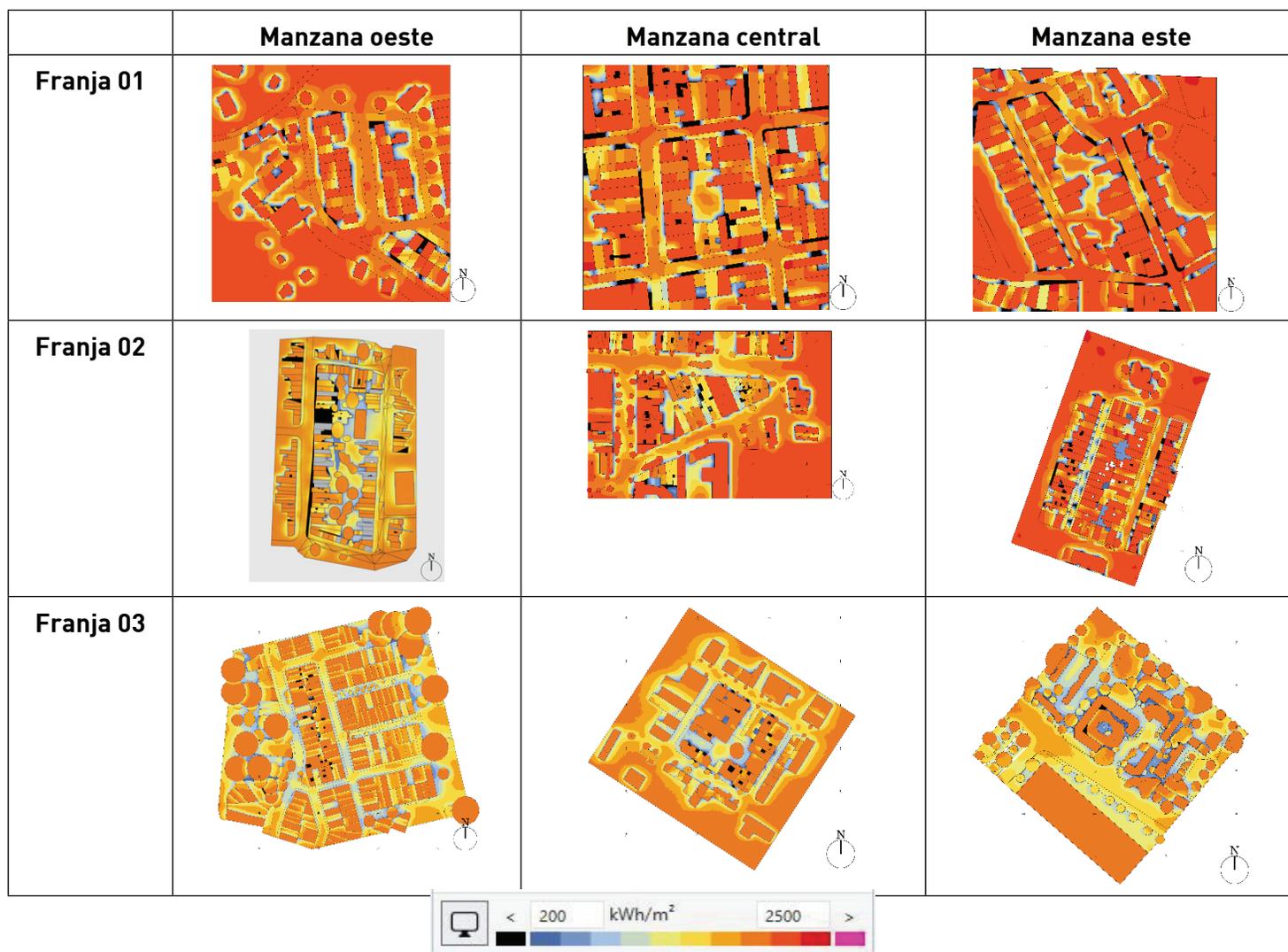
hallazgos particulares de cada manzana. Este método, como lo menciona Chávez, “separa lo esencial de lo accidental para formular generalizaciones aplicables a contextos similares identificando palabras, expresiones, categorías, fenómenos, patrones o recurrencias” [11].

