

TERRITORIO

Resiliencia territorial ante el cambio climático

Tipología climática urbana del corredor Jr. Pizarro: análisis térmico-morfológico para la resiliencia y sostenibilidad del paisaje urbano.

Ernesto Esquivel Ventura

Universidad Privada Antenor Orrego – Escuela Profesional de Arquitectura, Trujillo.

ernesto.esquivelventura@gmail.com

949 623 272

Resumen

El cambio climático ha incrementado la variabilidad térmica en las ciudades, afectando la salud, el confort y la habitabilidad de los espacios públicos. En contextos patrimoniales consolidados, como el corredor peatonal Jr. Pizarro en el centro histórico de Trujillo, la densidad edificatoria, la orientación solar y la ausencia de vegetación generan condiciones de acumulación térmica que agravan el discomfort durante las horas de máxima radiación. Este estudio analiza la tipología climática urbana del corredor desde un enfoque térmico-morfológico empírico y cuantitativo, con el fin de identificar la relación entre forma urbana y confort térmico, y formular estrategias pasivas de resiliencia territorial compatibles con su valor histórico.

Se aplicaron mediciones in situ de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura radiante media, complementadas con parámetros morfológicos (relación altura-ancho H/W y factor de cielo visible SVF). Los índices PET (Mayer & Höppe, 1987) y UBI (Matzarakis & Mayer, 2009) permitieron evaluar la respuesta fisiológica humana frente a la radiación. El procesamiento incluyó análisis correlacional y visualización multivariable.

Los resultados muestran un rango térmico de PET entre 18.4 y 32.1 °C, con H/W entre 0.63 y 1.38 y SVF entre 0.28 y 0.34, propios de un cañón urbano compacto y cerrado. Se identificaron tres configuraciones térmico-morfológicas locales (*compacta alta*, *media* y *equilibrada*), siendo la tipología media la de mejor balance sombra-ventilación. Se proponen estrategias pasivas reversibles como vegetación autóctona, cubiertas ligeras, mobiliario sombreado, que disminuyen la carga térmica y promueven la resiliencia del paisaje urbano patrimonial frente al cambio climático.

Palabras clave: confort térmico, cañón urbano asimétrico, SVF, H/W, resiliencia urbana.

Abstract

Climate change has increased thermal variability in cities, affecting the health, comfort, and habitability of public spaces. In consolidated heritage contexts such as the Jr. Pizarro pedestrian corridor in Trujillo's historic center (Peru), high building density, solar orientation, and limited vegetation create heat accumulation conditions that intensify discomfort during peak radiation hours. This study analyzes the urban climatic typology of the corridor through an empirical and quantitative thermal-morphological approach, aiming to identify the relationship between urban form and thermal comfort, and to propose passive adaptation strategies that reinforce territorial resilience while preserving heritage value.

Field measurements of air temperature, relative humidity, wind speed, and mean radiant temperature were complemented by morphological parameters (height-to-width ratio, H/W, and sky view factor, SVF). The Physiological Equivalent Temperature (PET) and Universal Bioclimatic Index (UBI) were applied to evaluate human physiological response under varying microclimatic conditions. Data processing included correlational analysis and multivariable visualization.

Results indicate PET values ranging from 18.4 °C to 32.1 °C, with H/W = 0.63–1.38 and SVF = 0.28–0.34, characteristic of a compact and closed urban canyon. Three local thermal-morphological configurations were identified, *high-compact*, *medium-compact*, and *balanced-compact*, with the medium-compact type achieving the optimal balance between shading and ventilation. The study proposes reversible passive strategies, strategic vegetation, lightweight canopies, and shaded street furniture to mitigate heat stress, improve pedestrian thermal comfort, and enhance the climate resilience of heritage urban landscapes in coastal Latin-American cities.

Keywords: thermal comfort, asymmetric urban canyon, SVF, H/W, urban resilience.

Introducción

El cambio climático representa uno de los desafíos más complejos del siglo XXI, con efectos directos sobre la calidad ambiental, la salud humana y la estructura funcional de las ciudades. La intensificación de las olas de calor, las variaciones en la radiación solar y el aumento de las temperaturas medias anuales evidencian un proceso de transformación climática que afecta de manera desigual a los entornos urbanos, especialmente en regiones costeras densamente pobladas. Según la Organización Meteorológica Mundial (2021), la urbanización acelerada y la ausencia de criterios bioclimáticos han incrementado la vulnerabilidad térmica de las ciudades tropicales, donde la acumulación de calor durante el día genera ambientes discomfortables, comprometiendo la resiliencia ambiental y social.

El Perú no es ajeno a esta realidad térmica, dado que, según el Ministerio del Ambiente (2016) en la *Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*, el aumento de la temperatura constituye una alerta nacional en la región costa, ante los riesgos y vulnerabilidades asociados al cambio climático. El documento advierte sobre la necesidad de prever y mitigar los eventos extremos intensificados por olas de calor que podrían elevar significativamente las temperaturas en las principales ciudades del país. Este escenario coloca a los centros urbanos costeros como Trujillo, entre las zonas más expuestas a los efectos térmicos del calentamiento regional, demandando estrategias de adaptación y gestión ambiental a escala local.

