

- ▲ **Palabras clave/** Espacio público, confort térmico en espacios exteriores, urbanismo climático.
- ▲ **Keywords/** Public spaces, outdoor thermal comfort, climate urbanism.
- ▲ **Recepción/** 16 de febrero 2023
- ▲ **Aceptación/** 10 de septiembre 2023

Estimación del rango de confort adaptativo para espacios públicos en climas cálidos: caso Cali

Estimation of the Adaptive Comfort Range for Public Spaces in Hot Climates: the Case of Cali

Luz Marina Morales Vivas

Arquitecta, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia.
Diseñadora de Comunicación Visual, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia.
Magister en Hábitat Sustentable, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia.
Docente de la Facultad de Creación y Hábitat, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia.
luzmarina.morales@javerianacali.edu.co

Iván Osuna-Motta

Arquitecto, Universidad de los Andes, Colombia.
Magister en Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Valle, Colombia.
Docente de la Facultad de Creación y Hábitat, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia.
Director de la Maestría en Hábitat Sustentable, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia.
ivan.osuna@javerianacali.edu.co

RESUMEN/ La pandemia del COVID evidenció la importancia de los espacios públicos para superar los desafíos de la sociedad. La pospandemia es el escenario propicio para revisar los criterios con los cuales diseñamos plazas y parques de nuestras ciudades. El estudio del confort higrotérmico se ha centrado en espacios interiores y es necesario que estos parámetros se trasladen hacia el exterior, donde la cultura del lugar, el clima y la materialidad deben vincularse para generar espacios que respondan al clima y a la población local. Con el propósito de determinar el rango de confort adaptativo en el espacio público para la ciudad de Cali, Colombia, se analizan seis espacios públicos con diversas características, combinando mediciones *in situ* con encuestas de satisfacción de los usuarios. Como resultado, se generan diagramas de confort para espacios exteriores con indicadores para el diseño de espacios públicos con condiciones óptimas para clima cálido semiárido y cálido semihúmedo.

ABSTRACT/ The COVID-pandemics revealed the importance of public spaces to overcome societal challenges. The post pandemic is the ideal scenario to review the criteria used in the design of cities' parks and public squares. The hygrothermal comfort study has focused on indoor spaces; however, there is the need for these parameters to move outdoors, where the culture of space, climate, and materiality connect to create spaces that respond to climate and local population. With the goal of deciding the adaptive comfort range in the public spaces for the city of Cali, Colombia, six public spaces with different characteristics are discussed, combining on site measurements with user satisfaction surveys. As a result, comfort diagrams are created for outdoor spaces with indicators for the design of public spaces with optimal conditions for hot semi-arid and hot semi-humid climates.

INTRODUCCIÓN

Los espacios públicos son reflejo de la identidad cultural del lugar donde se implantan, pues sus características dependen en gran medida de su localización. Es vital diseñar espacios públicos efectivos que logren incrementar el sentido de pertenencia y apropiación por parte de la comunidad. Estos espacios deben ser vistos como componentes de ciudades sostenibles y pueden ser entendidos como el conjunto entre el viario público, el viario vehicular,

los espacios al interior de manzana y/o de cesión, los parques, las plazas y los mercados, entre otros.

No obstante, el desapego y la falta de apropiación de las personas con sus espacios conlleva al poco desarrollo de actividades, relaciones y vínculos sociales entre las personas. Es por esto que, a través de la arquitectura y del correcto estudio y entendimiento del lugar, se logra concebir espacios que propicien la sostenibilidad social desde todos sus ámbitos, ofreciendo

oportunidades de relación, hábitat y encuentro para la comunidad.

De igual forma, se debe tener en cuenta que, a lo largo de los años, se ha presentado un aumento desmesurado y acelerado del consumo energético de las ciudades (Zhao y Zhang, 2018), convirtiéndolas en ciudades insostenibles. Es ahí donde surge la necesidad de estudiar desde un inicio variables como la implantación de los edificios, las circulaciones de aire, la posición de barreras naturales como la vegetación, el emplazamiento de cuerpos

de agua y la incidencia de la radiación solar en superficies verticales y horizontales, entre otras, con el fin de mitigar el consumo excesivo de energía, como se ha demostrado en investigaciones previas (Mi *et al.*, 2019). Cabe señalar que la proyección y planeación, tanto urbana como arquitectónica de estos espacios, debe considerar también el uso de tecnologías que reduzcan los aspectos negativos en el medio ambiente y recurran a materiales de construcción con menor huella de carbono y menos consumo de energía, de tal forma de reducir los impactos, priorizar materiales autóctonos y considerar las costumbres, tradiciones y especificaciones, tanto culturales como climáticas, de los usuarios de los espacios a intervenir.

El calentamiento global, sumado al aumento de la tasa de urbanización y la constante expansión urbana, han reducido la superficie verde de las ciudades con el consecuente efecto de isla de calor urbana (Zhang *et al.*, 2020). Para adaptarse a esta nueva realidad, las ciudades han generado políticas de descarbonización, con las cuales se busca que los ciudadanos utilicen los espacios públicos durante más tiempo como medida para reducir el consumo de energía en la climatización de espacios interiores.

El confort térmico es la mejor estrategia para atraer usuarios a los parques. Durante el siglo pasado, se comenzaron a desarrollar investigaciones acerca del confort higrotérmico cuyo fin era entender los efectos negativos del clima en los espacios de trabajo de la industria y en las aplicaciones militares (Potchter *et al.*, 2018). Sin embargo, no fue sino hasta comienzos del siglo XXI que se vio un aumento significativo en las investigaciones referentes al confort higrotérmico en los espacios abiertos, las cuales se centraban en dos aspectos; por una parte, en la clasificación de los métodos de aplicabilidad de índice de confort y por otra, en la determinación del índice más adecuado como herramienta de planificación urbana (Coccolo *et al.*, 2016). El principal aporte al conocimiento de estos nuevos estudios consiste en considerar que los modelos de confort basados en estados

estacionarios no podían representar la gran variedad de climas urbanos y que, por lo tanto, era necesario aplicar un nuevo enfoque que diera mayor valor a la aplicabilidad que a la precisión (Lai *et al.*, 2020). Esto se relaciona con el hecho de que el clima en áreas exteriores urbanas presenta mayor variabilidad temporal que en espacios interiores y que, por lo tanto, los rangos de aceptación de los usuarios pueden ser más amplios (Hernández y Rada, 2022).

Los estudios realizados a la fecha han demostrado baja correlación entre las variables del microclima y el confort de los usuarios del espacio público, lo que indica que los enfoques centrados en variables fisiológicas térmicas no son apropiados para determinar rangos de confort, por lo cual es necesario considerar factores subjetivos (Smith y Henríquez, 2019). Los modelos de confort más aceptados consideran factores meteorológicos y factores personales, y coinciden en que cada zona climática necesita

estudios específicos para determinar las características de confort térmico de ese lugar y población (Johansson *et al.*, 2018).

CLIMA Y CONFORT

Esta investigación busca reafirmar la necesidad de vinculación y adaptabilidad de variables como el confort humano con la cultura y el clima del lugar. Por consiguiente, es primordial entender los planteamientos teóricos, de tal forma de comprender cómo cada una de estas variables logra la generación, la aplicabilidad y la vinculación en cuanto al bienestar de los habitantes en el espacio público de Cali.