Resultados y discusión

Una vez simuladas las condiciones térmicas de las zonas de estudio, se procedió a organizar los resultados de cada una de las categorías descritas a continuación, mediante la tabulación de los kWh/m² de cada sensor en cuestión, y así determinar el comportamiento típico de cada zona. Para la estimación de la naturaleza o las características de cada zona, se compararon tanto las manzanas entre franjas, como las franjas en conjunto, para determinar así cuáles podrían ser las condiciones que generan mayores o menores incidencias de radiación sobre las edificaciones y el espacio urbano (Tablas 3 y 4).

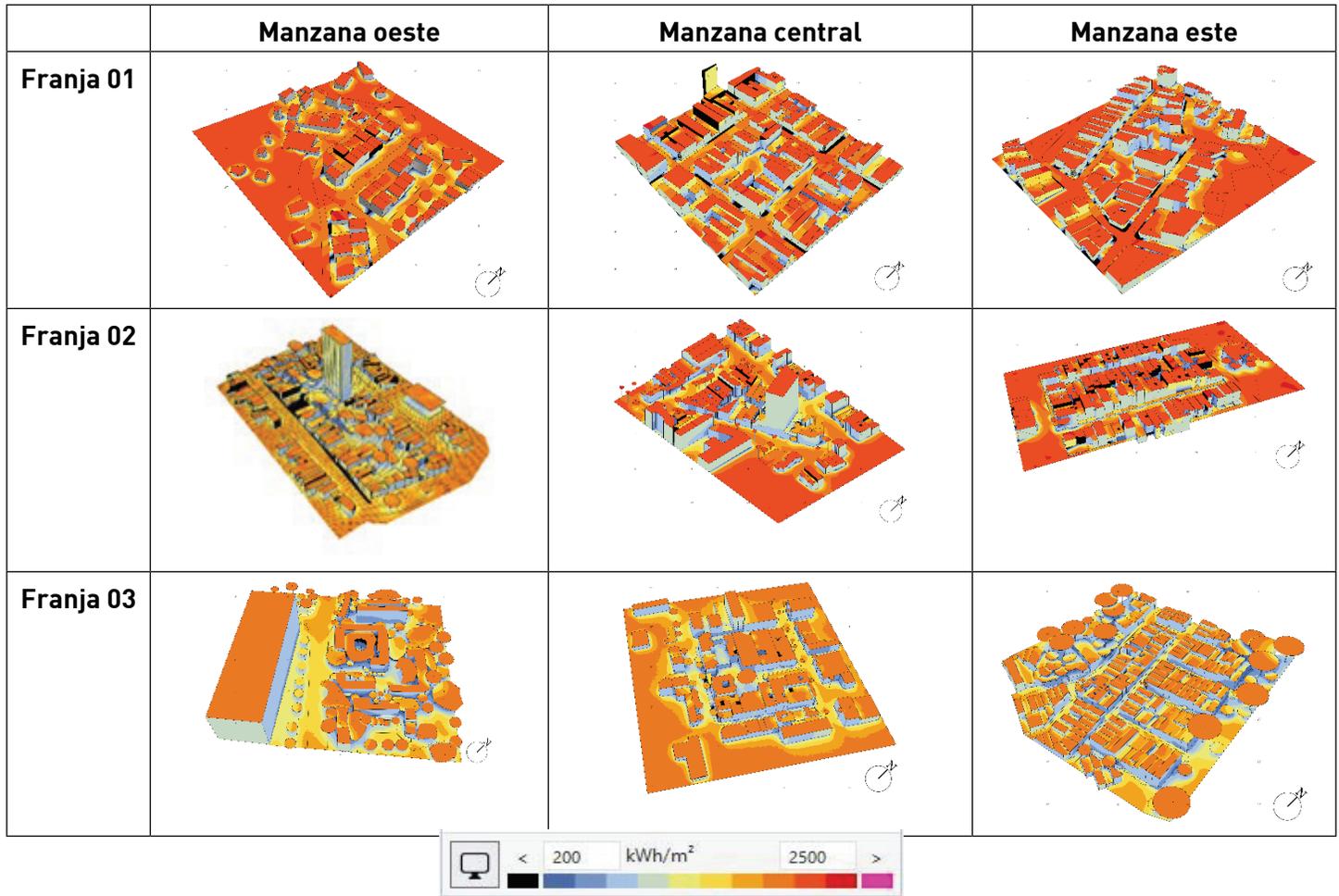
[11] Chávez-Giraldo JD. La investigación en los campos de la arquitectura: reflexiones metodológicas y procedimentales. Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2015. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79559>

Tabla 3: Resultados de las simulaciones de las manzanas estudiadas en planta.