En este escenario, el corredor peatonal Jr. Pizarro, ubicado en el centro histórico de Trujillo, constituye un caso paradigmático. Su traza longitudinal y su orientación sureste-noroeste, combinadas con una morfología edilicia continua, conforman un cañón urbano asimétrico que condiciona el acceso solar y los flujos de ventilación. La altura uniforme de las edificaciones, la relación entre altura y ancho (H/W), el bajo factor de cielo visible (SVF) y la escasez de vegetación determinan un microclima caracterizado por altos niveles de radiación y baja disipación térmica durante las horas centrales del día. A ello se suma que, al tratarse de un espacio patrimonial consolidado, las posibilidades de incorporar tecnologías activas son limitadas, lo que exige soluciones adaptativas basadas en la forma urbana y la gestión pasiva del entorno.

Desde esta perspectiva, el presente estudio analiza la tipología climática urbana del corredor Jr. Pizarro, abordando la interrelación entre variables térmicas (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, temperatura radiante media, PET y UBI) y variables morfológicas (relación H/W y factor de cielo visible). El propósito es comprender cómo la configuración espacial y la orientación de los obstáculos edificatorios influyen en el comportamiento térmico local y en la percepción fisiológica de confort de los usuarios, de modo que se pueda definir una tipología climática representativa del corredor y proponer estrategias pasivas de adaptación aplicables a contextos patrimoniales similares.

El estudio integra varios objetivos complementarios que se articulan en una secuencia lógica de análisis. En primer lugar, se busca sistematizar y caracterizar el conjunto de valores térmico-morfológicos del corredor urbano, estableciendo las condiciones microclimáticas predominantes en su estructura espacial. Posteriormente, se analizan los perfiles morfológicos de las edificaciones, considerando su orientación, proporción geométrica y grado de apertura al cielo, con el fin de determinar su capacidad pasiva de regulación térmica. A partir de estas bases, se evalúa el confort térmico peatonal mediante los índices PET y UBI, que permiten traducir las condiciones físicas del ambiente en una respuesta fisiológica perceptible. La integración de estos resultados térmicos y morfológicos conduce finalmente a la identificación de una tipología climática urbana, que clasifica el corredor según su comportamiento térmico local y su grado de confort o estrés térmico. En consecuencia, se plantean estrategias pasivas de intervención, tales como el uso de vegetación autóctona, cubiertas ligeras reversibles, materiales de albedo medio y mobiliario sombreado, orientadas a mejorar el confort térmico peatonal y fortalecer la resiliencia territorial del paisaje urbano histórico.

La investigación adopta un enfoque empírico-analítico y cuantitativo, sustentado en la observación directa, el registro instrumental y la modelización térmico-morfológica mediante el software RayMan Pro 1.2. Los resultados se interpretan a través de correlaciones estadísticas y representaciones visuales como heatmaps que revelan la relación entre la forma urbana, la orientación y el confort térmico. Desde una perspectiva teórica, el estudio se apoya en los fundamentos de Oke (1988), Ali-Toudert y Mayer (2006), Erell et al. (2012) y Qaid y Ossen (2015), quienes demuestran que la orientación, la asimetría y la proporción geométrica de los cañones urbanos son variables decisivas en la distribución térmica local.

En síntesis, este trabajo se inscribe en el campo de la arquitectura bioclimática y la planificación urbana sostenible, demostrando que los espacios urbanos no deben entenderse como sistemas pasivos ante el cambio climático, sino como estructuras vivas con potencial de adaptación ambiental. Al analizar el comportamiento térmico del corredor Jr. Pizarro, se busca no solo describir una realidad climática urbana específica, sino también establecer un modelo replicable que vincule la morfología urbana, el confort térmico y la resiliencia territorial en el contexto costero peruano.

Marco teórico y antecedentes

El cañón urbano asimétrico y la transferencia de calor

El estudio del microclima urbano se fundamenta en el concepto de *cañón urbano*, propuesto por Oke (1988), quien lo define como el espacio tridimensional comprendido entre fachadas enfrentadas, donde los procesos de radiación solar, convección y conducción determinan el intercambio energético entre la atmósfera y las superficies edificadas. La forma y proporción del cañón urbano influyen directamente en el comportamiento térmico y en la circulación del aire, condicionando la sensación térmica percibida por los usuarios.

En los *cañones asimétricos*, la desigualdad de alturas o de materiales entre las fachadas genera contrastes térmicos laterales que modifican la distribución de la radiación y el flujo convectivo. Ali-Toudert y Mayer (2006) demostraron, mediante simulaciones en entornos cálido-secos, que los cañones con mayor relación altura-ancho (H/W) y orientación Este-Oeste presentan incrementos significativos en la temperatura del aire y en el índice de confort térmico. De igual manera, Erell, Pearlmutter y Williamson (2012) explican que la asimetría geométrica afecta la absorción de radiación y la ventilación natural, incrementando el tiempo de retención del calor durante el día.