De esta manera, se define en primer lugar la microzonificación climática del trópico a través del Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali, realizado por la Alcaldía de Santiago de Cali, CIAT, CVC y DAGMA (2015), que afirma que el municipio de Cali se encuentra

| CLASIFICACIÓN CALDAS - LANG | | | |
|-----------------------------|---------|-------------------------|---------|
| TIPO CLIMÁTICO | SÍMBOLO | TIPO CLIMÁTICO | SÍMBOLO |
| Cálido Superhúmedo | CSH | Frío Superhúmedo | FSH |
| Cálido Húmedo | CH | Frío Húmedo | FH |
| Cálido Semihúmedo | CsH | Frío Semihúmedo | Fsh |
| Cálido Semiárido | Csa | Frío Semiárido | Fsa |
| Cálido Árido | CA | Frío Árido | FA |
| Cálido Desértico | CD | Frío Desértico | FD |
| Templado Superhúmedo | TSH | Páramo Bajo Superhúmedo | PBSH |
| Templado Húmedo | TH | Páramo Bajo Húmedo | PBH |
| Templado Semihúmedo | Tsh | Páramo Bajo Semihúmedo | PBsh |
| Templado Semiárido | Tsa | Páramo Bajo Semiárido | Pbsa |
| Templado Árido | TA | Páramo Alto Superhúmedo | PASH |
| Templado Desértico | TD | Páramo Alto Húmedo | PAH |

Tabla 1. Clasificación climática Caldas - Lang para el municipio de Santiago de Cali (fuente: Estudio para la Microzonificación Climática de Santiago de Cali, 2015).

clasificado climáticamente según Caldas-Lang en 10 zonas homogéneas (tabla 1).

Esta clasificación define que la zona urbana contiene 4 de las 10 clasificaciones mencionadas anteriormente (tabla 1): clima Templado Semihúmedo (Tsh), clima Templado Semiárido (Tsa), clima Cálido Semihúmedo (CsH) y clima Cálido Semiárido (Csa). Esta investigación se enfoca en el clima Cálido Semiárido (Csa), el cual se localiza hacia la zona de la llanura aluvial del río Cauca y la zona centro-oriente de Cali, y en el clima Cálido Semihúmedo (CsH), ubicado en la zona plana del municipio, hacia el suroriente del mismo, en el valle geográfico del río Cauca. De igual forma, el documento *Identificación de zonas y formulación de propuestas para el tratamiento de islas de calor del Municipio de Santiago de Cali* (2015) identifica dentro de la zona urbana del municipio las ICU, basándose en la TS, y afirma que se tiene: a) temperatura promedio de 23,07 °C, b) temperatura máxima de 27,2 °C zona centro y oriente) y c) temperatura mínima de 16,1 °C (zonas sur y occidente). De esta manera, se relacionan los resultados de este estudio de ICU con la microzonificación climática del municipio, teniendo la temperatura más elevada en el clima Cálido Semiárido (Csa) y un clima intermedio en el área clasificado como clima Cálido Semihúmedo (CsH).

Por otro lado, el confort humano se puede definir como la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, ASHRAE, 2013). Es por esto que, para entender este concepto, es necesario analizarlo a la luz de las siguientes dos teorías: la teoría del balance térmico de Fanger (1973) y la teoría del confort térmico adaptativo de De Dear (1998).

Esta investigación basa su desarrollo y entendimiento en la necesidad del confort adaptativo para una ciudad heterogénea como Cali. Se trata de un modelo que se basa en resultados de estudios de campo, donde se analizan espacios reales cuyas condiciones logran determinar variables que dependen

del contexto y de los habitantes de ese espacio. A diferencia del modelo estático, en este los habitantes de la ciudad toman un rol protagonista, pues logran crear sus preferencias térmicas teniendo en cuenta la forma en que cada uno interactúa con el ambiente. También logran modificar su propio comportamiento y, gradualmente, adaptan sus expectativas en función del ambiente térmico en el que se encuentren (Brager y De Dear, 1998).

Por consiguiente, el método de adaptación térmica se utiliza teniendo en cuenta que, para estudiar un contexto como el de Cali –donde la cultura, el estilo de vida de sus habitantes y el clima tienen tanta relevancia– sería contradictorio realizar un análisis de confort térmico de manera estática, en el marco del cual los habitantes son entendidos como receptores pasivos de estímulos térmicos. Aunque estos estándares han llegado a ser considerados como universalmente aplicables en todos los tipos de edificios, climas, zonas y poblaciones (Parsons, 1994), en este caso no reflejarían la premisa de esta investigación, a saber: mostrar la relevancia que tiene el clima tropical y la cultura a la hora de determinar cómo diseñar un espacio público.

De esta manera, los habitantes no son sujetos experimentales de cámara, sino que comienzan a tener un papel activo en la creación de sus propias preferencias térmicas. Es por esto que, al abordar un estudio de confort con las condiciones de Cali –mediante un enfoque adaptativo– se aplican encuestas de campo que recolectan información sobre la sensación térmica en ambientes exteriores. El objetivo es estimar la temperatura de confort o de neutralidad T_n (el grado de confort) de los habitantes en diferentes espacios; luego, dichos resultados se relacionan con las variables térmicas, por ejemplo con la temperatura de bulbo seco. Las características ambientales, económicas, sociales y culturales actuales influyen en las necesidades de confort humano, fenómeno que está directamente relacionado con el bienestar de la comunidad con su entorno. Si bien el tema del confort humano ha sido

valorado e incluido por diseñadores en espacios interiores, es necesario entender que los arquitectos y urbanistas deben garantizar que los parámetros de confort se trasladen hacia espacios exteriores. Es precisamente ahí donde variables como la cultura del lugar, su clima y sus características físicas –como la materialidad de las superficies y la vegetación, entre otros– deben vincularse de tal manera de generar espacios que respondan a las especificaciones y los parámetros de confort para cada uno de estos espacios públicos externos en Cali.

ESPACIO PÚBLICO, ENTORNO Y FACTORES AMBIENTALES

Borja y Muxí (2003) definen el espacio público como el espacio de representación donde la sociedad se hace visible; es decir, estos espacios manifiestan y hacen parte de la historia de la ciudad, pues han sido el escenario de la expresión de la humanidad a través de los años. Además, el espacio público se identifica como un espacio multifuncional que no es un “espacio residual entre calles y edificios. Tampoco es un espacio vacío... Ni un espacio especializado”

Es importante entender que la naturaleza urbana proporciona grandes beneficios, tanto sociales como psicológicos, lo cual enriquece la “calidad de vida” de las personas. Conjuntamente, se muestra la importancia de la naturaleza urbana, la dimensión emocional involucrada en la experiencia de la naturaleza y su importancia para el bienestar general de las personas (confort humano), poniendo énfasis en cómo la experiencia de la naturaleza en el medio urbano es fuente positiva de sentimientos que contribuyen a beneficios para las personas, y logran satisfacer necesidades humanas no materiales. De igual forma, la relación de la calidad ambiental urbana debe ser ilustrada como la “calidad del hábitat donde se desarrolla la vida colectiva”, lo cual exige la presencia de condiciones específicas de habitabilidad (Rangel M., 2009).

Debido a la localización y el clima de Cali, se generan altos índices de radiación directa

sobre las superficies; en ciertas horas del día, esto puede provocar incomodidad dado el aumento en la temperatura de dichas superficies. Es por esto que la sombra en espacios exteriores es tan relevante. De esta manera, cuando se busca que un espacio pueda ser habitado sin importar la hora (en climas como el de Cali), se debe tener en cuenta que uno de los elementos utilizados como estrategia con cero impacto negativo es la vegetación, entendida en este caso como árboles implantados sobre la base de la superficie. Estos elementos naturales cobran importancia pues son generadores y mitigadores de la radiación solar directa sobre el espacio público.