Fuente: Autores, 2022.

Tabla 4. Resultados de las simulaciones de las manzanas estudiadas en vista superior.



Fuente: Autores, 2022.

Reducción de radiación solar por medio del arbolado urbano

La franja 1 se caracterizó por tener una alta densidad urbana, con edificaciones de poca altura y secciones viales reducidas, que no permiten la siembra de jardines ni el crecimiento de árboles, por lo que es la zona de estudio en la cual se registraron mayores índices de radiación solar (entre 23,6% y 35,3%); la manzana con menor incidencia de radiación solar fue la F1_M0, donde se presentaba una mayor extensión de zonas verdes, y un mayor número de individuos arbóreos generadores de sombra.

En la franja 2 se identificaron individuos arbóreos distribuidos de manera dispersa, pero con un mejor desempeño que en la franja 1, debido a que estaban presentes en mayor cantidad gracias a los beneficios propios de una sección urbana más amplia. Fue llamativo encontrar que la manzana en la cual se distribuía una mayor cantidad de árboles en el espacio urbano (F2_MC), fue donde menor reducción de radiación ocurrió (29,2%), muy posiblemente debido al reducido tamaño de copa de los árboles y a la lejanía entre ellos.

Se podría decir que la franja 3 fue la única en la que se vieron intenciones claras de generar bosques urbanos en las distintas zonas de las manzanas

estudiadas, y es por esto que es allí donde hubo mayores índices de reducción de radiación. El éxito del arbolado urbano distribuido a lo largo de esta franja residió posiblemente en la diversidad de altitudes y anchos de copa de las especies utilizadas, donde, no solo había un gran árbol que cubría el espacio, sino que también había una serie de especies de menor envergadura a una altura más baja que tamizaban la radiación solar que pasaba por entre las primeras ramas, y funcionaban como un sistema natural para mejorar notablemente las condiciones de confort lumínico de los espacios donde estas se ubican (Figura 2).

Incidencia de radiación solar en las fachadas

Las fachadas orientadas al poniente reciben radiaciones distintas entre laderas. Estas presentaron leves diferencias entre las franjas 1 y 2, las cuales están geográficamente más cercanas entre sí, y tienen emplazamientos similares en la retícula del trazado urbano que tiende al sentido oriente - occidente, y norte - sur. Según el gráfico (Figura 3) se puede decir que, en este conjunto de casos de estudio, existe una variación de 156 kWh/m² (variaciones de hasta 15%).

En el caso de las manzanas de la franja 3, se aprecian disminuciones sustanciales de radiación respecto a las manzanas de las otras franjas: en la F3_MC hubo un registro de 781 Kw/m²; en la F3_ME, 766 Kw/m²; y en la F3_MO, 779 Kw/m². A pesar de que las edificaciones tienden a ser más altas en esta zona, por lo cual se esperaría que hubiese una mayor incidencia del sol en las fachadas, se puede atribuir la atenuación del fenómeno al conjunto de árboles que es recurrente en el espacio urbano de la zona de estudio. Esta reducción podría también explicarse por el trazado urbano, en diagonal del damero, de tal forma que no está alineado en sentido norte - sur, lo que genera una incidencia solar indirecta sobre las fachadas, e incluso, ocasiona que en algunas épocas del año los rayos solares no lleguen a ellas.

Radiación sobre patios

La radiación incidente sobre los patios aparentemente no tuvo un comportamiento asociado a la zona geográfica donde se ubican las edificaciones, y mucho menos por la tipología urbana donde se emplazan. En tal sentido, se identificaron mediciones similares en patios de áreas parecidas, e igualmente un comportamiento influenciado por el arbolado ubicado en estos espacios, que posiblemente redujo de forma significativa los rayos solares (Figura 4).