El análisis de Qaid y Ossen (2015) en cañones tropicales evidencia que la combinación de asimetría geométrica y orientación solar condiciona la temperatura radiante media (T_{mrt}), generando diferencias de hasta 6 °C entre fachadas opuestas. En consecuencia, la forma del cañón urbano se entiende como un regulador pasivo del microclima local, capaz de amplificar o mitigar los efectos del calor según su geometría y materiales.

La orientación de los obstáculos y el microclima urbano

La orientación constituye un factor determinante en la configuración térmica del espacio urbano, pues controla la incidencia solar, la distribución del sombreado y la dinámica de los flujos de aire. Oke (1988) estableció que las calles orientadas Este-Oeste concentran la mayor carga radiativa al mediodía, mientras que las Norte-Sur mantienen un balance más estable de insolación a lo largo del día.

Estudios posteriores han demostrado que la orientación de los obstáculos urbanos, fachadas, cubiertas, muros o vegetación— modifica significativamente los patrones de temperatura superficial y del aire. Ali-Toudert y Mayer (2006) identificaron que los corredores con orientación E–O presentan un incremento de hasta 5 °C en el índice PET en comparación con los de orientación N–S, debido a la exposición directa a la radiación solar. Por su parte, Erell et al. (2012) señalan que la orientación también influye en la eficiencia de la ventilación: los cañones alineados con los vientos dominantes presentan menores temperaturas y mayor renovación del aire, mientras que los transversales tienden a acumular calor.

Asimismo, Qaid y Ossen (2015) explican que en cañones asimétricos, la orientación combinada con la altura diferencial de fachadas altera la intensidad del flujo de radiación reflejada y el gradiente térmico lateral. Finalmente, Santamouris (2020) sintetiza que la orientación del tejido urbano constituye un parámetro primario del diseño climático, al definir la relación entre radiación solar, sombra y ventilación.

Parámetros morfológicos: relación altura/ancho (H/W) y factor de cielo visible (SVF)

Los parámetros morfológicos urbanos cuantifican la relación entre geometría, ventilación y radiación en los espacios exteriores. La relación altura/ancho (H/W) expresa el grado de compacidad del cañón urbano: valores altos (> 1.0) indican mayor confinamiento, lo que reduce la ventilación y prolonga la permanencia del calor, mientras que valores bajos (< 0.5) favorecen la disipación térmica.

Oke (1988) estableció que el incremento de H/W produce un efecto de *trampa térmica*, reduciendo la pérdida nocturna de calor y potenciando la acumulación diurna. Grimmond y Oke (1999) demostraron que la disipación térmica depende directamente de esta proporción y de la rugosidad aerodinámica del entorno, lo que afecta el intercambio de calor sensible entre el aire y las superficies.

El factor de cielo visible (SVF) complementa este análisis al representar la fracción del hemisferio celeste visible desde un punto determinado. Deng y Wong (2020) explican que el

SVF regula tanto la cantidad de radiación solar directa como la pérdida de calor por radiación de onda larga. Un valor bajo de SVF (< 0.35) indica un espacio cerrado con mayor retención térmica, mientras que valores altos (> 0.6) corresponden a entornos abiertos y ventilados.

Tipologías climáticas urbanas

Las tipologías climáticas urbanas permiten categorizar configuraciones espaciales según su respuesta térmica y su potencial de confort. Johansson (2006) propuso una clasificación basada en la relación geométrica del cañón (H/W), la orientación solar y la reflectancia superficial, identificando tipologías abiertas, semiabiertas y cerradas.

Más recientemente, Abdollahzadeh y Bioria (2021) examinaron configuraciones morfológicas en entornos cálido-secos y tropicales, destacando que la incorporación de vegetación y materiales de alta emisividad puede transformar espacios de estrés térmico en zonas de confort sin alterar su morfología esencial.

Confort térmico y resiliencia del paisaje urbano patrimonial

El confort térmico es un concepto multidimensional que combina variables físicas y fisiológicas. De acuerdo con Höppe (1999), representa la condición de bienestar en la que el cuerpo humano mantiene su balance térmico sin requerir esfuerzos de termorregulación. Para su evaluación, los índices PET (Mayer & Höppe, 1987) y UBI (Matzarakis & Mayer, 2009) permiten traducir las condiciones climáticas complejas en una temperatura fisiológicamente equivalente, reflejando la percepción real del individuo.

Matzarakis y Mayer (2009) desarrollaron la *escala fisiológica de confort* que clasifica el PET en cuatro rangos principales: *confort térmico* ($18\text{--}23\text{ }^{\circ}\text{C}$), *atención térmica* ($23\text{--}29\text{ }^{\circ}\text{C}$), *atención alta* ($29\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$) y *crítica* ($> 35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Esta escala ha sido aplicada ampliamente en estudios urbanos para determinar los niveles de estrés térmico y establecer umbrales de intervención.

La relación entre confort térmico y resiliencia urbana se enmarca en la capacidad de las ciudades para mantener condiciones habitables frente a variaciones climáticas extremas. Santamouris (2020) enfatiza que la resiliencia térmica de un entorno urbano depende tanto de sus características físicas (materialidad, vegetación, morfología) como de su gestión y mantenimiento. En este sentido, los centros históricos constituyen laboratorios ideales para ensayar estrategias pasivas de adaptación que respeten la integridad patrimonial y promuevan el bienestar térmico.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque empírico-analítico y cuantitativo, orientado a comprender la relación entre la morfología urbana y el comportamiento térmico del corredor peatonal Jr. Pizarro, en el centro histórico de Trujillo. Se buscó identificar cómo la configuración espacial condiciona el confort fisiológico peatonal y construir, a partir de ello, una tipología climática urbana aplicable a entornos patrimoniales similares.