Para este tipo de análisis se tienen en cuenta factores ambientales exteriores como: a) temperatura del aire (T_a), pues se afirma que esta variable depende fundamentalmente de la temperatura de las superficies, las que logran elevar o disminuir su temperatura al emitir o recibir la radiación, y que ceden calor al aire por convección (Serra y Coch, 1995); b) la radiación solar; c) la velocidad del viento (V_a); d) la humedad relativa (P_a) para esta investigación se toma como referencia el Diagrama Bioclimático de Givoni (1969), quien afirma que la zona de confort en relación con la variable de humedad está entre 20% y 80%; e) la tasa metabólica (MET), que se puede interpretar como la velocidad de gasto de energía por parte de un organismo y que crece con el nivel de actividad; y f) el aislamiento térmico de la vestimenta (C_{lo}), que se podría definir como el aislamiento necesario para mantener a una persona confortable, por lo que es posible afirmar que el vestuario de las personas puede ser un factor de protección energética frente a la radiación solar, las bajas temperaturas y el viento, y que, por ello, incide en el equilibrio térmico entre un ser humano y el espacio que le rodea.

MÉTODO

Esta investigación emplea un enfoque metodológico mixto conforme al cual se hace un análisis desde el enfoque cuantitativo

y cualitativo. Para el enfoque cuantitativo se analizan las variables a través de una secuencia y comprobación de datos, los que tienen como objetivo medir y conocer los parámetros de confort humano y la materialidad de las superficies en cada uno de los casos de estudio. De igual forma, se registran las ganancias y pérdidas de temperatura, la humedad del aire y la velocidad del viento. Estos resultados generan datos tanto descriptivos como comparativos basados en el comportamiento de la muestra seleccionada.

De manera similar, se utiliza la técnica de recolección de evidencia empírica a través del método de investigación experimental, el cual establece relaciones de causa y efecto analizando así el comportamiento y la adaptabilidad del ser humano en estos espacios públicos. En primer lugar, los rangos de confort de Cali se definen según la correlación de variables climáticas, teniendo en cuenta las teorías y las formulas junto con las mediciones de campo en los espacios públicos, los cuales son definidos en el suelo urbano en relación con la microzonificación climática existente.

Selección casos de estudio

Teniendo en cuenta el diseño metodológico planteado, se decide medir y estimar cada uno de los fenómenos en tiempo y escala. En primer lugar se selecciona una muestra que permite recopilar estudios y resultados aplicados en una prueba piloto, la que logra determinar y evaluar en primera instancia cómo es el confort humano en un espacio público. De esta manera, es posible conocer qué tan efectivos son los métodos de medición de los factores determinados en esta investigación. Esta prueba se realiza en dos espacios públicos al interior de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia.

La prueba piloto se lleva a cabo tomando como referencia cuatro jornadas, teniendo en cuenta que esta comprobación determinará la pertinencia de estas jornadas en el estudio de evaluación del confort. Por ello, se decide hacer la recolección de datos y encuestas en

las siguientes jornadas: la primera de 6:00 a 7:00 (por fuera de la zona de confort); la segunda entre las 9:00 y las 10:00 (dentro de la zona de confort); la tercera medición es en la jornada de la tarde, de 14:00 a 15:00 (por fuera de la zona de confort); y finalmente, una cuarta medición de 18:00 a 19:00 (dentro de la zona de confort).

En cada una de estas jornadas se realiza la medición de las siguientes variables ambientales: a) temperatura del aire; b) humedad relativa; y c) velocidad del viento. De igual forma, se determina realizar las mediciones en superficies con exposición directa al sol y en superficies con sombra, con la cámara termográfica.

Una vez logrados y analizados los datos y la información climática necesaria, se definieron los casos de estudio siguiendo la premisa de que se ubicaran dentro del suelo urbano y contribuyeran a la creación de espacios culturales que propiciaran relaciones sociales en comunidad. Además, se tuvo en cuenta que fueran espacios generadores de actividades y/o usos a nivel barrial-urbano, por lo que era esencial que cada uno de estos espacios representara la diversidad espacial y de vida en comunidad de Cali.

En ese contexto, se determinaron los siguientes criterios de selección de los casos de estudio:

a) Clima: uno de los criterios jerárquicos de selección se basa en la clasificación climática según Caldas-Lang, especificada en el documento de Estudio para la Microzonificación Climática de Santiago de Cali (2015).

Se decide enfocar la investigación en dos de los cuatro microclimas del suelo urbano, cuyo punto común es su clasificación como clima cálido. De esta forma, se define que la localización de los cuatro casos de estudio debe estar dentro de las siguientes clasificaciones:

- Clima Cálido Semiárido (Csa)
- Clima Cálido Semihúmedo (Csh)

b) Tipo de superficie: se determinan los siguientes tipos de superficies con el objetivo de comparar las condiciones existentes

entre cada uno de los espacios de los climas seleccionados anteriormente.

- Superficie blanda (más del 70% - parque): áreas como parques barriales y parques lineales, caracterizadas por un alto porcentaje de áreas verdes y vegetación. Son superficies que permiten el paso del agua, por lo que actúan como filtro y logran disminuir los picos de caudales disminuyendo riesgos de inundación.
- Superficie dura (plaza): plazas urbanas de uso público con poca área de vegetación (casi nula). Por lo general, son superficies impermeables y/o suelos compactados o sellados con alta resistencia o superficies que evitan la absorción del agua lluvia hacia el suelo natural.
- Superficie semidura (combinada): espacios públicos donde el área blanda y de superficie dura son similares. Contienen espacios de vegetación y espacios con materiales compactos que dan forma a pequeños sitios de permanencias.

c) Horario de actividad predominante: se determina también que una de las condiciones o criterios de selección debe basarse en la jornada horaria de la actividad predominante de cada caso de estudio. Esto sirve para comparar el uso que se le da al espacio público en el día y en la noche. Por ello, se descartan espacios que no tienen una habitabilidad de forma predominante durante la jornada nocturna.

De esta manera, se seleccionan seis espacios públicos (figura 1) dentro del suelo urbano de la ciudad de Cali.

De la misma manera se definen las variables, el método de análisis y la forma de medición, teniendo en cuenta que estas variables deben correlacionarse para lograr la generación de confort en el espacio público en Cali. Se realiza un método cuantitativo de medición de temperatura de los materiales en las jornadas especificadas, de modo de analizar el comportamiento y la capacidad de ganancia y pérdida de calor aportada por la radiación solar. Este análisis se lleva a cabo a través de la cámara termográfica, la que permite transformar una imagen infrarroja en radiométrica para así obtener y leer los valores de temperatura de la imagen que se



Figura 1. Casos de estudio seleccionados en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

| VALOR | DESCRIPCIÓN DE LA SENSACIÓN |
|-------|-----------------------------|
| -3 | Frío |
| -2 | Fresco |
| -1 | Ligeramente fresco |
| 0 | Neutro |
| +1 | Ligeramente caluroso |
| +2 | Caluroso |
| +3 | Muy caluroso |

Tabla 2. Escala de sensación térmica (fuente: Standard 55-2013: ANSI/ASHRAE, 2013).

está captando. La medición se realiza teniendo en cuenta las siguientes variables: a) material expuesto a la radiación directa; y b) material en sombra. Se toman dos mediciones en lugares opuestos por cada material.

