

EVALUACIÓN TÉRMICA COMPARATIVA DE UNA ESTRUCTURA DE SOMBREADO VEGETAL Y UNA MALLA DE SOMBREADO ARTIFICIAL EN PARRAL, CHILE

Recibido 28/01/2026
 Aceptado 27/06/2026

COMPARATIVE THERMAL EVALUATION OF A VEGETATIVE SHADING STRUCTURE AND A SYNTHETIC SHADE NET IN PARRAL, CHILE

AVALIAÇÃO TÉRMICA COMPARATIVA DE UMA ESTRUTURA DE SOMBREAMENTO VEGETAL E DE UMA TELA DE SOMBREAMENTO ARTIFICIAL EM PARRAL, CHILE

Nelson Arias-Jiménez (Autor de Correspondencia)

Doctor en Arquitectura y Urbanismo
 Académico, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño,
 Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura
 Universidad del Bío-Bío
 Concepción, Chile
<https://orcid.org/0000-0003-1782-7314>
narias@ubiobio.cl

Rodrigo Figueroa-San-Martín

Doctor en Arquitectura y Urbanismo
 Académico, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño,
 Departamento de Ciencias de la Construcción
 Universidad del Bío-Bío
 Concepción, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-4382-3782>
rfiguero@ubiobio.cl

Diego Cárdenas-Merino

Magíster en Arquitectura
 Estudiante de doctorado, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño,
 Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura
 Universidad del Bío-Bío
 Concepción, Chile
<https://orcid.org/0000-0003-3093-6996>
diegocardenasarquitecto@gmail.com



RESUMEN

Este estudio evalúa comparativamente el comportamiento térmico de un parrón y una malla de sombreado como estrategias de acondicionamiento de espacios exteriores intermedios en clima templado. Se desarrolló un experimento in situ en la ciudad de Parral, Chile, mediante mediciones ambientales durante 14 días de verano, con un enfoque exploratorio. A partir del registro de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura de globo, se calcularon la temperatura radiante media y el índice UTCI entre las 11:00 y las 16:00 h. Los resultados evidencian un mejor desempeño del parrón, con valores menores de UTCI y de temperatura radiante media que los de la malla. La mayor diferencia entre ambas condiciones se observó en este último parámetro, con variaciones diarias de 2,6 a 4,3 °C. Se concluye que el parrón constituye una estrategia pasiva más efectiva para mejorar el confort térmico exterior.

Palabras clave

sobrecalentamiento, parrón, confort térmico exterior, espacios intermedios

ABSTRACT

This study comparatively evaluates the thermal performance of a grapevine pergola and a shade net as conditioning strategies for intermediate outdoor spaces in a temperate climate. An in situ experiment was conducted in Parral, Chile, using environmental measurements collected over a 14-day summer period as part of an exploratory approach. Air temperature, relative humidity, wind speed, and globe temperature were recorded, and mean radiant temperature and the Universal Thermal Climate Index (UTCI) were calculated for the period between 11 am and 4 pm. The results indicate the grapevine pergola performed better, with a lower UTCI and mean radiant temperature values than those recorded under the shade net. The greatest difference between the two conditions was observed for the second parameter, with daily variations ranging from 2.6 to 4.3 °C. It is concluded that the grapevine pergola constitutes a more effective passive strategy for improving outdoor thermal comfort.

Keywords

overheating, grapevine pergola, outdoor thermal comfort, transitional spaces

RESUMO

Este estudo avalia comparativamente o comportamento térmico de um pergolado com parreira e de uma tela de sombreamento como estratégias de condicionamento de espaços exteriores intermediários em clima temperado. Desenvolveu-se um experimento in situ na cidade de Parral, Chile, com medições ambientais ao longo de 14 dias de verão, adotando-se uma abordagem exploratória. A partir do registro da temperatura do ar, da umidade relativa, da velocidade do vento e da temperatura de globo, calcularam-se a temperatura radiante média e o índice UTCI entre 11h e 16h. Os resultados evidenciam um melhor desempenho do pergolado com parreira, com valores mais baixos de UTCI e de temperatura radiante média em comparação à tela. A maior diferença entre as duas condições foi observada neste último parâmetro, com variações diárias de 2,6 a 4,3 °C. Conclui-se que o pergolado com parreira constitui uma estratégia passiva mais eficaz para melhorar o conforto térmico exterior.

Palavras-chave

Superaquecimento, pergolado com parreira, conforto térmico exterior, espaços intermediários



Figura 1. Dos ejemplos de parrones y su comportamiento caducifolio. Fuente: Elaboración de los autores.

INTRODUCCIÓN

El acondicionamiento ambiental de espacios exteriores constituye un desafío creciente en el contexto del cambio climático y la intensificación del fenómeno de isla de calor urbano (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). En ciudades y territorios de clima templado, el aumento de las temperaturas y la mayor exposición a radiación solar han deteriorado las condiciones de confort térmico en el espacio exterior, que afecta su habitabilidad y uso cotidiano (Liu et al., 2025; Wang et al., 2023). En este escenario, las estrategias pasivas de mitigación climática, particularmente aquellas basadas en vegetación han adquirido relevancia como alternativas sostenibles frente a soluciones tecnológicas de alto consumo energético (Gherri, 2023).

En este sentido, la literatura ha abordado extensamente el rol de la infraestructura verde en distintas escalas, desde el arbolado urbano hasta sistemas constructivos vegetales (Bowler et al., 2010). Sobre este último, se ha demostrado que la incorporación de vegetación en envolventes puede reducir significativamente la temperatura radiante media en entornos exteriores (Perini & Magliocco, 2014) y la temperatura superficial de muros expuestos a radiación solar directa, dependiendo de variables como la densidad foliar y la cobertura vegetal (Nasr et al., 2024).

Para el enfriamiento de espacios exteriores, además de la incorporación de la vegetación a muros, fachadas o techos, existen sombreaderos vegetales, contruidos por estructuras horizontales que controlan la radiación solar mediante especies trepadoras, típicamente visibles en pérgolas. En estos casos, la vegetación actúa como un mediador climático eficaz mediante dos mecanismos principales: la reducción de la radiación solar incidente, a través del sombreado y el enfriamiento evaporativo asociado a la evapotranspiración (Salonen et al., 2022; Wu et al., 2024). Estos procesos permiten disminuir tanto la temperatura superficial como la del aire, que contribuye a mejorar el confort térmico en espacios exteriores y a mitigar el efecto de isla de calor urbano.

La evidencia reciente converge en que la sombra generada por vegetación tiende a ofrecer un mejor

desempeño térmico que los dispositivos artificiales, tanto en la reducción de temperatura como en la mejora del confort térmico exterior (Kusaka, Asano & Kimura, 2022). En contraste, existe una menor sistematización del conocimiento respecto de dispositivos tradicionales que, en contextos locales, han cumplido funciones similares de acondicionamiento ambiental. En este marco, el parrón —estructura vegetal asociada al cultivo de la uva— constituye un elemento característico de la arquitectura vernácula en climas templados, particularmente en regiones mediterráneas y en el valle central de Chile. El parrón puede configurar espacios intermedios habitables mediante la generación de sombra y microclimas favorables. Su uso ha sido documentado en prácticas rurales y domésticas en el país, donde forma parte del habitar cotidiano (Aravena Alvarado, 2015).