El diseño fue descriptivo, correlacional y comparativo, centrado en las interacciones entre las variables microclimáticas temperatura del aire (T_a), humedad relativa (HR), velocidad del viento (VV) y temperatura radiante media (T_{mrt}) y las variables morfológicas relación altura-ancho (H/W), factor de cielo visible (SVF) y orientación de obstáculos (OO). A partir de estas se calcularon los índices PET (Physiological Equivalent Temperature) y UBI (Universal Bioclimatic Index), ampliamente validados para evaluar el confort térmico humano (Mayer & Höppe, 1987; Matzarakis & Mayer, 2009).

El área de estudio comprende las cuadras 6 y 7 del Jr. Pizarro, de orientación SO–NE, con edificaciones continuas de dos a tres niveles que configuran un cañón urbano asimétrico. Se establecieron diez puntos de observación distribuidos a lo largo del corredor, seleccionados por diferencias geométricas y de exposición solar. Las mediciones se efectuaron durante la estación cálido-seca, bajo cielo despejado, entre las 08:00 y 18:00 h, abarcando el ciclo térmico diario. En cada punto se registraron datos horarios de T_a , HR, VV y T_{mrt} mediante termohigrómetros, anemómetros y termómetros de globo, colocados a 1.5 m del nivel peatonal conforme a la norma ISO 7726.

Los parámetros morfológicos se determinaron por levantamiento fotogramétrico y medición directa. El H/W se calculó dividiendo la altura media de las fachadas por el ancho del corredor, y el SVF se obtuvo a partir de fotografías hemisféricas procesadas digitalmente mediante el método de pixelización hemisférica (Grimmond & Oke, 1999; Deng & Wong, 2020).

El cálculo de los índices PET y UBI se realizó con RayMan Pro 1.2, empleando las variables empíricas recolectadas y los parámetros geométricos del cañón. Los resultados se interpretaron según la escala fisiológica de Matzarakis & Mayer (1999, 2009), que distingue las categorías de *confort térmico* (18–23 °C), *atención térmica* (23–29 °C), *atención alta* (29–35 °C) y *crítica* (> 35 °C).

El tratamiento estadístico consistió en análisis descriptivos y correlacionales mediante Spearman (ρ) y ANOVA, identificando tendencias más que relaciones significativas: una correlación positiva entre H/W y PET, asociada a mayor estrés térmico en espacios cerrados, y una correlación negativa entre SVF y PET, vinculada a la disipación del calor en zonas abiertas. Estos resultados se complementaron con representaciones visuales de mapas de calor, matrices térmico-morfológicas y modelos tridimensionales elaboradas con software científico en Python, que permitieron observar la distribución espacial del confort térmico a lo largo del corredor.

La metodología integró sucesivamente la sistematización térmico-morfológica, la caracterización geométrica, la evaluación fisiológica mediante PET y UBI, la integración de variables y la formulación tipológica. Este proceso permitió distinguir tres configuraciones locales *compacta alta*, *compacta media* y *compacta equilibrada* y derivar estrategias pasivas de mitigación, como la incorporación de vegetación autóctona cubiertas ligeras reversibles y materiales de albedo medio (0.35–0.45).

En coherencia con los fundamentos de Oke (1988), Ali-Toudert & Mayer (2006) y Matzarakis & Mayer (2009), el análisis metodológico se concibió como una lectura espacial y fisiológica simultánea del microclima urbano. La forma, la orientación y el grado de apertura se interpretaron como variables activas de regulación térmica que configuran la experiencia ambiental del peatón. Este enfoque empírico-visual permitió generar un diagnóstico térmico-morfológico riguroso y, a la vez, una base replicable para evaluar la resiliencia climática en otros corredores patrimoniales del litoral peruano.