Se sigue el mismo procedimiento para el análisis de variables como temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa en ese espacio, para entender la relación entre estos resultados y el material analizado. Paralelamente, se comparan las variables anteriores con la tasa metabólica (MET) y el aislamiento térmico de la vestimenta (Clo) en relación con los índices de radiación solar (temperatura de la superficie). Cada una de estas variables se obtiene y analiza mediante un rango definido para un clima tropical como el de Cali y se comparan con las encuestas, de tal forma de correlacionarlas con los datos de medición y la sensación/

percepción de los habitantes en cada uno de los espacios analizados.

El período de estudio de medición se establece conforme a la premisa de seleccionar cuatro horarios por día y en dos períodos: a) período dentro de la zona de confort entre las 9:00 y las 10:00 y entre las 18:00 y las 19:00; y b) período por fuera de la zona de confort entre las 6:00 y las 7:00 (período más húmedo) y entre las 14:00 y las 15:00 (período caluroso mayor temperatura del aire).

Finalmente, se determina que para conocer la percepción de confort en el espacio público es esencial realizar, paralelamente al registro de mediciones, un acercamiento más perceptivo a través de la formulación de una encuesta. Estas encuestas se formulan e inician con nueve preguntas basadas en escalas psicométricas de manera de no dar

lugar a problemas de falta de comprensión o respuestas por parte del encuestado. Para ello se adapta la escala de sensación térmica propuesta en Standard 55-2013:ANSI/ASHRAE en los siguientes siete puntos (tabla 2).

RESULTADOS

Este estudio evaluó la percepción de confort de los usuarios y comparó sus respuestas con los modelos de confort más utilizados en los estudios bioclimáticos, con el propósito de ajustar los rangos de aceptación. Con base en los resultados, se tomó como referencia: a) la fórmula de confort adaptativo de Standard 55-2013: ANSI/ASHRAE para el cálculo del rango de temperatura del aire; b) el climograma o Diagrama Bioclimático de Givoni para la humedad relativa; y c) el método adaptativo CBE - Berkeley para el rango de velocidad del aire.

a) Fórmula confort adaptativo Standard 55-2013:ANSI/ASHRAE - Temperatura del aire (°C):

$$T_c = 17,8 + (0,31 * T_m)$$

$$Z_c (90\%) = T_c \pm 2,5$$

$$Z_c (80\%) = T_c \pm 3,5$$

Donde, T_m = temperatura media exterior anual; T_c = temperatura confort o neutra y Z_c = zona de confort (90% - 80% del tiempo).

b) Rango confort en cuanto a humedad relativa

- **Givoni:** se toma el rango de humedad de 20% - 80% (cuando la temperatura del aire está entre 20 °C y 27 °C) y de 50% (cuando la temperatura del aire es mayor a 27 °C).

c) Rango de ventilación (velocidad del aire)

- **Método adaptativo CBE - Berkeley:** se toma como referencia un rango de velocidad entre 0,3 m/s y 1,2 m/s con el 80% y 90% de adaptabilidad en el rango de confort general.

Se realiza una ponderación de las mediciones de temperatura del aire (tablas 3 y 4) en los dos microclimas seleccionados (Csa y Csh), con el propósito de definir el rango base de confort para los espacios públicos (gráficos 1 y 2) tanto en el clima Cálido Semiárido (Csa) como en el clima Cálido Semihúmedo (Csh) de Cali, teniendo en cuenta la correlación de las variables de a) temperatura del aire (°C), b) humedad relativa (%) y c) velocidad del viento (m/s).

| CLIMA CÁLIDO SEMIÁRIDO (Csa) | | | |
|------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| Temperatura aire (°C) | | | |
| Mes | Promedio diario | Promedio diario (más bajo) | Promedio diario (más alto) |
| 1 | 25,99 | 22,34 | 31,00 |
| 2 | 26,46 | 22,88 | 31,42 |
| 3 | 26,29 | 22,69 | 31,22 |
| 4 | 25,66 | 22,32 | 30,43 |
| 5 | 25,92 | 22,58 | 30,69 |
| 6 | 26,16 | 22,47 | 30,90 |
| 7 | 26,44 | 22,50 | 31,54 |
| 8 | 26,70 | 22,44 | 32,18 |
| 9 | 26,45 | 22,25 | 32,15 |
| 10 | 25,35 | 21,78 | 30,11 |
| 11 | 25,27 | 22,21 | 29,46 |
| 12 | 26,07 | 22,65 | 30,76 |
| $T_m = 26,06$ | | | |

Fórmula Confort adaptativo Standard 55-2013:ANSI/ASHRAE - Temperatura del aire (°C) para Csa:

$$T_m = 26,06 \text{ °C}$$

$$T_c = 17,8 + (0,31 * 26,06 \text{ °C})$$

$$T_c = 17,8 + (8,07)$$

$$T_c = 25,88 \text{ °C}$$

$$\text{Zona de confort (Zc - 90\%): entre } 23,38 \text{ °C y } 28,38 \text{ °C}$$

$$\text{Zona de confort (Zc - 80\%): entre } 22,38 \text{ °C y } 29,38 \text{ °C}$$

Tabla 3. Temperatura del aire en clima Cálido Semiárido (Csa) en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

| CLIMA CÁLIDO SEMIHÚMEDO (Csh) | | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| Temperatura aire (°C) | | | |
| Mes | Promedio diario | Promedio diario (más bajo) | Promedio diario (más alto) |
| 1 | 24,38 | 20,39 | 29,68 |
| 2 | 24,84 | 21,09 | 30,04 |
| 3 | 24,40 | 20,93 | 29,45 |
| 4 | 24,48 | 21,10 | 29,33 |
| 5 | 24,73 | 21,48 | 29,36 |
| 6 | 24,40 | 20,67 | 29,21 |
| 7 | 24,63 | 20,42 | 30,02 |
| 8 | 24,99 | 20,30 | 30,66 |
| 9 | 24,71 | 20,34 | 30,47 |
| 10 | 23,81 | 20,24 | 29,02 |
| 11 | 23,49 | 20,29 | 28,09 |
| 12 | 24,18 | 20,61 | 29,21 |
| $T_m = 26,06$ | | | |

Fórmula Confort adaptativo Standard 55-2013:ANSI/ASHRAE - Temperatura del aire (°C) para Csh:

$$T_m = 24,42 \text{ °C}$$

$$T_c = 17,8 + (0,31 * 24,42 \text{ °C})$$

$$T_c = 17,8 + (7,57)$$

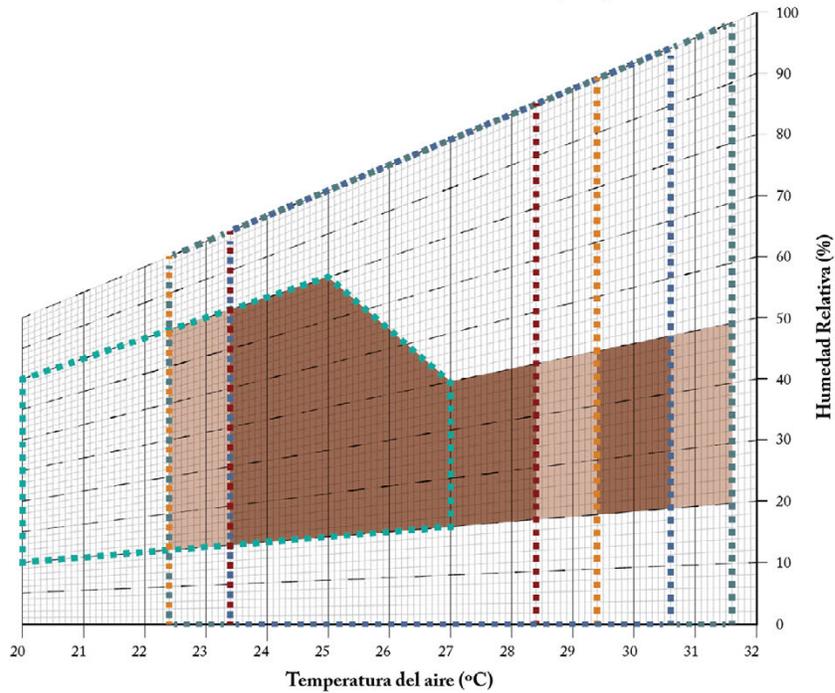
$$T_c = 25,37 \text{ °C}$$

$$\text{Zona de confort (Zc - 90\%): entre } 22,87 \text{ °C y } 27,87 \text{ °C}$$

$$\text{Zona de confort (Zc - 80\%): entre } 21,87 \text{ °C y } 28,87 \text{ °C}$$