Diferencias de radiación según orientación de las calles

Las calles, de forma recurrente, resultaron ser más calientes que las carreras, con diferencias de entre 200 y 300 Kw/m², debido a que están ubicadas de tal forma que el sol incide sobre ellas casi todo el día, la mayor parte del año. Las calles y carreras con trazados más orgánicos presentaron variaciones muy leves de radiación recibida. Incluso se puede dar que las carreras reciban más radiación que las calles: este es el caso de la F1_MO, y la F1_ME, y este comportamiento se atribuye al trazado irregular de las vías, y a la sección vial que es más amplia en las carreras (Figura 5).

Por último, se continuó identificando una tendencia en la que las manzanas de la franja 3 presentaban una importante reducción en la incidencia solar, tanto en las calles como en las carreras.



Figura 2. Resultados de incidencia del arbolado urbano en la reducción de la radiación. Fuente: Autores, 2022.



Figura 3. Incidencia de radiación solar en las fachadas localizadas al poniente. Fuente: Autores, 2022.



Figura 4. Incidencia de radiación solar en patios. Fuente: Autores, 2022.



Figura 5. Incidencia de radiación solar sobre andenes de calles trazadas en sentido norte - sur, y oriente - occidente. Fuente: Autores, 2022.

Radiación incidente en las cubiertas

Las cubiertas tuvieron comportamientos muy homogéneos a lo largo de todo el valle, e inclusive entre franjas de estudio, los datos simulados se asemejaron de una manera mucho más clara, a excepción de la franja 2. La diferencia entre los mayores y menores registros promedio fue de 372 Kw/m² (Figura 6)

Este fenómeno se pudo haber dado por la diferencia en las alturas de las edificaciones, que generan más sombras que las vistas en el resto de las manzanas de estudio.

Por otro lado, se evidenció una disminución paulatina de la incidencia solar a medida que se avanza hacia el sur del Valle, lo que podría ser una pista de cierta regularidad en las condiciones de asoleamiento, discriminando zonas de estudio por su ubicación en sentido norte - sur, al menos en zonas relativamente homogéneas y sin intervención de muchos factores que generen sombra, como lo son las cubiertas o campos abiertos.

Las calzadas vehiculares tuvieron comportamientos similares dependiendo de la franja, presentando así variaciones breves entre ellas, pero mucho más marcadas comparadas con manzanas de otras zonas del valle (Figura 7).

Los valores máximos se mantuvieron en la ladera este y sobre el centro del valle, posiblemente por una mayor incidencia solar del poniente sobre estas zonas. La franja 3 siguió presentando los menores registros de radiación del valle, lo cual devela a una clara tendencia de que la radiación incidente en esta zona sea inferior, en todos los planos de análisis.

Cabe resaltar que el comportamiento en este plano de análisis es bastante similar al visto en las cubiertas, y, por lo tanto, hay más evidencias de que se pueden clasificar microclimas en el valle de Aburrá, discriminando zonas geográficas divididas transversalmente al río, generando franjas similares a las estudiadas.

Conclusiones

Los árboles reducen la radiación en las vías y andenes entre un 23% y un 55%, e igualmente son altamente efectivos en las fachadas localizadas al poniente, siendo más efectivos sobre los municipios del sur del Valle, en donde los conjuntos de arbolado urbano son mucho más densos, y por lo tanto, tienen un mejor comportamiento. Es por ello por lo que se debe impulsar en los diseños urbanos la proyección de verdaderos sistemas verdes, con variedad de especies repartidas en corredores y espacios de estancia, para que garanticen la mejora en sus condiciones higrotérmicas, y de esta manera se constituyan ciudades más agradables en el Valle de Aburrá.

Para el cumplimiento de este propósito, se requiere de secciones viales amplias, con franjas de amoblamiento adecuadas y acopladas a las especies que en ellas se pretendan sembrar. Igualmente, en los trazados en damero, la siembra de especies debe seguir un patrón lineal, para mayor efectividad de la sombra arrojada. En los trazados orgánicos, es necesaria una evaluación individual de las condiciones de cada lugar, de tal forma que el diseño de paisaje se acople a las condiciones de sombra necesarias para cada caso.



Figura 6. Incidencia de radiación solar directa sobre las cubiertas. Fuente: Autores, 2022.



Figura 7. Incidencia de radiación solar directa sobre las calzadas vehiculares. Fuente: Autores, 2022.

El trazado de vías en diagonal mostró una alta eficiencia en la reducción de la radiación incidente, tanto en las calzadas vehiculares, como en los andenes, debido a que los rayos solares inciden de una manera indirecta sobre ellas, y, por lo tanto, con menor fuerza. Es por esto, y por las razones expuestas anteriormente, que los municipios del sur del Valle de Aburrá presentan un mejor desempeño en la mitigación de la radiación solar.