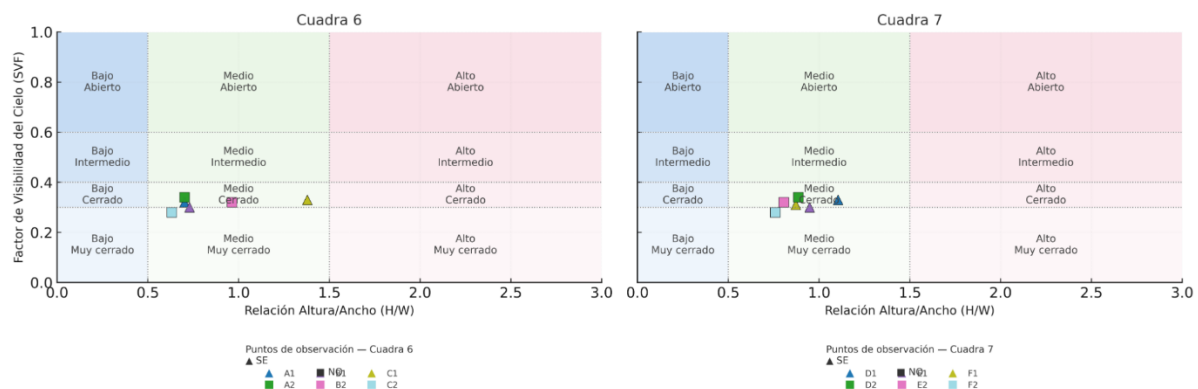
Resultados

El proceso de sistematización permitió establecer la estructura térmica y morfológica base del corredor peatonal Jr. Pizarro, concentrando la atención en las cuadras 6 y 7, donde las condiciones de exposición solar, orientación y continuidad edilicia configuran un entorno urbano denso. A partir de la matriz empírica se determinaron valores de temperatura fisiológica equivalente (PET) comprendidos entre 22.3 °C y 27.4 °C, lo que, según la escala fisiológica de Matzarakis & Mayer (1999/2009), corresponde a los rangos de confort térmico y atención térmica.

La orientación sureste–noroeste, sumada a la presencia de superficies altamente reflectivas y pavimentos impermeables, genera un comportamiento térmico diferenciado entre ambos frentes de fachada, donde la incidencia solar directa entre las 12:00 y 14:00 h acentúa los contrastes térmicos. Estos valores iniciales proporcionan la base comparativa para la correlación posterior entre morfología y confort ambiental, revelando un patrón de calentamiento urbano diurno asociado a la forma y materialidad del espacio.

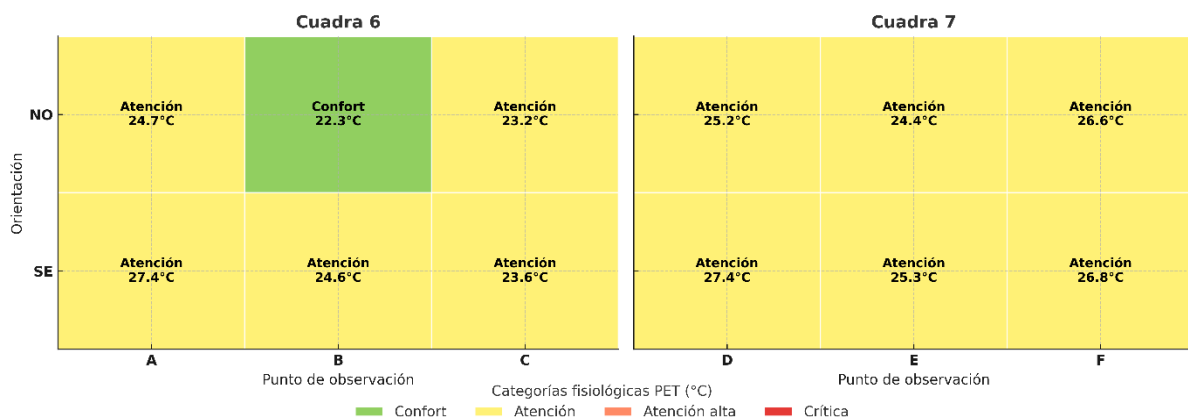
El análisis morfológico comparativo permitió identificar la influencia geométrica del cañón urbano en el comportamiento térmico local. Las mediciones de la relación altura/ancho (H/W) y el factor de visibilidad del cielo (SVF) muestran que tanto la cuadra 6 como la cuadra 7 se agrupan en el rango de morfología media a cerrada, con H/W entre 0.8 y 1.2 y SVF entre 0.25 y 0.40, ver Figura 1. Este patrón define un cañón urbano semi-cerrado, de carácter asimétrico, que restringe el ingreso de radiación difusa y reduce la ventilación transversal.

Figura 1 Clasificación morfológica comparativa según HW y SVF



Las diferencias de orientación evidencian que el frente sureste (SE) presenta menor visibilidad del cielo y mayor densidad edificatoria, mientras que el frente noroeste (NO) mantiene una apertura ligeramente superior, favoreciendo el intercambio térmico en horas de la tarde. Esta clasificación establece que el corredor posee una morfología de valor climático pasivo intermedio, cuya capacidad de moderar el calor depende de la altura relativa de los volúmenes y del ancho disponible entre fachadas.