Tabla 4. Temperatura del aire en clima Cálido Semihúmedo (Csh) en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

RANGO DE CONFORT PARA ESPACIOS EXTERIORES EN CLIMA CÁLIDO SEMIÁRIDO (Csa)



■ Zona confort (90%) ■ Zona confort (80%)

*el rango de confort (90%) puede ampliarse hasta los 30,6 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s
 *el rango de confort (80%) puede ampliarse hasta los 31,6 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s

Rango de temperatura definido según cálculo confort adaptativo - ASHRAE-55:

- Rango temperatura (90%): 23,38 °C - 28,38 °C
- Rango temperatura (80%): 22,38 °C - 29,38 °C

Rango de humedad definido según Diagrama Bioclimático - Givoni

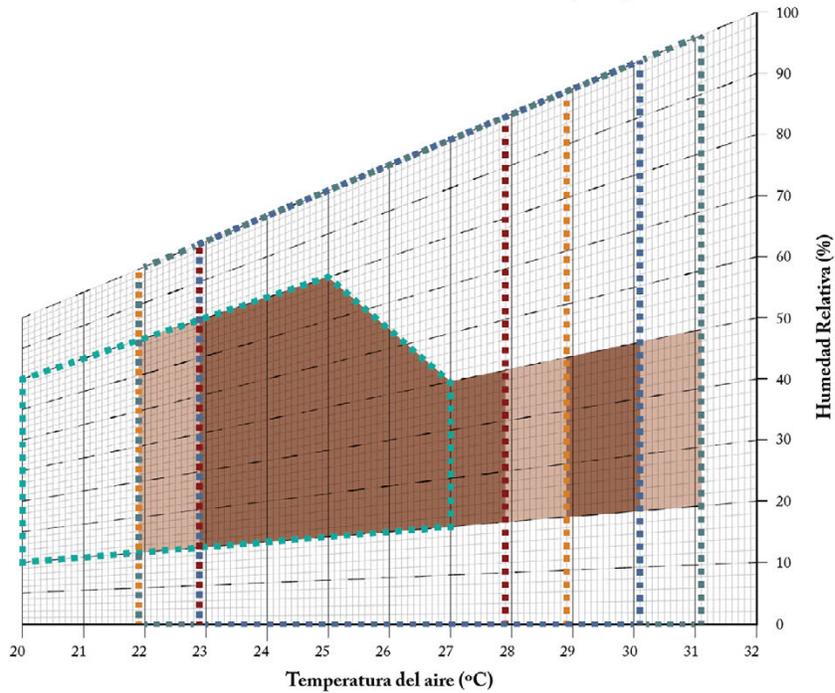
- Rango humedad de 20 % - 80 % (cuando la temperatura del aire está entre 20 °C y 25 °C)
- y 20 % - 50 % (cuando la temperatura del aire es mayor a 27 °C)

Rango de ventilación (velocidad del aire) definido según el método adaptativo CBE - Berkeley

- Rango velocidad del aire de 0,3 m/s (90%): 23,38 °C - 28,38 °C
- Rango velocidad del aire de 0,3 m/s (80%): 22,38 °C - 29,38 °C
- Rango velocidad del aire de 1,2 m/s (90%): 23,38 °C - 30,60 °C
- Rango velocidad del aire de 1,2 m/s (80%): 22,38 °C - 31,60 °C

Gráfico 1. Definición rango de confort para clima Cálido Semiárido (Csa) en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

RANGO DE CONFORT PARA ESPACIOS EXTERIORES EN CLIMA CÁLIDO SEMIHÚMEDO (CsH)



■ Zona confort (90%) ■ Zona confort (80%)

*el rango de confort (90%) puede ampliarse hasta los 30,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s
 *el rango de confort (80%) puede ampliarse hasta los 31,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s

Rango de temperatura definido según cálculo confort adaptativo - ASHRAE-55:

- Rango temperatura (90%): 22,87 °C - 27,87 °C
- Rango temperatura (80%): 21,87 °C - 28,87 °C

Rango de humedad definido según Diagrama Bioclimático - Givoni

- Rango humedad de 20 % - 80 % (cuando la temperatura del aire está entre 20 °C y 25 °C)
- y 20 % - 50 % (cuando la temperatura del aire es mayor a 27 °C)

Rango de ventilación (velocidad del aire) definido según el método adaptativo CBE - Berkeley

- Rango velocidad del aire de 0,3 m/s (90%): 22,90 °C - 27,90 °C
- Rango velocidad del aire de 0,3 m/s (80%): 21,90 °C - 28,90 °C
- Rango velocidad del aire de 1,2 m/s (90%): 22,90 °C - 30,10 °C
- Rango velocidad del aire de 1,2 m/s (80%): 21,90 °C - 31,10 °C

Gráfico 2. Definición rango de confort para clima Cálido Semihúmedo (CsH) en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

CONCLUSIONES

Variables como la calidad ambiental, el clima, la ergonomía, el tipo de superficie, la ventilación natural, la calidad del aire, entre otras, cada día cobran mayor relevancia. Por lo tanto, es vital sensibilizar a la comunidad y reflexionar sobre la necesidad de incorporar indicadores de sostenibilidad ambiental en cada proyecto que se desarrolle, como insumo para planificadores y diseñadores. Esta investigación concluye que una de las variables más importantes a considerar para este tipo de intervenciones en espacios públicos es la disponibilidad de sombra sobre las diversas superficies, lo que permite minimizar la incidencia de radiación solar directa sobre las superficies de estos espacios y reducir los índices de temperatura, la absorción y la reflectancia, así como la transferencia de calor de los diferentes materiales a los espacios abiertos. Esto genera una mejora sustancial de la sensación y percepción de confort higrotérmico de las personas que habitan dichos espacios.

Se resalta también la importancia de la correcta selección y estudio del porcentaje y tipo de superficie sobre el espacio público. Esta investigación logra demostrar los factores que influyen directamente en la generación de confort, pues se conoce que un material en superficie con alto índice de temperatura a lo largo del día puede provocar malestar entre las personas que habitan ese espacio. Sin embargo, cuando hay conciencia de la correcta utilización de los materiales y tipos de superficies, es posible generar espacios exteriores con condiciones de bienestar en estos dos microclimas de la ciudad de Cali. Por lo tanto, se puede concluir que los tres casos de estudios analizados en esta investigación en clima Cálido Semiárido (Csa) presentan similitudes en la variación de temperatura de sus superficies, teniendo en cuenta que el suelo vegetal presenta la menor variación y temperatura a lo largo del día, comparado con materiales como la gravilla o el asfalto de color oscuro, los cuales tienden a tener unos picos de temperatura más altos (gráficos 3 y 5). De igual forma,

en las superficies analizadas en los casos de estudio del clima Cálido Semihúmedo (CsH) se puede ver la similitud y poca variación de temperatura del suelo vegetal en el día. Sin embargo, estos casos de estudio presentan un cambio de material, pues al no contar todos con gravilla o asfalto, el concreto pasa a ser el material de superficie con la mayor temperatura y variación a lo largo del día (gráficos 4 y 6).