Desde una perspectiva ambiental, su carácter de especie caduca (Figura 1) permite una adaptación estacional eficiente, que proporciona sombra en verano y permite el ingreso de radiación solar en invierno, tal como otras especies caducifolias (Zhang et al., 2022). Desde el punto de vista físico, el parrón actúa como un sistema de regulación térmica que combina sombreado y evapotranspiración. A pesar de su presencia en entornos rurales y urbanos, el parrón ha sido progresivamente reemplazado por soluciones de rápida y económica implementación, como las mallas de sombreado de polietileno de alta densidad. Éstas permiten un control inmediato de la radiación solar y generan efectos de enfriamiento que contribuyen al confort térmico (López-Cabeza et al., 2022; Zhao et al., 2024).

Esta sustitución de una solución ancestral por un elemento artificial no responde únicamente a criterios técnicos, sino que también se inscribe en dinámicas más amplias de estandarización impulsadas por políticas públicas y el mercado, que tienden a desplazar estrategias vernáculas. Fenómenos similares han sido documentados en otros contextos, donde la incorporación de soluciones industrializadas han contribuido a la homogeneización de los entornos contruidos vernáculos (Arias Tapiero, Ortega & Vasconcelos, 2025). En consecuencia, se observa una pérdida progresiva de pertinencia identitaria en la configuración de los espacios exteriores, particularmente en ámbitos rurales (Figura 2).



Figura 2. Personas frente a un sistema de sombreado de parrón y malla. Fuente: Elaboración de los autores.

Si bien existe un cuerpo consolidado de investigación sobre el rol de la vegetación como mediador climático, la investigación reciente en torno al desempeño térmico de la vegetación se ha concentrado principalmente en sistemas contemporáneos, tales como muros (Jim, 2015; Zheng et al., 2025), fachadas (MacIvor & Margolis, 2015) y techos verdes (De Cristo et al., 2025), por lo que se identifica una brecha específica en el estudio de sombreaderos vegetales como dispositivos de acondicionamiento ambiental. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar el efecto del parrón en el comportamiento térmico de espacios exteriores, como un caso representativo de los sombreaderos vegetales, y compararlo con una solución contemporánea basada en malla de sombreado, con el fin de evaluar sus efectos en las condiciones micro-meteorológicas y su potencial como estrategia de acondicionamiento ambiental.

METODOLOGÍA

SITIO DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en la ciudad de Parral, ubicada en el valle central de Chile ($36^{\circ}08' S$, $71^{\circ}49' W$), zona caracterizada por un clima templado con influencia mediterránea (Csb), según la clasificación de Köppen-Geiger. Este clima presenta veranos cálidos y secos, con alta radiación solar y amplitud térmica diaria, e inviernos más fríos y húmedos.

Estas condiciones permiten evaluar el desempeño de estrategias de sombreado en escenarios representativos del habitar cotidiano en el centro-sur de Chile, particularmente en contextos de alta exposición solar estival. De acuerdo con los registros históricos de la estación meteorológica más cercana, las temperaturas máximas medias del aire durante los meses cálidos alcanzan $28,1^{\circ}C$ en diciembre, $30,6^{\circ}C$ en enero, $30,0^{\circ}C$ en febrero y $26,5^{\circ}C$ en marzo. Se considera específicamente este último mes, en el que se realizaron las mediciones, las temperaturas máximas absolutas registradas oscilan entre $31,4^{\circ}C$ y $34,3^{\circ}C$ (Servicios Climáticos, 2026).

DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño adopta un enfoque experimental exploratorio basado en mediciones in situ, orientado a analizar el comportamiento térmico asociado a un sistema de sombreado vegetal preexistente (parrón) en comparación con una superficie localizada de malla de sombreado de polietileno de alta densidad (malla). El estudio se desarrolló en un único espacio intervenido, en el que se introdujo una superficie acotada de malla ($1,0 \times 1,2 m$), que permite generar variaciones micro-meteorológicas localizadas dentro de un mismo entorno. Esta aproximación responde a restricciones operativas propias del caso de estudio y se plantea como una estrategia exploratoria para identificar tendencias comparativas iniciales (Figura 3).

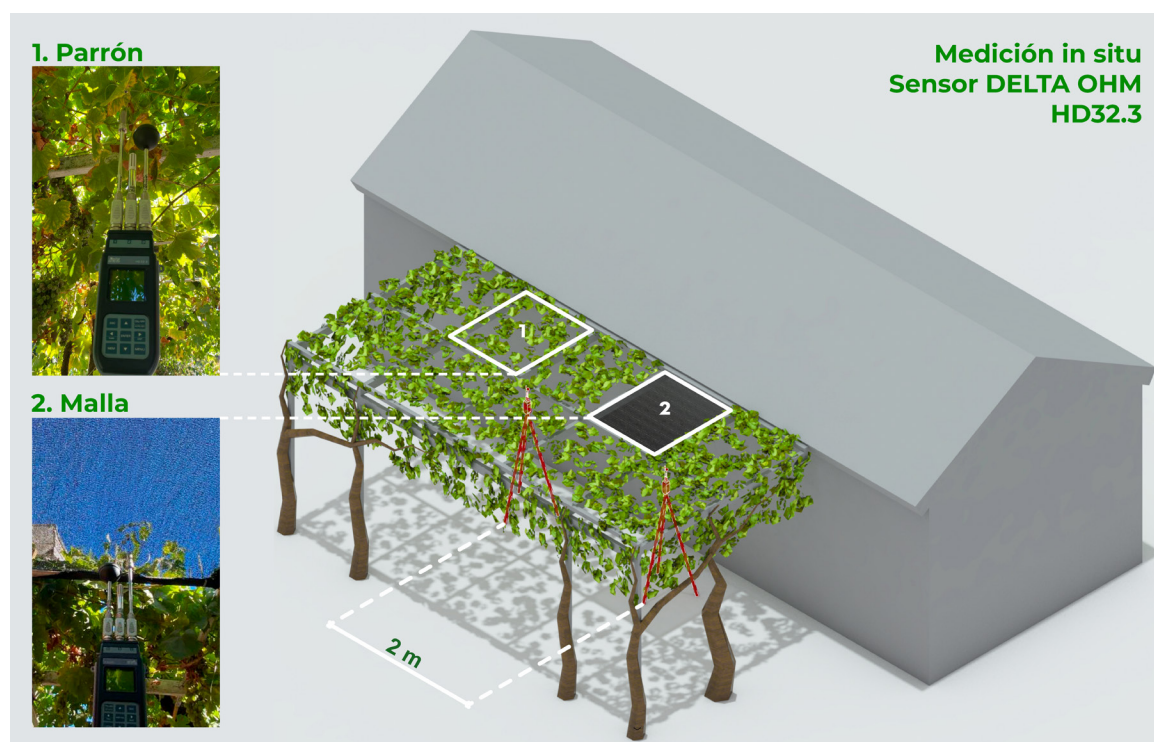


Figura 3. Esquema de estrategias de sombreado estudiadas. Fuente: Elaboración de los autores.