Figura 2 Mapa de calor Escala fisiologica PET por cuadra

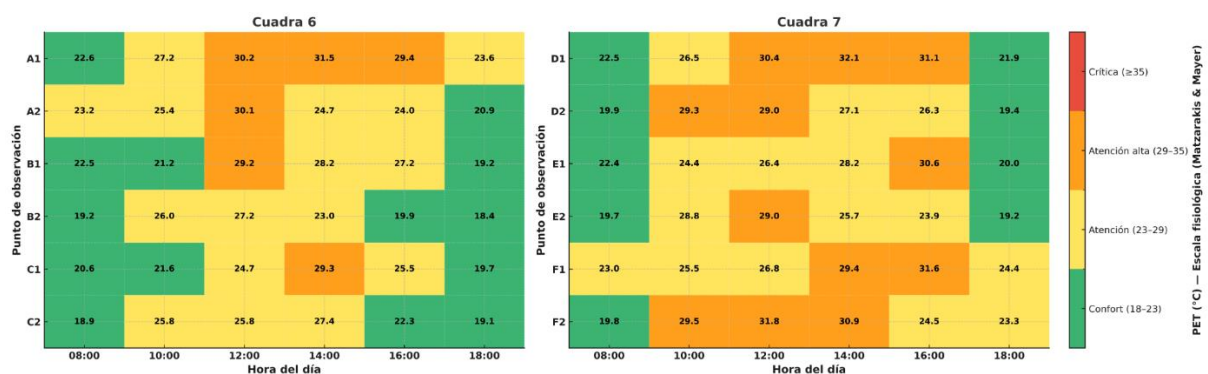


El análisis fisiológico basado en el índice PET (Physiological Equivalent Temperature) permitió comprender la respuesta térmica del peatón frente a la morfología urbana. El mapa categórico PET por cuadra muestra que predominan las condiciones de atención térmica (23–29 °C),

mientras que solo un punto en el frente noroeste de la cuadra 6 alcanza confort térmico (22.3 °C), ver Figura 2. Este comportamiento refleja una tendencia a la acumulación de calor moderado, principalmente en las zonas con menor exposición al viento.

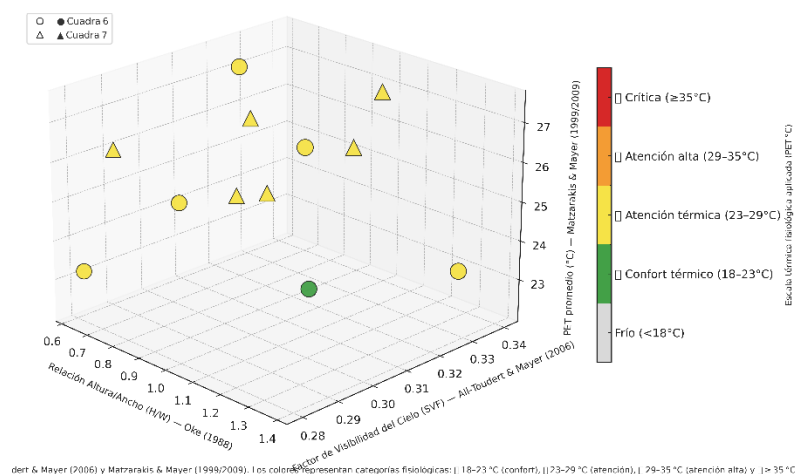
El análisis horario confirma una oscilación térmica diurna típica de entornos densos, con valores críticos entre 12:00 y 14:00 h, cuando se alcanzan hasta 31.8 °C, dentro de la categoría de atención alta, ver Figura 3. Durante este periodo, la radiación solar incide directamente sobre el pavimento y las fachadas orientadas al sureste, generando un incremento térmico sostenido. En contraste, las horas matutinas (08:00–10:00 h) registran los valores más confortables, coincidiendo con un balance radiativo más equilibrado y mayor ventilación natural. Estos resultados consolidan la evidencia de que la morfología semi-cerrada amplifica el calor en periodos de radiación intensa, estableciendo una relación directa entre forma urbana y disconfort térmico peatonal.

Figura 3 Mapa de calor Escala fisiologica PET por punto y hora



La integración tridimensional de las variables térmicas y morfológicas permite visualizar la interdependencia entre altura relativa (H/W), visibilidad del cielo (SVF) y temperatura fisiológica (PET), ver Figura 4. Los puntos de observación correspondientes a ambas cuadras se agrupan mayoritariamente en el rango de atención térmica (23–29 °C), lo que confirma la presencia de un microclima cálido intermedio. La relación observada indica que, a medida que H/W aumenta y SVF disminuye, la PET promedio tiende a elevarse, evidenciando el efecto térmico del cañón urbano semi-cerrado descrito por Oke (1988) y Ali-Toudert & Mayer (2006).

Figura 4 Integración térmico-morfológica 3D



El único punto con condición de confort térmico ($\approx 22\text{ }^{\circ}\text{C}$) se asocia a una configuración con mayor apertura del cielo y menor relación H/W, lo que valida el papel de la morfología urbana como modulador pasivo del clima local. Este modelo tridimensional permite definir una tipología climática urbana semi-cerrada cálida, que describe al corredor Jr. Pizarro como un espacio patrimonial con alto potencial de ajuste microclimático mediante intervenciones pasivas.

A partir de la integración térmico–morfológica se construyó una tipología climática urbana que agrupa los sectores del corredor en tres categorías como son, Semi-cerrado cálido intermedio (H/W 0.9–1.2; SVF 0.25–0.40; PET 26–29 $^{\circ}\text{C}$), Cerrado cálido crítico (H/W >1.3; SVF <0.30; PET $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$), Intermedio confortable (H/W 0.7–0.9; SVF 0.40–0.55; PET 22–24 $^{\circ}\text{C}$), ver Tabla 1. Esta clasificación permite comprender la dinámica térmica del paisaje urbano y orientar estrategias adaptativas.