Por otro lado, se concluye que el porcentaje de humedad relativa del aire no es una variable ambiental significativa en la percepción de confort de los usuarios de los espacios al aire libre en el clima cálido de Cali. Su incidencia es mitigada totalmente por la velocidad del aire y la adaptación psicológica derivada de la historia térmica de las personas. Por lo tanto, esta investigación resalta la importancia de la definición de los rangos de adaptabilidad de confort térmico humano para espacios al aire libre por lo que se propone y define un rango para el clima Cálido Semiárido (Csa) y el clima Cálido Semihúmedo (CsH) de Santiago de Cali (gráficos 1 y 2) a través de gráficas de correlación de variables como la temperatura del aire (°C), la humedad relativa (%), la velocidad del viento (m/s) y la temperatura de las superficies de los materiales (°C) en los diversos casos de estudio localizados en cada microclima.

En relación con el rango de confort para espacios exteriores en clima Cálido Semiárido (Csa), se encontró una adaptabilidad del 90% en temperatura del aire; esta oscila entre 23,38 °C y 28,38 °C, con un rango de ventilación (velocidad del aire) de 0,3m/s. Asimismo, se determina que el rango de temperatura del aire necesario para lograr una adaptabilidad del 80% debe estar entre 22,38 °C y 29,28 °C, teniendo también un rango de ventilación de 0,3m/s. Sin embargo, se concluye que la variable de ventilación toma relevancia pues logra ampliar el rango de adaptabilidad del 90% de temperatura del aire hasta 30,6 °C y hasta 31,6 °C para la adaptabilidad del 80%, siempre y cuando la velocidad del viento sea mayor a 1,2 m/s. De igual forma, se determina que, para espacios exteriores

en clima Cálido Semihúmedo (CsH), el rango de confort adaptativo al 90% en temperatura del aire oscila entre 22,87 °C y 27,87 °C, con un rango de ventilación (velocidad del aire) de 0,3m/s. De manera similar, se determina que el rango de temperatura del aire necesario para lograr confort adaptativo al 80% debe estar entre 21,87 °C y 28,87 °C, teniendo también un rango de ventilación de 0,3m/s. Finalmente, se concluye y demuestra cómo la ventilación natural permite ampliar la temperatura para confort adaptativo del 90% hasta los 30,1 °C y los 31,1 °C, para el adaptativo al 80%, cuando la velocidad del viento logra ser mayor a 1,2 m/s.

De esta manera, se puede afirmar que los rangos de confort adaptativo no son estáticos, pues variables como la velocidad del viento logran afectarlos directamente; ello se explica porque esta variable permite extender este rango de adaptabilidad en relación con la temperatura del aire, lo que genera rangos permisibles de confort en las personas en espacios exteriores. Asimismo, este tipo de resultados cuantitativos se correlacionan con los cualitativos realizados en esta investigación, la cual tiene en cuenta la facultad de adaptabilidad que tienen los seres humanos a las diferentes variaciones o cambios que se presentan en su entorno. Sin embargo, es vital tener en cuenta que este modelo es el inicio de una primera aproximación que se debe vincular con otras tipologías de espacios públicos urbanos a través de casos de estudios. Por ejemplo, se pueden integrar otros análisis y definiciones de índices y variables en el viario público, de tal forma de definir y precisar diferentes materialidades y aplicaciones -tanto de superficies duras como blandas- en las distintas subzonas climáticas. Así, este modelo podría ser aplicado a otros escenarios en zonas climáticas similares. ▲■■■

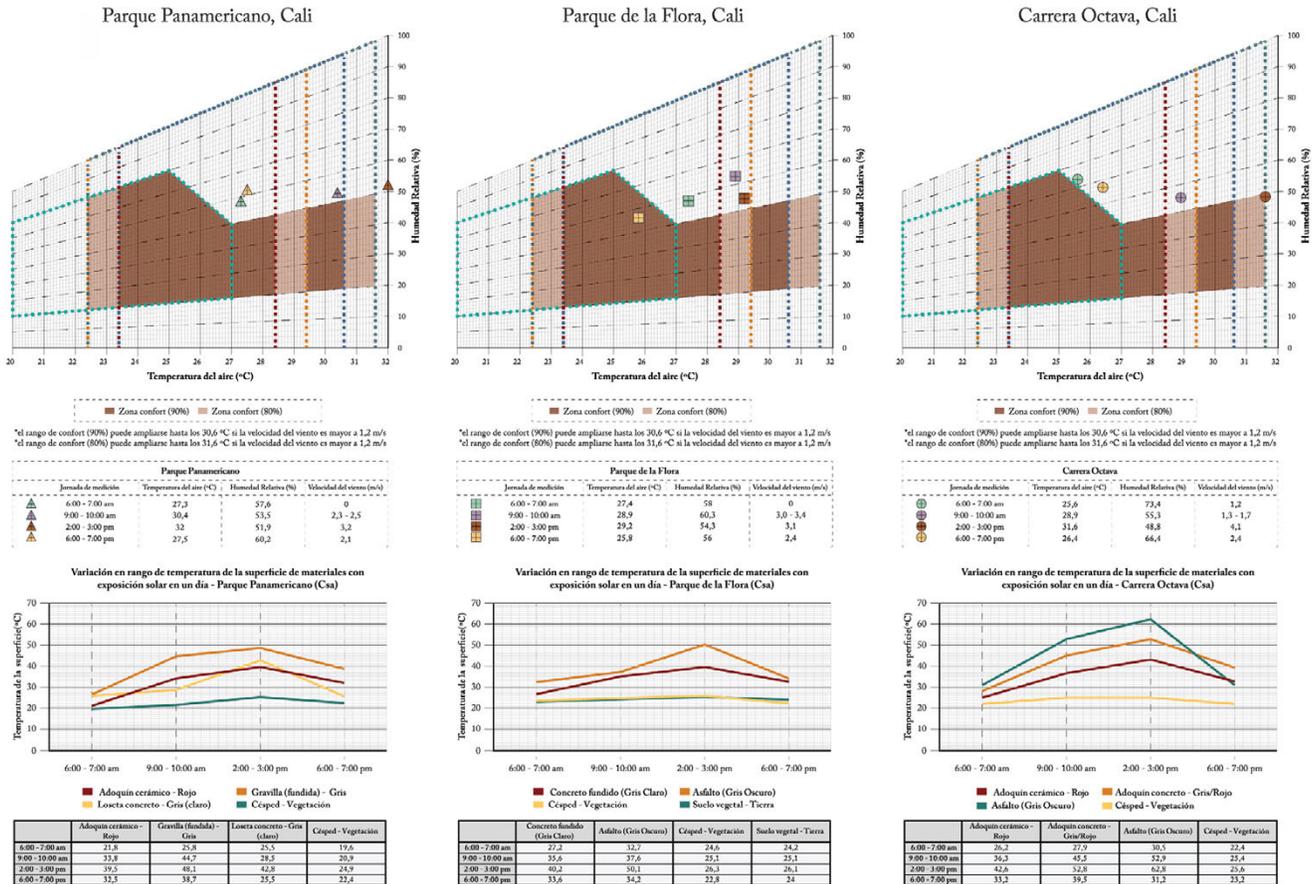
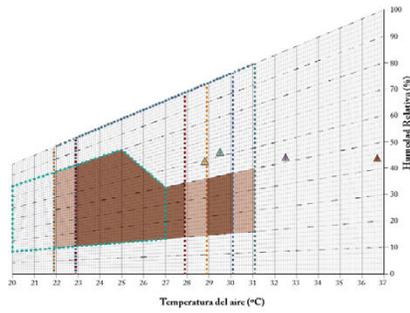


