

# La influencia de los árboles en el microclima en un paseo peatonal de la ciudad de Talca (Chile)

## The influence of trees on the microclimate in a pedestrian promenade in Talca city (Chile)

Ricardo Martínez-Toledo<sup>1</sup> • Mauricio Ponce-Donoso<sup>1</sup>  • Óscar Vallejos-Barra<sup>1</sup> 

Recibido: 24/3/2022

Aceptado: 17/11/2022

### Abstract

Thermal behavior was assessed through a causal relationship between four climatic variables: temperature, relative humidity, wind speed at 1.5 m, the temperature at ground level (0.05 m) and the presence of trees in a renovated pedestrian promenade. The measurements were collected in this area during the summer season, distributed in four Blocks (block I, II and III corresponding to renovated streets and block IV not renovated streets) in three daily schedules, generating 3,108 records. The statistical analysis showed a high dispersion, however, the Block III showed significant differences in both temperature and relative humidity, showing that urban trees cannot generate a mitigating effect in this renovated urban environment. In Blocks I and II, a decrease in temperatures was observed in schedule 2. Due to the differences found in the temperature and relative humidity records on the different measuring days, an unfavorable condition of environmental comfort was identified in Block III. This could be due to the section represented by this Block and the construction material used, along with a scarce green infrastructure. It is suggested that in future renovations, the type of construction material to be used on the surface should be previously evaluated, also promoting a green infrastructure to mitigate these effects during the summer.

**Keywords:** Urban canyon; urban microclimate; thermal comfort; street trees; urban trees.

1. Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Talca, Chile. [martinez.if@gmail.com](mailto:martinez.if@gmail.com), [mponce@utalca.cl](mailto:mponce@utalca.cl), [o.vallejos.barra@gmail.com](mailto:o.vallejos.barra@gmail.com)

## Resumen

Se exploró el comportamiento térmico a través de una relación causal entre cuatro variables climáticas: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento a 1,5 m, temperatura a nivel del suelo (0,05 m) y la presencia de árboles en un paseo peatonal remodelado. Las mediciones se realizaron en este paseo durante la temporada de verano, distribuidas en cuatro Bloques (bloques I, II y III correspondientes a calles remodeladas y Bloque IV a calles sin remodelar), en tres horarios diarios, generando 3.108 registros. El análisis estadístico mostró una amplia dispersión, a pesar de ello, el Bloque III presentó diferencias significativas tanto en las temperaturas como en la humedad relativa, mostrando que el arbolado urbano es incapaz de generar un efecto mitigador en este ambiente urbano reformado. Debido a las diferencias encontradas en los registros de temperatura y humedad relativa en los diferentes días de medición, se identificó una condición desfavorable del confort ambiental en el Bloque III, que podría deberse al espacio que representa este Bloque y al material de construcción utilizado, además de la escasa infraestructura verde. Se sugiere que en futuras reformas se evalúe el tipo de material constructivo a utilizar en la superficie y se favorezca una infraestructura verde que pueda mitigar estos efectos de los periodos estivales.

**Palabras clave:** Cañón urbano; microclima urbano; confort térmico; árboles de calle, arbolado urbano.

## Introducción

La expansión de las áreas urbanas está asociada a cambios en las condiciones microclimáticas, como el confort termal, que es influenciado por variables como la geometría del cañón urbano, los patrones de calles, el ratio de altura y amplitud de la calles, los materiales usados, y la infraestructura verde [1] – [4]. Adicionalmente, la sustitución de las superficies por materiales impermeables como el asfalto, el hormigón u otros; por un lado, y las actividades antropogénicas en la ciudad, como es el caso del transporte y la industria, por otro, generan emisiones térmicas que contribuyen al calentamiento urbano [5], información que debería ser usada para que la planificación de los espacios públicos sean saludables y habitables [6].

Los materiales utilizados para la construcción de edificios, calles y avenidas, como el cemento, el ladrillo y el hierro, conducen y almacena calor durante el día, mientras que durante la tarde y la noche lo liberan, dando lugar a una fuente adicional de energía que se incorpora a la atmósfera urbana [7], una situación diferente sucede con

el suelo, los árboles o la cubierta de hierba superficial. Estos fenómenos son cada vez más importantes debido al crecimiento de la población y a la urbanización de las ciudades, que tiene además una especial incidencia en la salud pública [8], la gestión energética, la planificación urbana y el confort térmico [9] [10]. Por esta razón la elección de los elementos constructivos es significativo a la hora de mejorar el confort de los habitantes en general, como del peatón en particular [11].