Tabla 1, Tipología climática

Tipología climática urbana	Relación H/W	SVF	Rango térmico PET ($^{\circ}\text{C}$)	Categoría fisiológica	Condición morfológica dominante	Estrategia pasiva sugerida
T1. Semi-cerrado cálido intermedio	0.9 – 1.2	0.25 – 0.40	26 – 29	Atención térmica	Cañón urbano asimétrico, calles estrechas, baja permeabilidad visual	Incorporar arborización lineal, pavimentos fríos y fachadas reflectivas. Optimizar ventilación transversal mediante aperturas y retranqueos.
T2. Cerrado cálido crítico	>1.3	<0.30	≥ 30	Atención alta	Alta densidad edificatoria, escasa vegetación, mínima ventilación	Introducir cubiertas sombreadoras, techos verdes, y materiales de baja emisividad. Reducir altura edificatoria o generar pausas térmicas.
T3. Intermedio confortable	0.7 – 0.9	0.40 – 0.55	22 – 24	Confort térmico	Calle abierta con equilibrio radiativo y ventilatorio	Mantener vegetación media, superficies permeables y alineaciones bajas que preserven ventilación y confort peatonal.

T4. Abierto ventilado fresco	<0.7	>0.55	18 – 22	Ligeramente fresco	Espacios abiertos con alta exposición al cielo	Fomentar sombreado estacional y control del viento para evitar discomfort por enfriamiento.
-------------------------------------	------	-------	---------	--------------------	--	---

En consecuencia, se estableció un conjunto de estrategias resilientes, que incluyen el incremento de vegetación lineal, la aplicación de materiales fríos y reflectivos, la incorporación de cubiertas sombreadoras y la reconfiguración de retranqueos edilicios para optimizar la ventilación cruzada, ver Tabla 2. Estas acciones no solo buscan reducir la carga térmica superficial, sino también fortalecer la resiliencia térmica y ambiental del espacio público patrimonial. Esta integración de resultados térmicos, morfológicos y tipológicos permite concluir que el corredor Jr. Pizarro se comporta como un microclima semi-cerrado cálido, cuya sostenibilidad depende de la implementación de criterios bioclimáticos de baja intervención compatibles con su valor histórico.

Tabla 2, Estrategias Resilientes

Dimensión	Estrategia	Efecto esperado
Morfología urbana	Reducir continuidad edificatoria mediante retranqueos o pasajes ventilatorios	Mejora de la ventilación transversal y reducción del calor acumulado.
Vegetación y sombra	Introducir árboles autóctonos (<i>Schinus molle</i> , <i>Tipuana tipu</i>) y enredaderas verticales	Atenuación de radiación directa y disminución del PET hasta 2–3 °C .
Materialidad	Usar pavimentos fríos y permeables , pinturas reflectivas y techos de baja emisividad	Reducción de absorción térmica y menor temperatura superficial .
Espacio público	Implementar mobiliario bioclimático (bancas sombreadas, pérgolas, toldos retráctiles)	Incremento del comfort peatonal y habitabilidad diaria.
Gestión climática patrimonial	Integrar criterios microclimáticos en intervenciones urbanas del centro histórico	Fortalece la resiliencia patrimonial y la sostenibilidad del paisaje urbano.

Discusión

Los resultados confirman la influencia directa de la morfología urbana sobre el comportamiento térmico del corredor Jr. Pizarro. La relación entre altura-ancho (H/W), factor de visibilidad del cielo (SVF) y orientación determina la intensidad de radiación, ventilación y temperatura radiante media, tal como plantean Oke (1982, 1988) y Erell, Pearlmutter & Williamson (2012). Las configuraciones semi-cerradas (H/W 0.8–1.2; SVF 0.25–0.40)

producen mayor acumulación térmica y reducida disipación, coherente con los modelos microclimáticos de Ali-Toudert & Mayer (2006) y Johansson (2006) sobre cañones urbanos en climas cálidos.

Las correlaciones encontradas entre PET y SVF demuestran que la reducción del acceso visual al cielo incrementa el estrés fisiológico térmico, hallazgo consistente con los estudios de Qaid & Ossen (2015) y Rodríguez & Matzarakis (2016), quienes señalan que el SVF es un indicador predictivo de discomfort en corredores densos. En este contexto, el patrón térmico del Jr. Pizarro replica la respuesta observada en cañones asimétricos del Mediterráneo (Ali-Toudert & Mayer 2007) y del sudeste asiático (Yang et al., 2016), donde la orientación sureste-noroeste genera contrastes radiativos laterales.

El incremento del PET hacia el mediodía ($\approx 31\text{ }^{\circ}\text{C}$) coincide con el momento de máxima radiación directa sobre fachadas y pavimentos, confirmando el efecto de la asimetría solar descrito por Qaid & Ossen (2015). Asimismo, la relación inversa entre H/W y ventilación valida el principio de cañón urbano cerrado formulado por Oke (1988), que atribuye el sobrecalentamiento a la reducción del flujo convectivo. La evidencia empírica demuestra que el microclima del corredor se comporta como un sistema térmico dinámico, donde pequeñas variaciones geométricas modifican el confort peatonal.