Gráfico 3. Definición de jornadas en confort y temperatura de los materiales de los casos de estudio: Parque Panamericano, Parque de la Flora y Carrera Octava en Clima Cálido Semiárido (Csa) en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

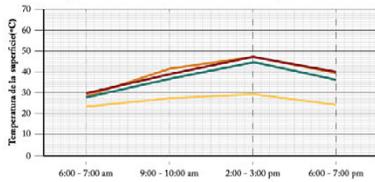
Plazoleta CC. Jardín Plaza, Cali



■ Zona confort (90%) ■ Zona confort (80%)
 *El rango de confort (90%) puede ampliarse hasta los 30,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s
 *El rango de confort (80%) puede ampliarse hasta los 31,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s

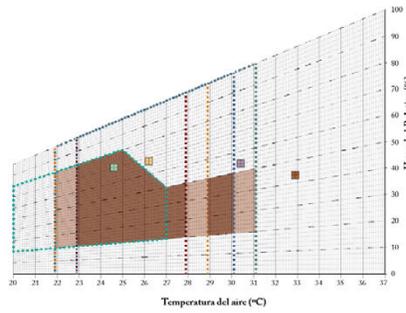
| Jornada de medición | Temperatura del aire (°C) | Humedad Relativa (%) | Velocidad del viento (m/s) |
|---------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| 6:00 - 7:00 am | 29,5 | 62 | 1,4 - 2,5 |
| 9:00 - 10:00 am | 32,5 | 50,2 | 2,7 - 3,2 |
| 2:00 - 3:00 pm | 36,7 | 43,8 | 2,2 - 2,6 |
| 6:00 - 7:00 pm | 28,8 | 59 | 2,1 |

Variación en rango de temperatura de la superficie de materiales con exposición solar en un día - Plazoleta acceso - CC. Jardín Plaza (CsH)



| Concreto (fundido) - Blanco/beige | Adoquín concreto - Blanco/Gris | Adoquín concreto - Amarillo | Césped - Vegetación | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------|------|
| 6:00 - 7:00 am | 29,2 | 28,1 | 27,9 | 23,3 |
| 9:00 - 10:00 am | 38,6 | 41,6 | 36,5 | 27,4 |
| 2:00 - 3:00 pm | 47,4 | 47,3 | 44,2 | 28,6 |
| 6:00 - 7:00 pm | 39,6 | 39,1 | 36,6 | 24,2 |

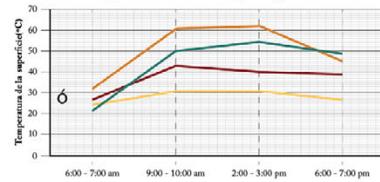
Parque del Ingenio, Cali



■ Zona confort (90%) ■ Zona confort (80%)
 *El rango de confort (90%) puede ampliarse hasta los 30,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s
 *El rango de confort (80%) puede ampliarse hasta los 31,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s

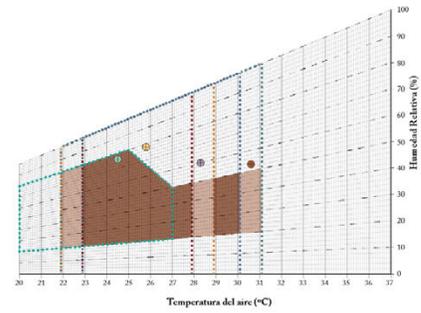
| Jornada de medición | Temperatura del aire (°C) | Humedad Relativa (%) | Velocidad del viento (m/s) |
|---------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| 6:00 - 7:00 am | 24,6 | 70 | 1,9 - 2,1 |
| 9:00 - 10:00 am | 30,4 | 54 | 1,9 |
| 2:00 - 3:00 pm | 32,9 | 43,6 | 1,7 - 3,7 - 5,0 |
| 6:00 - 7:00 pm | 26,2 | 68 | 2,4 |

Variación en rango de temperatura de la superficie de materiales con exposición solar en un día - Parque del Ingenio (CsH)



| Concreto fundido - (Gris Claro) | Asfalto Ciclovía (Gris Oscuro) | Césped - Vegetación | Suelo vegetal - Tierra | |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|------|
| 6:00 - 7:00 am | 26,7 | 31,7 | 24,3 | 21,4 |
| 9:00 - 10:00 am | 42,5 | 60,8 | 39,9 | 30,1 |
| 2:00 - 3:00 pm | 40,4 | 61,9 | 39,7 | 34,4 |
| 6:00 - 7:00 pm | 39,2 | 45,2 | 27,2 | 48,9 |

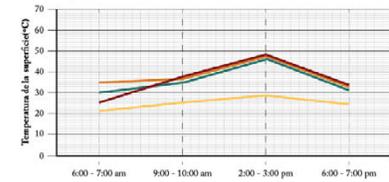
Plazoleta CC. Premier Limonar, Cali



■ Zona confort (90%) ■ Zona confort (80%)
 *El rango de confort (90%) puede ampliarse hasta los 30,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s
 *El rango de confort (80%) puede ampliarse hasta los 31,1 °C si la velocidad del viento es mayor a 1,2 m/s

| Jornada de medición | Temperatura del aire (°C) | Humedad Relativa (%) | Velocidad del viento (m/s) |
|---------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| 6:00 - 7:00 am | 24,5 | 70,6 | 0 |
| 9:00 - 10:00 am | 28,3 | 60,5 | 1,6 - 3,4 |
| 2:00 - 3:00 pm | 30,5 | 53,5 | 0,5 |
| 6:00 - 7:00 pm | 25,8 | 68,3 | 1,9 |

Variación en rango de temperatura de la superficie de materiales con exposición solar en un día - Plazoleta acceso - CC. Premier Limonar (CsH)



| Adoquín concreto - Rosa | Adoquín concreto - Rojo | Loseta concreto - Gris (claro) | Césped - Vegetación | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|------|
| 6:00 - 7:00 am | 25,4 | 35,3 | 30,3 | 23,1 |
| 9:00 - 10:00 am | 38,2 | 36,1 | 35,1 | 25,1 |
| 2:00 - 3:00 pm | 48,5 | 46,3 | 46,2 | 29,2 |
| 6:00 - 7:00 pm | 33,7 | 33,2 | 33,2 | 24,5 |

Gráfico 4. Definición de jornadas en confort y temperatura de los materiales en casos de estudio: Plazoleta CC. Jardín Plaza, Parque del Ingenio y Plazoleta CC. Premier Limonar en clima Cálido Semihúmedo (CsH) en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