Los árboles pueden, en cierta medida, mitigar el calentamiento urbano generado [12] – [14], dado que absorben y almacenan calor [15], aunque el efecto de enfriamiento estará limitado por el espacio, el tiempo y las propiedades específicas de cada especie. Los estudios demuestran que el calor urbano generado en las ciudades puede ser un indicador plausible de sostenibilidad ambiental, poniendo a prueba la capacidad de la humanidad para adaptarse a este fenómeno [16] [17]. Así, la presencia de vegetación, especialmente el bosque, se releva como un elemento para mejorar los espacios urbanos [18] [19]. Por lo anterior es necesario un cambio de actitud, internalizando las nuevas posibilidades de vida, apoyadas en la ecología urbana y la arquitectura sostenible.

Las variables ambientales como la radiación solar, la temperatura de la superficie y del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, entre otros, influyen en el confort térmico y son afectadas por los árboles de las calles e impactan en la salud de los ciudadanos [20], es por ello que el aumento del número de árboles puede ser un método prometedor para reducir los impactos en la salud pública [21], aunque esta relación aún se basa en estudios causales [22]. Con todo, los árboles urbanos generan un efecto positivo a través de la estructura del dosel [23].

Dado que el clima no se puede controlar, el desafío está en adaptarse y mitigarlo, donde el diseño urbano y las estructuras pueden influir en el desempeño de las variables ambientales; por ello es fundamental la planificación de la infraestructura verde y el tipo de materiales a utilizar, preferiblemente con altos albedos [6]; la construcción de techos verdes para conseguir más confort [24], entre otros, con base en un urbanismo y la arquitectura bioclimática. Como ejemplo, mientras más cielo se vea, más rápido será el enfriamiento nocturno debido a la pérdida de calor que se produce durante el día [25].

Los primeros estudios relacionados con las temperaturas en las ciudades se realizaron utilizando imágenes satelitales, identificando una serie de islotes con alta emisión térmica, que coinciden con la localización de zonas con actividad industrial, de comercio y servicios, constituyendo áreas del alto grado de urbanización en la ciudad [8]. Actualmente, la mayoría de los estudios

se han realizado en ciudades densamente pobladas, ubicadas en zonas tropicales y subtropicales, donde su efecto es notoriamente visible [26] [27] [20], centrándose principalmente en la identificación y análisis del comportamiento térmico dentro de los espacios urbanos, así como en el establecimiento de estrategias de mitigación, apuntando a la forestación urbana como herramienta de mitigación [1]. Sin embargo, estos estudios son muy escasos en zonas templadas con inviernos y veranos marcados.

El objetivo de este artículo es evidenciar la influencia de los árboles en el microclima urbano durante la temporada de verano en una ciudad de Chile central, a partir de una remodelación realizada que convirtió una calle con flujo vehicular en un paseo peatonal, cuantificando empíricamente la relación de cuatro variables climáticas y la presencia de árboles urbanos.

## Material y Métodos

El estudio se realizó en la ciudad de Talca, Chile, situada a 102 msnm, con una superficie de 232 km<sup>2</sup> y 233.339 habitantes [28]. La ciudad tiene un clima mediterráneo continental, con precipitaciones y bajas temperaturas distribuidas entre los meses de mayo a agosto, y altas temperaturas y muy escasas precipitaciones en verano, entre los meses de noviembre a marzo. En verano las temperaturas máximas medias diarias son de 29° C y las mínimas medias alcanzan los 12° C. La zona estudiada corresponde a un área comercial principal de la ciudad, la calle 1 Sur, entre las calles 3 Oriente y 6 Oriente, que incluye un paseo peatonal y la plaza Cienfuegos. La calle tiene una orientación de Oeste a Este (Figura 1). En la calle hay dos escuelas primarias (actualmente no funcionan debido a su condición estructural luego del terremoto de febrero de 2010), diferentes tipos de comercios, un hotel y viviendas residenciales.

El material de construcción de las edificaciones presentes en las diferentes calles es preferentemente de ladrillo y cemento, con edificios de altura variable que van de 7 a 10 m. Las amplitudes de la calle 1 Sur entre 4 Oriente y 6 Oriente fue de 13,5 a 15 m respectivamente, mientras que 1 Sur entre 3 y 4 Oriente corresponde a la Plaza Cienfuegos que fue de 50 m; mientras que las calles de los puntos de control presentaron veredas y aceras variables; asimismo, las relaciones de aspecto del cañón urbano (H/W) [10] fueron similares entre 4 Oriente y 6 Oriente, y menores para la Plaza Cienfuegos (Cuadro 1).