Las mediciones se realizaron en posiciones específicas bajo ambas condiciones para capturar variaciones en el comportamiento térmico a escala micro-meteorológica. En particular, la temperatura de globo fue registrada bajo la malla a una distancia aproximada de 75 cm de la superficie de sombreado y a una altura de 1,55 m respecto del nivel del suelo, representativa de la altura de exposición del cuerpo humano en posición de pie (Zhao et al., 2024). Se utilizaron sensores data loggers, posicionados al centro de los sistemas de sombreado estudiados, a 2 metros de distancia entre sí.

La campaña de medición se desarrolló durante un período continuo de 14 días en temporada estival. Dicha duración permite registrar ciclos térmicos diarios y reducir la influencia de eventos meteorológicos puntuales, que mejoran la representatividad de los datos, en línea con recomendaciones metodológicas para estudios ambientales de campo (Arias-Jiménez et al., 2026; Guerrero-Rubio et al., 2017; Umishio et al., 2024).

Las mediciones se realizaron mediante sensores instalados en el espacio de estudio, con una frecuencia de registro de 10 minutos durante las 24 horas de cada día. En investigaciones similares, se ha restringido el rango horario de análisis con el propósito de capturar los picos críticos de estrés térmico y evitar distorsiones por baja altitud solar (Elgheznawy & Eltarabily, 2021; Lee et al., 2018; Zhao et al., 2024). En concordancia con este criterio, se desarrolló un estudio de asoleamiento mediante una réplica digital georreferenciada del lugar de experimentación en el software Archicad, con el fin de

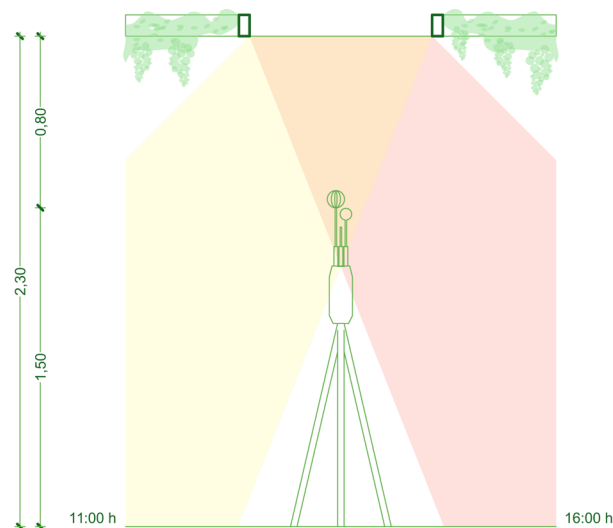


Figura 4. Período de radiación solar incidente en sensor. Fuente: Elaboración de los autores.

identificar el período de mayor exposición solar sobre el área analizada. A partir de este procedimiento se definió como ventana de estudio el intervalo comprendido entre las 11:00 y las 16:00 horas (Figura 4). Ello permitió evaluar el desempeño del sombreado bajo condiciones consistentes de asoleamiento y concentrar el análisis en las horas de mayor exigencia térmica. De este modo, los sensores registraron las variables del ambiente térmico exterior necesarias para evaluar térmicamente el espacio bajo sombra (Tabla 1 y Tabla 2).

Variable	Unidad
t_a	Temperatura del aire (°C)
t_g	Temperatura de globo (°C)
v_a	Velocidad del viento (m/s)
HR	Humedad relativa (%)

Tabla 1. Variables meteorológicas medidas. Fuente: Elaboración de los autores.

Componente / Sonda	Tipo de Sensor	Rango de Operación	Exactitud / Clase de Tolerancia	Resolución
Unidad Base (HD32,3)	Procesador con entradas SICRAM	T: -5 a 50 °C HR: 0 a 90%	±1 dígito a 20 °C	N/A
Termómetro de globo	Pt100 (Ø = 50 mm / 150 mm)	-10 a 100 °C	Clase 1/3 DIN	0,1 °C
Termohigrómetro Combinado	Pt100 (T) Capacitivo (HR)	T: -40 a 80 °C HR: 0 a 100%	T: Clase 1/3 DIN HR: ±1,5% (0-90%) / ±2% (90-100%) a 15-35 °C	T: 0,1 °C HR: 0,1%
Anemómetro Omnidireccional	Hilo caliente (NTC 10 kΩ)	v: 0,1 a 5 m/s T: 0 a 80 °C	±0,2 m/s (0,1 a 1 m/s) ±0,3 m/s (1 a 5 m/s)	0,01 m/s

Tabla 2. Especificaciones técnicas y rangos operativos del sistema de monitorización microclimática DELTA OHM HD32,3. Fuente: Elaboración de los autores.

Para evaluar las condiciones térmicas exteriores, se establecieron dos indicadores complementarios. La temperatura radiante media (T_r) fue utilizada como variable física para caracterizar la carga radiativa del entorno sobre el cuerpo humano, considerándose la radiación solar, la radiación reflejada y la radiación de onda larga emitida por las superficies circundantes. En espacios exteriores, esta variable resulta especialmente relevante para analizar el desempeño físico-radiativo de sistemas de sombra y su influencia sobre la percepción térmica del ambiente (López-Cabeza et al., 2022; Mihalakakou & Romeos, 2026). Complementariamente, se utilizó el Universal Thermal Climate Index [UTCI] (COST European Cooperation in Scientific and Technical Research, 2026) como índice biometeorológico de estrés térmico exterior, que expresa una temperatura equivalente derivada de un modelo termofisiológico que integra temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación térmica para representar la respuesta fisiológica humana frente al ambiente (Błażejczyk et al., 2013; Bröde et al., 2012). Su uso resulta pertinente en estudios comparativos de confort exterior bajo condiciones de sol, sombra construida y sombra vegetal (Watanabe et al., 2014). Así, la T_r permitió comparar el desempeño radiativo del sistema de sombra, mientras que el UTCI permitió evaluar sus efectos sobre las condiciones de confort térmico a escala peatonal.

CÁLCULO DE TEMPERATURA RADIANTE MEDIA

La temperatura radiante media (T_r) es calculada por el sensor a partir de los parámetros medidos de la temperatura de globo (T_g), la temperatura del aire (t_a) y la velocidad del viento (v_a), se utilizaron las siguientes fórmulas establecidas en la norma ISO 7226:2025.