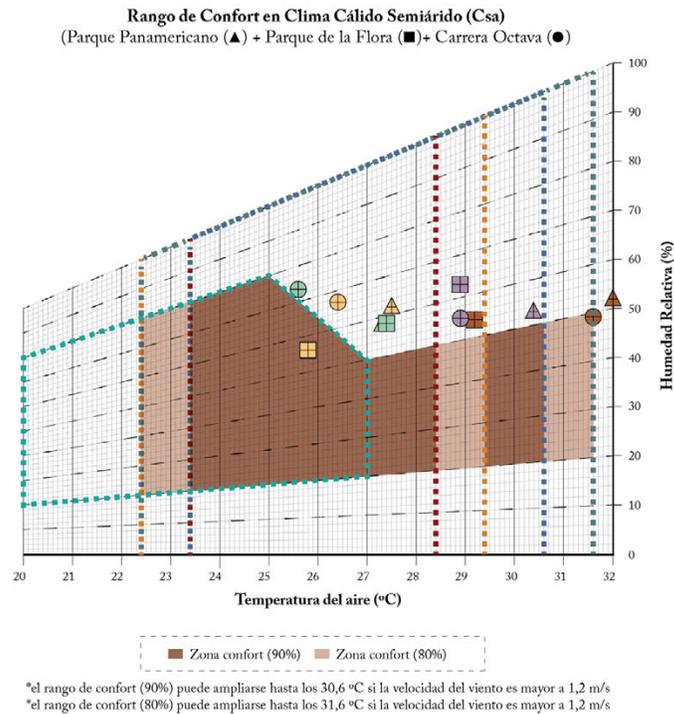


Gráfico 5. Correlación y definición del rango de confort con variables de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura de los materiales en casos de estudio: Parque Panamericano, Parque de la Flora y Carrera Octava en Clima Cálido Semiárido (Csa) en Cali. (fuente: Elaboración propia, 2021).

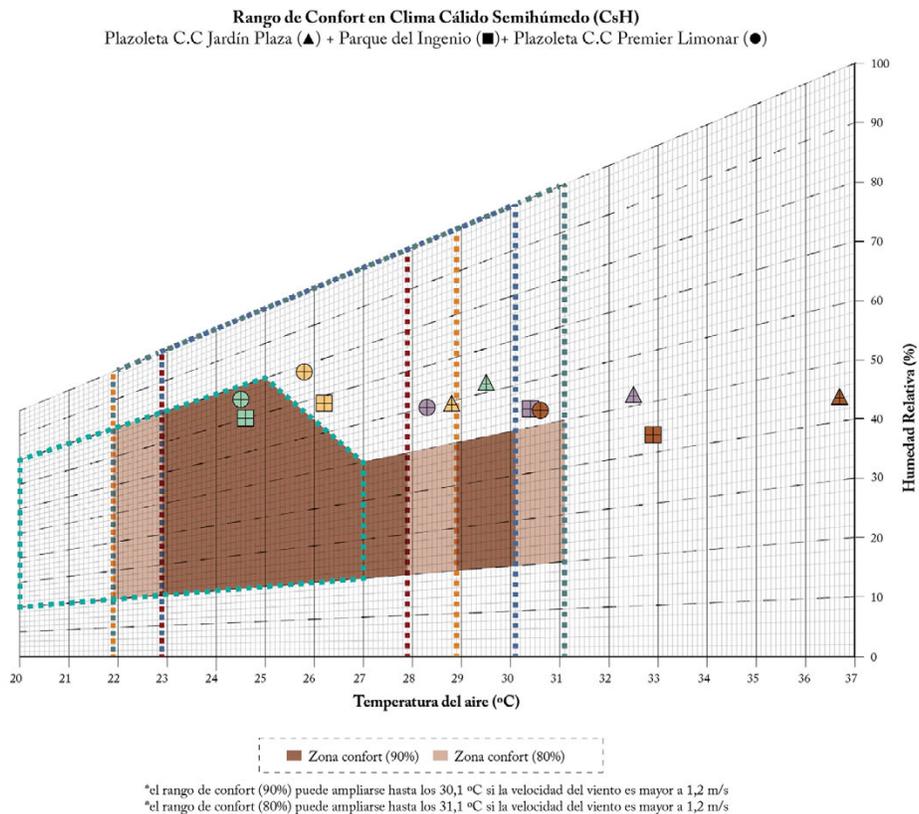


Gráfico 6. Correlación y definición del rango de confort con variables de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura de los materiales en casos de estudio: Plazoleta C.C. Jardín Plaza, Parque del Ingenio y Plazoleta C.C. Premier Limonar en clima Cálido Semihúmedo (CsH) en Cali (fuente: Elaboración propia, 2021).

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Santiago de Cali, CIAT, CVC & DAGMA, 2015. Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali. Convenio CVC-CIAT-DAGMA No. 110.
- Alcaldía de Santiago de Cali, CIAT, CVC & DAGMA, 2015. Identificación de Zonas y Formulación de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor Municipio de Santiago de Cali. Convenio CVC-CIAT-DAGMA No. 110.
- ASHRAE 55-2013, 2013. Thermal Environment Conditions for Human Occupancy. *Standard 55-2013:ANSI/ASHRAE*.
- Borja, J., y Muxi, Z. (2003). *El espacio público: ciudad y ciudadanía*. Editorial Electa, España.
- Brager, G. S., y De Dear, R. J. (1998). Thermal Adaptation in the Built Environment: A Literature Review. *Energy and buildings*, 27(1), 83-96.
- Coccolo, S., Kämpf, J., Scartezzini, J.-L., Pearlmutter, D. (2016). Outdoor Human Comfort and Thermal Stress: A Comprehensive Review on Models and Standards. *Urban Climate*, 18, 33-57.
- De Dear, R., y Brager, G. S. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. *UC Berkeley: Center for the Built Environment*.
- Fanger, P. O. (1973). Assessment of Man's Thermal Comfort in Practice. *Occupational and Environmental Medicine*, 30(4), 313-324.
- Givoni, B. (1969). *Man, Climate and Architecture*. Elsevier Architectural Science Series.
- Hernández, N.T. y Rada, S.B. (2022). Incidencia del confort térmico en espacios públicos: Caso del borde costero del Bio Bio. *Revista AUS-Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad* 77-85.
- Johansson, E., Yahia, M.W., Arroyo, I., Bengs, C. (2018). Outdoor thermal comfort in public space in warm-humid Guayaquil, Ecuador. *Int. J. Biometeorol.* 62, 387-399.
- Lai, D., Lian, Z., Liu, Weiwei, Guo, C., Liu, Wei, Liu, K., Chen, Q. (2020). A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces. *Sci. Total Environ.* 742, 140092.
- Mi, Z., Guan, D., Liu, Z., Liu, J., Vigiúé, V., Fromer, N., Wang, Y. (2019). Cities: The core of climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 207, 582-589.
- Parsons, K. (1994). Thermal comfort standards: past, present and future, and open discussion that follows. *Thermal Comfort: Past Present and Future*.
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.-P., Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: a comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Sci. Total Environ.* 631, 390-406.
- Rangel Mora, M. A., 2009. Indicadores de calidad de los espacios públicos urbanos para la vida ciudadana en ciudades intermedias. En: *Ciudades medias o intermedias en un mundo globalizado*, Edicions de la Universitat de Lleida, 317-340.
- Serra Florensa, R., y Coch Roura, H. (1995). *Architecture and Natural Energy*. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Smith, P., Henríquez, C. (2019). Perception of thermal comfort in outdoor public spaces in the medium-sized city of Chillán, Chile, during a warm summer. *Urban Climate*, 30, 100525.
- Zhang, L., Wei, D., Hou, Y., Du, J., Liu, Z., Zhang, G., Shi, L. (2020). Outdoor thermal comfort of urban park—a case study. *Sustainability* 12, 1961.
- Zhao, P. y Zhang, M. (2018). The impact of urbanisation on energy consumption: A 30-year review in China. *Urban Climate*, 24, 940-953.