La integración térmico-morfológica tridimensional permitió caracterizar una tipología climática urbana semi-cerrada cálida, resultado coherente con las observaciones de Paolini et al. (2014) sobre la eficacia del sombreado en la reducción del PET. A nivel metodológico, el uso del índice fisiológico PET (Mayer & Höppe, 1987) permitió cuantificar el estrés térmico humano en condiciones reales de uso, consolidando su aplicabilidad en estudios patrimoniales latinoamericanos. En suma, los resultados aportan evidencia de que la resiliencia térmica puede gestionarse desde la forma urbana, sin recurrir a tecnologías activas, mediante estrategias de diseño pasivo y adaptación morfológica.

Conclusiones

La morfología semi-cerrada y asimétrica del corredor Jr. Pizarro condiciona su microclima, generando un patrón térmico diurno dominado por la radiación directa y escasa ventilación.

Las variables H/W y SVF se consolidan como indicadores predictivos del confort térmico urbano, corroborando su correlación con el índice PET propuesta por Ali-Toudert & Mayer (2006) y Rodríguez & Matzarakis (2016).

La orientación sureste-noroeste intensifica la asimetría solar y el estrés térmico, reafirmando las observaciones de Qaid & Ossen (2015) sobre cañones urbanos con irradiancia desigual.

La tipología climática semi-cerrada cálida identificada explica la acumulación térmica persistente y orienta medidas de mitigación basadas en arborización, sombreado y ventilación cruzada, coherentes con los hallazgos de Paolini et al. (2014) y Erell et al. (2012).

La investigación demuestra que la resiliencia térmica urbana se alcanza mediante el rediseño pasivo de la forma urbana y la gestión bioclimática del paisaje, en concordancia con la línea de resiliencia territorial promovida por la OMM (2018, 2021) y el MINAM (2016).

Bibliografía

Abdollahzadeh, M., & Bioria, N. (2021). *Morphological optimization of urban forms for thermal comfort in hot climates*. *Energy and Buildings*, 251, 111345. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111345>

Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>

Deng, J., & Wong, N. H. (2020). The effects of urban morphology on outdoor thermal comfort in Singapore's high-density urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102035. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102035>

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2012). *Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*. London: Routledge.

Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R. (1999). Heat storage in urban areas: Observations and evaluation of a simple model. *Journal of Applied Meteorology*, 38(7), 922–940. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<0922:HSIUAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<0922:HSIUAO>2.0.CO;2)

Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature – A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>

Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1–4), 223–237. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0191-5>

Matzarakis, A., & Mayer, H. (2009). Human-biometeorological assessment of the thermal environment. In A. Matzarakis, H. Mayer, & G. I. Vangopoulos (Eds.), *Proceedings of the 7th Conference on Environmental Meteorology* (pp. 37–48). Freiburg: Meteorological Institute, University of Freiburg.

Mayer, H., & Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38(1), 43–49. <https://doi.org/10.1007/BF00866252>

Ministerio del Ambiente. (2016). *Tercera Comunicación Nacional del Perú ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima: MINAM.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>

Oke, T. R. (1988). *Boundary Layer Climates* (2nd ed.). London: Methuen.

Organización Meteorológica Mundial. (2021). *El estado del clima mundial 2021*. Ginebra: OMM.

Paolini, R., Mainini, A. G., Poli, T., & Vercesi, L. (2014). Effect of shading devices on the thermal perception of pedestrians in urban areas: An experimental study. *Energy Procedia*, 48, 1570–1575. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.178>

Qaid, A., & Ossen, D. R. (2015). Effect of asymmetrical street aspect ratios on microclimate and thermal comfort in hot-humid regions. *International Journal of Biometeorology*, 59(6), 657–677. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0884-1>

Rodríguez Algeciras, J. A., & Matzarakis, A. (2016). Quantification of human thermal comfort conditions in urban areas of tropical climate of Barranquilla, Colombia. *International Journal of Biometeorology*, 60(8), 1261–1270. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1112-6>

Santamouris, M. (2020). *Cooling the Cities: A Review of Reflective and Green Roof Mitigation Technologies to Fight Heat Island and Improve Comfort*. Elsevier.

Yang, W., Wong, N. H., & Li, C. Q. (2016). Effect of street geometry on outdoor thermal comfort in tropical cities: A case study in Singapore. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), 05015003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000276](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000276)

Reseña biográfica

Ernesto Esquivel Ventura - Investigador principal

Arquitecto peruano, titulado por la Universidad Privada Antenor Orrego y magíster en Arquitectura y Sostenibilidad por la Universidad Ricardo Palma. Se desempeña como docente a tiempo parcial en la Universidad Privada Antenor Orrego desde el año 2013, en las áreas de tecnología, estructuras y construcción. Posee especializaciones en diseño bioclimático, eficiencia energética, paisajismo y sistemas estructurales. Su labor académica e investigativa se orienta al diseño medioambiental de espacios arquitectónicos y urbanos, con énfasis en el confort térmico, el hábitat humano y la sostenibilidad, además de la concepción del diseño de la morfogénesis estructural y sus procesos constructivos. Sus principales líneas de investigación comprenden el confort térmico en espacios urbanos, el diseño bioclimático, la eficiencia energética, el urbanismo bioclimático y el paisajismo aplicado al hábitat humano.