Cuando la velocidad de aire es menor a 0,2 m/s, (Ecuación 1):

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{0.25 \times 10^8}{\varepsilon_g} \left(\frac{|t_g - t_a|}{D} \right)^{1/4} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

(Ecuación 1)

Cuando la velocidad de aire es mayor o igual a 0,2 m/s, (Ecuación 2):

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 \times v_a^{0.6}}{\varepsilon_g \times D^{0.4}} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

(Ecuación 2)

Donde D = diámetro de termómetro de globo, $\varepsilon_g = 0.95$ emisividad presunta de globo termómetro, t_g = temperatura de globo, t_a = temperatura del aire, y v_a = velocidad del aire.

Condición de la medición	Régimen de convección (ISO 7726)	Incertidumbre combinada promedio (c) [°C]	Incertidumbre mínima ($u_{c\max}$) [°C]	Incertidumbre máxima ($uc_{\max}$) [°C]
t_r malla	Natural	$\pm 0,155$	$\pm 0,077$	$\pm 0,179$
	Forzada	$\pm 0,747$	$\pm 0,105$	$\pm 2,215$
t_r parrón	Natural	$\pm 0,146$	$\pm 0,082$	$\pm 0,167$
	Forzada	$\pm 0,516$	$\pm 0,105$	$\pm 1,198$

Tabla 3. Análisis comparativo de la incertidumbre del cálculo de t_r . Fuente: Elaboración de los autores.

CÁLCULO DEL ÍNDICE UTCI

El índice UTCI, definido como una función multivariable de la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad del aire y la presión de vapor de agua por (Ecuación 3):

$$UTCI = f(t_a, t_r, v_a, P) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde t_a corresponde a la temperatura del aire, t_r a la temperatura radiante media, v_a a la velocidad del aire y P a la presión de vapor de agua (hPa). Los valores de t_a y HR fueron obtenidos directamente mediante el sensor Delta OHM HD32.3, mientras que la P fue calculada por medio de (Ecuación 4):

$$P = \left(\frac{HR}{100}\right) \times 0,6108 \times \exp\left(\frac{(17,27 \times t_a)}{(t_a + 237,3)}\right) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde P se expresa en hectopascales, (Ecuación 5):

$$hP = \frac{P}{100} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En lo que concierne a la v_a , si bien la formulación clásica del UTCI utiliza la velocidad del viento referida a 10 m de altura (Bröde et al., 2012), en este estudio se empleó la velocidad medida in situ a 1.55 m sobre el nivel del suelo, dado que la evaluación se realizó a escala peatonal bajo los sistemas de sombreado. Estudios recientes indican que el tratamiento estándar del viento puede no representar adecuadamente el flujo de aire en la capa peatonal urbana y que las variables meteorológicas utilizadas en su cálculo debieran originarse en esa misma escala de exposición humana (Lee et al., 2025). Los valores de UTCI fueron calculados mediante una implementación computacional disponible en la plataforma web UTCI - COST Action 730, basada en la formulación propuesta por Bröde et al. (2012).

VALIDACIÓN DE LOS DATOS Y ANÁLISIS

La cuantificación del margen de incertidumbre combinada para la t_r y el UTCI se realizó al seguir los lineamientos de la guía internacional (Bureau International des Poids

et Mesures [BIPM], 2008). Las incertidumbres estándar de cada variable de entrada se determinaron a partir de los errores máximos permisibles especificados en las fichas técnicas del fabricante (Tabla 2) asumiendo una distribución de probabilidad rectangular.

Debido a que las ecuaciones de t_r de la norma ISO 7726:2025 y el polinomio del UTCI son fórmulas complejas y no lineales, la propagación de los errores se resolvió como un sistema acoplado. Este enfoque vincula el UTCI directamente con las lecturas primarias del instrumento, que evitan la duplicidad de varianzas al evaluar las variables intermedias. Los coeficientes de sensibilidad de cada parámetro se aproximaron numéricamente punto por punto para las 478 observaciones de la base de datos mediante el método de diferencias finitas centrales. Finalmente, la incertidumbre combinada total se obtuvo mediante la suma en cuadratura de los errores individuales ponderados.

Respecto a las mediciones, dado que se efectuaron en un mismo entorno y bajo condiciones simultáneas, los datos fueron analizados como series temporales pareadas, lo que permite comparar directamente los valores registrados en cada instante de tiempo. En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de las variables medidas, considerándose valores promedio, máximos y su evolución horaria dentro del rango de estudio (11:00–16:00 h), con el fin de identificar patrones de comportamiento térmico bajo condiciones de alta exposición a la radiación solar. En segundo lugar, se evaluaron variaciones entre mediciones pareadas en el tiempo mediante comparaciones pareadas en el tiempo, lo que permite identificar variaciones sistemáticas asociadas a la presencia de sombreado vegetal y sombreado artificial. Finalmente, se analizaron las diferencias entre los valores de t_r registrados y los valores del índice UTCI, por su relevancia en la caracterización del confort térmico exterior.

MARGEN DE INCERTIDUMBRE

Basado en el análisis metrológico de propagación acoplada (BIPM, 2008) aplicado a las 478 observaciones de

Condición de la medición	Incertidumbre combinada promedio (c) [°C]	Incertidumbre mínima (uc max) [°C]	Incertidumbre máxima (ucmax) [°C]	Incertidumbre expandida final (U) 95% Confianza [°C]
UTCI malla	± 0,115	± 0,284	± 0,412	± 0,230
UTCI parrón	± 0,137	± 0,089	± 0,076	± 0,274

Tabla 4. Análisis comparativo de la incertidumbre del cálculo de UTCI. Fuente: Elaboración de los autores

cada condición de medición, la incertidumbre combinada estándar final (u_c [°C]) para los resultados de la t_r y del UTCI se pueden revisar en la Tabla 3 y Tabla 4. El análisis del margen de error demuestra que la precisión de la t_r depende del método elegido. El modelo de convección natural (aire en calma) es altamente estable, con un error promedio de ± 0.150 °C, mientras que el de convección forzada (con viento) eleva el error medio entre ± 0.516 °C y ± 0.747 °C debido al sensor de viento. Este último método se vuelve inestable en calma absoluta (menos de 0,1 m/s), disparándose el error puntual a ± 2.215 °C. A pesar de esto, el UTCI mantiene un error promedio menor a ± 0.137 °C y un error total definitivo inferior a ± 0.274 °C (con 95% de confianza). Esta estabilidad ocurre porque el sistema compensa los errores internamente: el enfriamiento directo del viento sobre el cuerpo humano se contrapone al efecto indirecto sobre el termómetro de globo, que equilibran las desviaciones del sensor en el resultado final. Esto respalda la pertinencia instrumental y del procedimiento de cálculo para el análisis comparativo desarrollado, dentro de los alcances exploratorios del estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DATOS METEOROLÓGICOS INICIALES

Durante el período de monitoreo (01–14 de marzo de 2024), las condiciones meteorológicas registradas entre las 11:00 y las 16:00 horas evidencian un comportamiento relativamente estable, con variaciones acotadas entre días y diferencias constantes entre las dos condiciones de medición (Tabla 5). La t_a bajo malla presenta valores promedio diarios que oscilan entre 22,6 °C y 28,3 °C, mientras que bajo parrón varían entre 21,1 °C y 26,5 °C. En todos los días registrados, la temperatura del aire bajo parrón es inferior a la registrada bajo malla, con diferencias que fluctúan entre aproximadamente 1,3 °C y 2,0 °C. Las diferencias entre ambas condiciones se mantienen de forma consistente a lo largo del período, con valores más elevados en la condición de malla.