Las calles tienen de 30 a 32 minutos más de sol por día en promedio. Las calles con trazado en damero presentan una radiación superior a las carreras bajo esta misma condición, y como se vio anteriormente, hay una alta reducción en las mediciones en tanto el damero se oriente en diagonal.

La radiación incidente sobre los patios no tiene ninguna relación directa con su ubicación geográfica en el Valle, sino que tiene más que ver con el área de cielo completamente abierta a la vista que se tenga disponible en cada uno de ellos.

Recomendaciones

La geografía del valle puede propiciar nuevos análisis con base en los hallazgos presentados, es decir, que el valle puede cambiar los factores climáticos en diversas zonas geográficas, dependiendo de su ubicación, elevación, inclinación y presencia de fuentes hídricas. Entonces, un complemento adicional a esta investigación es el enfoque climatológico con el cual es posible converger información entre clima y geografía.

De igual forma, se puede analizar el tema de los factores humanos y su relación con la elección de materiales en vivienda para así comprender las necesidades micro climáticas de cada una de ellas. Por lo tanto, la adaptabilidad climática que cada vivienda pueda tener es un factor que parte de una necesidad producida por las condiciones del valle, diferenciadas en diversas zonas geográficas.

Con relación a los temas desarrollados, se considera pertinente indagar acerca de temas y disciplinas que complementen la información presentada, como el área de la salud, la geografía, la climatología y estudios macroscópicos de los materiales.

En cuanto al área de la salud, se hace necesario indagar más en el tema de radiación solar, de tal manera que las cifras y recomendaciones que se dan den pie a en la estructuración de políticas que lleven a espacios públicos más saludables. Posiblemente para ello, también es necesaria la definición de rangos de radiación solar ideales para unas u otras actividades a desarrollar en el espacio público, de tal manera que las condiciones de tamizaje de radiación se adapten a diferentes situaciones, personas, labores, épocas del año, etcétera.

Por último, sería muy enriquecedor hacer mediciones en sitio para confirmar las hipótesis que se generan en este estudio, con metodologías estandarizadas que puedan ser replicables en otras ciudades.

Reconocimientos

Los autores desean agradecer a los integrantes de los grupos de investigación Energía Medio ambiente Arquitectura y Tecnología (EMAT) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, y Hombre, Proyecto y Ciudad de la Universidad de San Buenaventura Medellín.



Leidy Milena Marín Bedoya
Arquitecta. Egresada Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín-Colombia.
E-mail: lmmarinb@unal.edu.co
<https://orcid.org/0009-0006-3482-6769>



David Alejandro Orozco Gallo
Arquitecto. Egresado Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín-Colombia.
E-mail: daaorozcoga@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-6867-2282>



Juan Camilo Villegas-Echavarría
Estudiante de arquitectura. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín-Colombia.
E-mail: jvillegase@unal.edu.co
<https://orcid.org/0009-0006-3599-1352>



John Arango-Flórez
MSc. Arquitecto. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín-Colombia.
E-mail: jfarang3@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-9975-3234>



Yury Andrea Hernández-Duque
MSc. Arquitecta. Docente Asistente, Universidad de San Buenaventura, Medellín-Colombia.
E-mail: yuri.hernandez@tau.usbmed.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-2172-568X>



Daniel López-Álvarez
Estudiante de arquitectura. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín-Colombia.
E-mail: dlopezal@unal.edu.co
<https://orcid.org/0009-0005-4379-751X>

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

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

DECLARACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Leidy Milena Marín Bedoya: conceptualización, investigación y metodología.
David Alejandro Orozco Gallo: conceptualización, investigación, metodología.
Juan Camilo Villegas Echavarría: conceptualización, investigación, metodología, redacción, revisión y edición del manuscrito.
John Ferney Arango Flórez: conceptualización, adquisición de fondos, administración del proyecto, supervisión, validación, revisión y edición de la versión final del manuscrito.
Yury Andrea Hernández Duque: conceptualización, supervisión, validación, revisión y edición de la versión final del manuscrito.
Daniel López Álvarez: conceptualización, investigación, metodología.



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