En relación con la HR, los valores registrados bajo malla de sombreado se sitúan entre 31,2 % y 46,8 %, mientras

Día	ta (°C) malla	tg (°C) malla	va (m/s) malla	HR (%) malla	ta (°C) parrón	tg (°C) parrón	va (m/s) parrón	HR (%) parrón
01-03-2024	28,2	30,4	0,3	32,3	26,5	27,7	0,3	36,5
02-03-2024	26,5	28,3	0,4	31,2	25,0	26,1	0,4	34,8
03-03-2024	24,5	26,7	0,3	33,7	22,9	24,2	0,3	37,8
04-03-2024	26,2	28,4	0,2	35,0	24,5	25,8	0,2	38,8
05-03-2024	28,3	30,3	0,3	35,0	26,5	27,6	0,3	39,1
06-03-2024	26,8	28,9	0,2	42,8	25,3	26,5	0,2	47,2
07-03-2024	23,6	25,3	0,3	38,3	22,3	23,3	0,3	41,4
08-03-2024	24,1	25,8	0,3	38,9	22,9	23,8	0,3	42,0
09-03-2024	25,3	27,1	0,3	35,3	23,8	24,9	0,3	39,5
10-03-2024	22,6	24,2	0,2	46,8	21,1	22,1	0,2	51,1
11-03-2024	25,7	27,5	0,3	37,3	24,1	25,1	0,3	41,2
12-03-2024	26,2	27,7	0,3	40,5	24,7	25,6	0,3	44,0
13-03-2024	24,1	26,0	0,3	41,6	22,2	23,4	0,3	46,8
14-03-2024	25,0	26,6	0,4	36,2	23,2	24,3	0,4	40,7

Tabla 5. Valores de días promedio por cada variable registrada. Fuente: Elaboración de los autores.

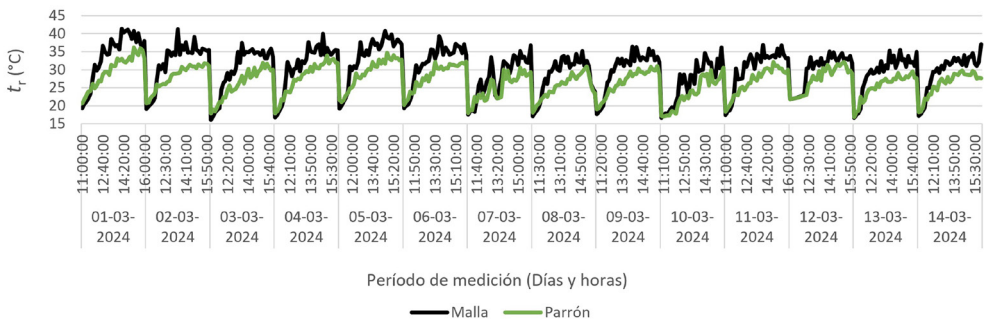


Figura 5. tr a lo largo del período de medición analizado. Fuente: Elaboración de los autores.

Día	Malla	Parrón	Diferencia Malla - Parrón
01-03-2024	34,0	29,8	4,2
02-03-2024	32,3	28,1	4,2
03-03-2024	30,2	26,1	4,1
04-03-2024	31,2	27,9	3,3
05-03-2024	33,6	29,3	4,3
06-03-2024	32,0	28,3	3,7
07-03-2024	28,0	25,1	2,9
08-03-2024	28,6	25,3	3,3
09-03-2024	30,4	26,7	3,7
10-03-2024	26,6	23,4	3,1
11-03-2024	30,6	26,9	3,8
12-03-2024	30,0	27,4	2,6
13-03-2024	29,4	25,5	3,9
14-03-2024	29,7	26,2	3,5

Tabla 6. Valores promedio diarios tr (°C) del horario analizado. Fuente: Elaboración de los autores.

que bajo parrón alcanzan rangos entre 34,8 % y 51,1 %. En todos los casos, la humedad relativa es superior bajo parrón, con diferencias que varían entre aproximadamente 3 % y 5 %. La v_a presenta valores bajos y prácticamente constantes en ambas condiciones, con registros entre 0,2 y 0,4 m/s, sin diferencias apreciables entre los puntos de medición, debido a la proximidad de los sensores para ambos casos.

Por su parte, la t_g presenta valores entre 24,2 °C y 30,4 °C bajo malla de sombreado, y entre 22,1 °C y 27,7 °C bajo parrón. Las diferencias entre ambas condiciones se mantienen de forma consistente durante todo el período, con valores superiores bajo malla. En conjunto, las condiciones meteorológicas registradas evidencian una tendencia a valores más altos de temperatura y menores niveles de HR bajo malla de sombreado, mientras que el parrón presenta condiciones con menores temperaturas y

mayor HR, manteniendo velocidades de viento similares en ambas configuraciones.

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE MEDIA

Durante el período de análisis, la tr presenta diferencias constantes entre las dos condiciones evaluadas. La máxima temperatura se alcanza el 01-03-2024, con 41,3 °C bajo malla a las 14:10 h, cuando en ese horario el espacio bajo parrón se encontraba con 33 °C, una diferencia de 8,3°C. Mientras tanto, la máxima temperatura alcanzada bajo el parrón se registró una hora más tarde, a las 15:10 h, con 36,2 °C, cuando la malla registró 40,8°C, es decir, 4,6°C de diferencia (Figura 5). Por otro lado, el máximo valor diario promedio bajo malla alcanza 34 °C, mientras que bajo parrón es de 29,8 °C, resultando en una diferencia de 4,2 °C, ambos observados el 01-03-2024. Se presentan

Hora de medición	Malla	Parrón	Diferencia Malla - Parrón
11:00:00	18,0	19,0	-1,0
11:30:00	20,2	21,8	-1,6
12:00:00	27,8	23,5	4,3
12:30:00	30,1	25,3	4,8
13:00:00	31,3	26,6	4,7
13:30:00	33,5	27,8	5,7
14:00:00	33,8	29,1	4,7
14:30:00	34,7	29,8	4,9
15:00:00	34,3	30,3	4,0
15:30:00	34,6	30,7	3,9
16:00:00	33,8	29,8	3,9

Tabla 7. Valores de t_r (°C) cada 30 minutos en un día promedio. Fuente: Elaboración de los autores.

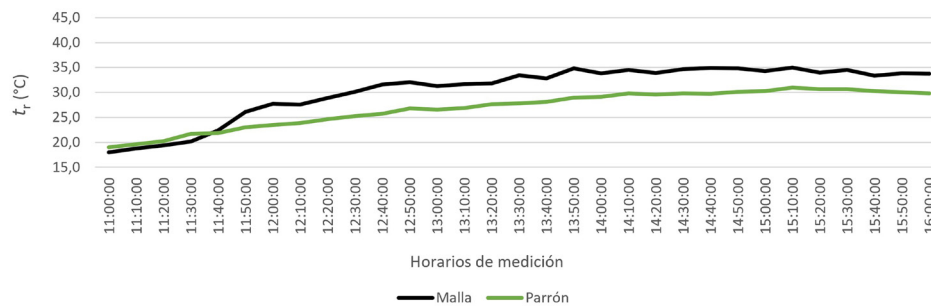


Figura 6. Comportamiento de t_r en un día promedio. Fuente: Elaboración de los autores.

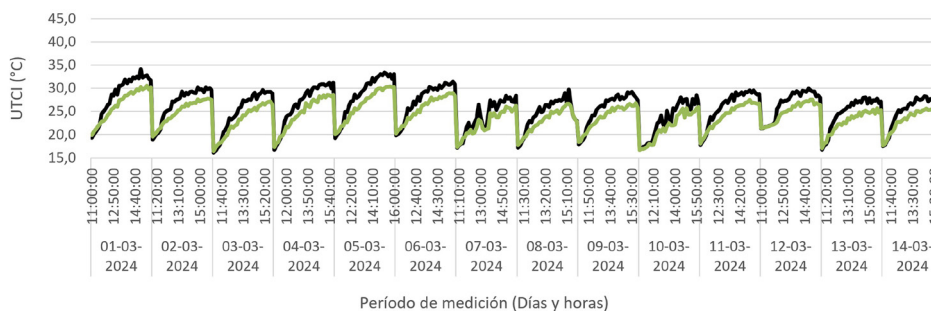


Figura 7. Índice UTCI a lo largo del período de medición analizado. Fuente: Elaboración de los autores.

valores consistentemente inferiores bajo parrón a lo largo de todo el período (Tabla 6).

El análisis del día promedio (Tabla 7 y Figura 6) revela un comportamiento con clara dependencia horaria. En los primeros intervalos de la mañana (11:00–11:30 h) la t_r bajo malla es levemente menor a la registrada bajo parrón (hasta 1,7 °C). A partir de las 12:00 h esta relación se invierte de manera sostenida: la t_r bajo malla supera consistentemente a la del parrón con diferencias que

escalas hasta alcanzar valores de entre 4 y 5,9 °C entre las 13:00 y 15:00 h, coincidentes con la mayor incidencia de radiación solar directa. Desde las 15:20 hacia las 16:00 h la brecha se reduce, bajando a diferencias de entre 3,9 a 3,1 °C.

COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE UTCI

Durante el período de análisis, la UTCI presenta diferencias constantes entre las dos condiciones evaluadas. La

Día	Malla	Parrón	Diferencia Malla - Parrón
01-03-2024	28,7	26,5	2,2
02-03-2024	26,8	25,0	1,9
03-03-2024	25,0	23,1	1,9
04-03-2024	26,7	24,6	2,1
05-03-2024	28,8	26,6	2,2
06-03-2024	27,7	25,8	1,9
07-03-2024	24,0	22,5	1,5
08-03-2024	24,6	23,0	1,6
09-03-2024	25,7	23,9	1,8
10-03-2024	23,3	21,7	1,7
11-03-2024	26,2	24,2	2,0
12-03-2024	26,7	24,9	1,8
13-03-2024	25,0	22,9	2,1
14-03-2024	25,4	23,4	1,9

Tabla 8. Valores promedio UTCI (°C) del horario analizado diario. Fuente: Elaboración de los autores.

Hora de medición	Malla	Parrón	Diferencia Malla - Parrón
11:00:00	18,1	18,4	-0,4
11:30:00	19,6	20,1	-0,5
12:00:00	23,1	21,5	1,7
12:30:00	25,0	22,8	2,2
13:00:00	26,1	23,8	2,3
13:30:00	27,4	24,8	2,6
14:00:00	28,3	25,7	2,6
14:30:00	29,1	26,3	2,7
15:00:00	29,4	26,8	2,6
15:30:00	29,4	27,1	2,4
16:00:00	28,7	26,9	1,9

Tabla 9. UTCI (°C) cada 30 minutos en un día promedio. Fuente: Elaboración de los autores.

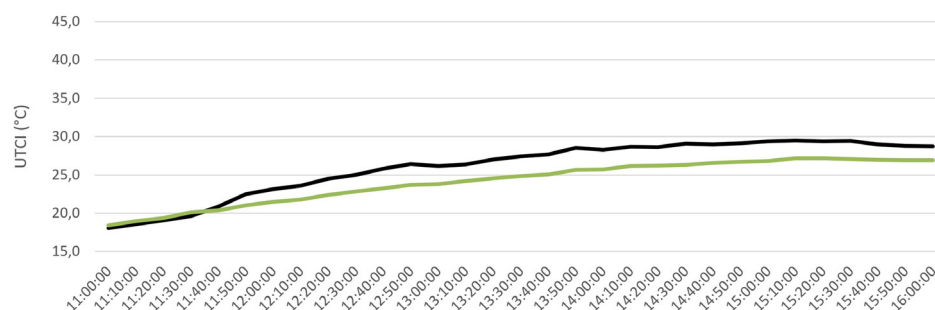


Figura 8. Comportamiento de UTCI en un día promedio. Fuente: Elaboración de los autores.

máxima temperatura se alcanza el 01-03-2024, con 34,2 °C bajo malla a las 15:10 h, cuando en ese horario el espacio bajo parrón se encontraba con 30,3 °C, una diferencia de 3,9°C. Mientras tanto, la máxima alcanzada bajo el parrón se registró 30 minutos más tarde, a las 15:40 h, con 30,5 °C, cuando la malla registró 32,8°C, es decir, 2,3°C de diferencia (Figura 7). Por otra parte, el valor promedio bajo malla de sombreado alcanza 26,0 °C, mientras que bajo parrón es de 24,1 °C. La diferencia promedio entre ambas condiciones es de 1,9 °C, con valores inferiores registrados de manera consistente bajo parrón a lo largo del periodo analizado.

En términos de valores diarios promedios máximos, el UTCI alcanza 28,8 °C bajo malla y 26,6 °C bajo parrón. La diferencia máxima observada entre ambas condiciones es de aproximadamente 2,2 °C, observados para el día 05-03-2024 (Tabla 8).

El análisis del día promedio (Tabla 9 y Figura 8) revela un comportamiento con clara dependencia horaria. En los primeros intervalos de la mañana (11:00–11:30 h) el UTCI bajo malla es levemente menor a la registrada bajo parrón, por valores entre 0,4 y 0,5 °C. A partir de las 11:40 h esta relación se invierte de manera sostenida: la UTCI bajo malla supera consistentemente a la del parrón con diferencias por sobre los 2°C en el 67,74% de los registros promedios, que alcanzan su máxima a las 13:50, con una diferencia de 2,9°C. La brecha empieza a disminuir desde las 15:50, que marca una diferencia de 1,9 °C.

El comportamiento horario del UTCI muestra una tendencia creciente entre las 11:00 y las 15:30 h, seguido de una estabilización o leve disminución hacia las 16:00 h en ambas condiciones. Las diferencias entre parrón y malla se mantienen a lo largo de todo el intervalo horario, con una separación relativamente constante entre las curvas. Las mayores diferencias se observan en el tramo central del periodo analizado, coincidente con las horas en que la t_r registraron valores mayores, comprendidas entre las 12:30 y 14:30 horas.

En función de los rangos del índice UTCI, los valores registrados bajo malla de sombreado se sitúan mayoritariamente en el rango de estrés térmico por calor durante el periodo de estudio, alcanzando en algunos casos un fuerte estrés térmico. Por su parte, los valores bajo parrón se distribuyen entre las categorías estrés térmico por calor y sin estrés térmico, con una mayor frecuencia de valores en este último (Figura 9).

Los datos levantados se condicen con lo señalado por Watanabe et al. (2014) , Kusaka et al. (2022) y Châfer et al. (2020), quienes coinciden en la alta eficiencia de las coberturas vegetales horizontales para mitigar el estrés térmico a escala humana mediante el control del entorno radiativo y el enfriamiento evaporativo, lo que refuerza el potencial del parrón como una estrategia pasiva de

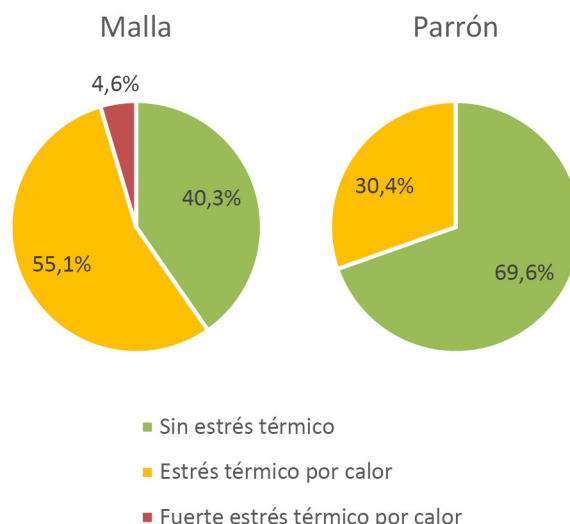


Figura 9. Frecuencias de estrés térmico UTCI. Fuente: Elaboración de los autores

acondicionamiento térmico y adaptación climática para espacios intermedios y patios en climas templados.

CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que el parrón genera un espacio exterior térmicamente más favorable que la malla de sombreado artificial. Durante el período analizado, el parrón registró sistemáticamente menores t_a (con reducciones de entre 1,3 °C y 2,0 °C) y mayores niveles de HR (entre 3% y 5% más) en comparación con la malla. En términos de confort térmico, el parrón mantuvo un UTCI promedio de 24,1 °C frente a los 26,0 °C de la malla, lo que representa una reducción media de 1,9 °C y diferencias máximas diarias de hasta 2,2 °C. Estas diferencias fueron interpretadas considerando el análisis de incertidumbre incorporado al estudio, lo que permitió contextualizar los márgenes de error asociados a las mediciones instrumentales y al cálculo de indicadores derivados como la temperatura radiante media y el UTCI.

La disminución de la t_r se identifica como el factor determinante en la mejora del confort. Bajo el parrón, la t_r fue consistentemente menor, con diferencias diarias promedio de entre 2,6 °C y 4,3 °C respecto a la malla, que alcanzan brechas de hasta 5,9 °C en las horas de mayor carga radiativa. Estos hallazgos sugieren que no todas las sombras ofrecen el mismo desempeño; mientras la malla actúa como un sistema inerte limitado a la obstrucción solar, el parrón funciona como un regulador térmico activo que combina el sombreado con procesos bioclimáticos de evapotranspiración y menores temperaturas superficiales.

Estos resultados refuerzan el potencial del parrón como una estrategia pasiva de acondicionamiento térmico y adaptación climática para espacios intermedios y patios en climas templados. No obstante, su implementación enfrenta limitaciones prácticas como el tiempo de crecimiento, la necesidad de soporte estructural y la dependencia de la densidad del follaje. Asimismo, dado el enfoque experimental exploratorio del estudio, una limitación metodológica es la proximidad de los puntos de medición, lo que pudo generar una ligera transferencia de humedad desde el parrón hacia el área de la malla. A ello se suma que la condición de malla pudo estar parcialmente influida por la vegetación del entorno inmediato. Por tanto, los resultados deben entenderse como evidencia localizada sobre dos condiciones próximas de sombra, al evitar extrapolaciones generales no sustentadas por el diseño experimental.

Como futuras líneas de investigación, se sugiere analizar el impacto de estos sombreaderos sobre los recintos interiores adyacentes y evaluar cómo la variabilidad de las especies vegetales influye en la magnitud del enfriamiento, con el fin de optimizar su uso como herramienta de resiliencia urbana a escala doméstica. Asimismo, se debe considerar que las mediciones se realizaron en marzo, futuros estudios debieran evaluar periodos estivales más cálidos, donde las diferencias observadas podrían adquirir mayor incidencia, especialmente en el UTCI. También se recomienda considerar escenarios de sombra físicamente más independientes, superficies de sombreado equivalentes y una mayor separación entre puntos de medición, con el propósito de robustecer la comparabilidad entre configuraciones vegetales e inertes.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRediT

Conceptualización, N.A.; Curación de datos, R.F.; Análisis formal, N.A.; Adquisición de financiación N.A.; Investigación, N.A., R.F., D.C.; Metodología, N.A., R.F., D.C.; Administración de proyecto, N.A.; Recursos, N.A., R.F.; Software, R.F.; Supervisión, N.A.; Validación, N.A., R.F.; Visualización, R.F., D.C.; Escritura – borrador original, N.A., R.F., D.C.; Escritura – revisión y edición, N.A., D.C.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue desarrollada en el marco del Grupo de Investigación en Confort Ambiental y Pobreza Energética (CO-PE) de la Universidad del Bío-Bío (código GI2310945).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aravena Alvarado, R. (Ed.). (2015). *Patrimonio vitivinícola: aproximaciones a la cultura del vino en Chile*. Ediciones Biblioteca Nacional. <https://centropatrimonio.uc.cl/wp-content/uploads/2023/01/Patrimonio-vitivinicola-aproximaciones-a-la-cultura-del-vino-en-Chile-1.pdf>
- Arias-Jiménez, N., Trebilcock-Kelly, M., Figueroa-SanMartín, R., & González-Cáceres, A. (2026). Experimental evaluation of the impact of roofing materials and natural ventilation on attic overheating in a temperate Chilean climate. *Building Research & Information*, 54(5), 573–587. <https://doi.org/10.1080/09613218.2025.2607633>
- Arias Tapiero, J. C., Ortega, J., & Vasconcelos, G. (2025). A methodology for analysing the impact of contemporary transformation processes in vernacular built environments. *Built Heritage*, 9(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s43238-025-00220-0>
- Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Psikuta, A., & Kampmann, B. (2013). An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1), 5–10. <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., & Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Bureau International des Poids et Mesures [BIPM]. (2008). *Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. JCGM 100. https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf
- Chàfer, M., Pisello, A. L., Piselli, C., & Cabeza, L. F. (2020). Greenery System for Cooling Down Outdoor Spaces: Results of an Experimental Study. *Sustainability*, 12(15), 5888. <https://doi.org/10.3390/su12155888>
- COST European Cooperation in Scientific and Technical Research. (20 de abril de 2026) *COST Action 730 on UTCI*. UTCI. https://www.utci.org/utci_calc.php
- De Cristo, E., Evangelisti, L., Barbaro, L., De Lieto Vollaro, R., & Asdrubali, F. (2025). A Systematic Review of Green Roofs' Thermal and Energy Performance in the Mediterranean Region. *Energies*, 18(10), 2517. <https://doi.org/10.3390/en18102517>
- Servicios Climáticos (20 de marzo de 2026) *Temperatura Histórica Mensual de la Estación*. Dirección General de Aeronáutica Civil. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/temperaturaHistoricaMes/360047/3>
- Elgheznawy, D., & Eltarabily, S. (2021). The impact of sun sail-shading strategy on the thermal comfort in school courtyards. *Building and Environment*, 202, 108046. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108046>

- Gherri, B. (2023). The Role of Urban Vegetation in Counteracting Overheating in Different Urban Textures. *Land*, 12(12), 2100. <https://doi.org/10.3390/land12122100>
- Guerrero-Rubio, J., Sendra, J. J., Fernández-Agüera, J., & Oteiza, I. (2017). Modelos predictivos del consumo energético de climatización asociado a soluciones de fachadas en Madrid a partir de la monitorización en módulos de ensayo. *Informes de La Construcción*, 69(548), e225. <https://doi.org/10.3989/id.54794>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2023). Technical Summary. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 35–144). frontmatter, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Jim, C. Y. (2015). Thermal performance of climber greenwalls: Effects of solar irradiance and orientation. *Applied Energy*, 154, 631–643. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.077>
- Kusaka, H., Asano, Y., & Kimura, R. (2022). Wisteria trellises and tents as tools for improved thermal comfort and heat stress mitigation: Meteorological, physiological, and psychological analyses considering the relaxation effect of greenery. *Meteorological Applications*, 29(1), e2046. <https://doi.org/10.1002/met.2046>
- Lee, H., Park, S., & Mayer, H. (2025). Approach for the vertical wind speed profile implemented in the UTCI basics blocks UTCI applications at the urban pedestrian level. *International Journal of Biometeorology*, 69(3), 567–580. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02835-x>
- Lee, I., Voogt, J. A., & Gillespie, T. J. (2018). Analysis and Comparison of Shading Strategies to Increase Human Thermal Comfort in Urban Areas. *Atmosphere*, 9(3), 91. <https://doi.org/10.3390/atmos9030091>
- Liu, T., Wang, Y., Zhang, L., Xu, N., & Tang, F. (2025). Outdoor Thermal Comfort Research and Its Implications for Landscape Architecture: A Systematic Review. *Sustainability*, 17(5), 2330. <https://doi.org/10.3390/su17052330>
- López-Cabeza, V. P., Diz-Mellado, E., Rivera-Gómez, C. A., & Galán-Marín, C. (2022). Shade and Thermal Comfort in Courtyards: Experimental versus Simulation Results. *Buildings*, 12(11), 1961. <https://doi.org/10.3390/buildings12111961>
- MacIvor, J. S., & Margolis, L. (2015). Cooling of a south-facing wall using a double-skin green façade in a temperate climate. *ISHS Acta Horticulturae*, 1085, 185–194. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1085.30>
- Mihalakakou, G., & Romeos, A. (2026). Mean radiant temperature in outdoor urban environments: From radiative physics to data-driven and hybrid modelling frameworks. *Building and Environment*, 297, 114595. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2026.114595>
- Nasr, Y., El Zakhem, H., Hamami, A. E. A., El Bachawati, M., & Belarbi, R. (2024). Comprehensive Assessment of the Impact of Green Roofs and Walls on Building Energy Performance: A Scientific Review. *Energies*, 17(20), 5160. <https://doi.org/10.3390/en17205160>
- Perini, K., & Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 495–506. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.003>
- Salonen, T., Hollands, J., Sesto, E., & Korjenic, A. (2022). Thermal Effects of Vertical Greening in Summer: An Investigation on Evapotranspiration and Shading of Façade Greening in Vienna. *Buildings*, 12(10), 1705. <https://doi.org/10.3390/buildings12101705>
- Umishio, W., Ikaga, T., Fujino, Y., Ando, S., Kubo, T., Nakajima, Y., Kagi, N., Hoshi, T., Suzuki, M., Kario, K., Yoshimura, T., Yoshino, H., & Murakami, S. (2024). Spatial and temporal indoor temperature differences at home and perceived coldness in winter: A cross-sectional analysis of the nationwide Smart Wellness Housing survey in Japan. *Environment International*, 186, 108630. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108630>
- Wang, Y., Zhao, N., Yin, X., Wu, C., Chen, M., Jiao, Y., & Yue, T. (2023). Global future population exposure to heatwaves. *Environment International*, 178, 108049. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108049>
- Watanabe, S., Nagano, K., Ishii, J., & Horikoshi, T. (2014). Evaluation of outdoor thermal comfort in sunlight, building shade, and pergola shade during summer in a humid subtropical region. *Building and Environment*, 82, 556–565. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.002>
- Wu, Z., Shi, Y., Ren, L., & Hang, J. (2024). Scaled outdoor experiments to assess impacts of tree evapotranspiration and shading on microclimates and energy fluxes in 2D street canyons. *Sustainable Cities and Society*, 108, 105486. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105486>
- Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, L., Zhao, C., Yan, J., Liu, M., & Zhao, L. (2022). Seasonal variation in leaf area index and its impact on the shading effects of vertical green facades in subtropical areas. *Building and Environment*, 225, 109629. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109629>
- Zhao, Y., Zhao, K., Zhang, X., Zhang, Y., & Du, Z. (2024). Assessment of combined passive cooling strategies for improving outdoor thermal comfort in a school courtyard. *Building and Environment*, 252, 111247. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111247>
- Zheng, X., Wang, W., Chen, J., Chen, Q., Luo, S., Wang, H., Hu, W., & Pan, L. (2025). Influence of vertical greenery systems with different greenery coverage ratios on microclimate improvement in street canyons by scaled outdoor experiments. *Building and Environment*, 267(Part B), 112158. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112158>