La Plaza Cienfuegos tuvo dos renovaciones importantes. En 1989 se eliminaron dos fuentes de agua (Figura 1 a), conservando las áreas verdes; mientras que en 2009 se eliminó el tráfico vehicular de la calle 1 Sur entre las calles 3 Oriente a 6 Oriente y se sustituyó el césped de la plaza por una gran explanada de baldosas, que incluyó un estacionamiento subterráneo (Figura 1 b). Además, se construyeron pequeñas porciones de áreas verdes frente a la fachada de las escuelas y se plantó árboles distribuidos en hileras dentro de las calles peatonales (Figura 1 c).

El diseño estadístico corresponde a un muestreo sistemático dirigido y contempla cuatro bloques. Los Bloques I, II y III corresponden a las calles del área remodelada, esto es Bloque I calle 1Sur entre 5 y 6 Oriente, Bloque II calle 1 Sur entre 4 y 5 Oriente, Bloque III calle 1 Sur entre 3 y 4 Oriente, y el Bloque IV a calles no remodeladas aledañas (Figura 2). La caracterizaron de los cañones urbanos se describe en el Cuadro 1. Las variables ambientales medidas fueron temperatura a 1,5 metros del nivel del suelo (T° 1,5 m, °C) y a nivel del suelo (T° suelo, °C), humedad relativa (HR, %) utilizando un termohigrómetro digital Omega RH85, y la velocidad del viento (1,5 m, m/s) medida con un anemómetro digital JT-81. Adicionalmente se realizó un inventario de los árboles situados en la zona de estudio, que incluyó las variables

(a) Plaza durante los '70



(b) Plaza durante los '90



(c) Plaza durante el 2020



Figura 1. Fotografías de la Plaza Cienfuegos (Fuente: a) Ilustre Municipalidad de Talca, b) TVMaulinos.com; c) Mauricio Ponce ©).

Figure 1. Pictures of Cienfuegos Square (Source: a) Ilustre Municipalidad de Talca; b) TVMaulinos.com; c) Mauricio Ponce ©).

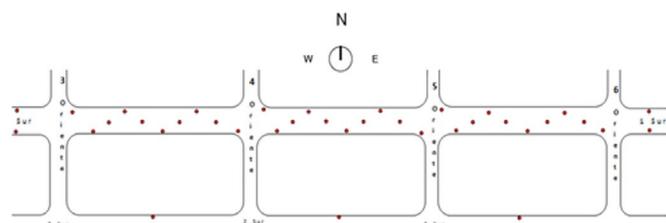
**Cuadro 1.** Caracterización de los cañones urbanos estudiados.  
**Table 1.** Blocks urban canyon characterization.

Bloque	Ubicación	Características	Cañón Urbano		
			H (m)	W(m)	H/W
I	1 Sur, 5 and 6 Oriente	Paseo peatonal, área de estudio	8,5	13,5	0,63
II	1 Sur, 4 and 5 Oriente	Paseo peatonal, área de estudio	9,0	15,0	0,60
III	1 Sur, 3 and 4 Oriente	Paseo peatonal, área de estudio	9,5	50,0	0,19
IV	1 Sur, 6 and 7 Oriente	Calle tradicional, punto de chequeo	8,5	12,0	0,71
IV	1 Sur, 2 and 3 Oriente	Calle tradicional, punto de chequeo	8,5	14,0	0,61
IV	2 Sur, 3 and 4 Oriente	Calle tradicional, punto de chequeo	22,0	4,5	4,89
IV	2 Sur, 4 and 5 Oriente	Calle tradicional, punto de chequeo	22,0	15,5	1,42



**Figura 2.** Calles del paseo peatonal en rojo, verde y amarillo, y puntos de control en naranja.

**Figure 2.** Streets of the pedestrian promenade in red, green and yellow, and control points in orange.



**Figura 3.** Distribución de los puntos de registro en el área de estudio.  
**Figure 3.** Distribution record points within the study area.

de diámetro a la altura del pecho (DAP, cm, a 1,3 m), altura total (m), altura de la copa (m), altura del tronco (m) y diámetro de la copa (m). El periodo de medición comprendió entre el 5 al 11 de marzo de 2016, durante la estación de verano, que se distribuyeron en tres horarios del día, 10:00 horas (S1), 15:00 horas (S2) y 19:00 horas (S3). La escala utilizada se consideró adecuada en base a comparaciones de estudios similares [29], mejorando la representatividad de este tipo de estudios como indica [2].

Los árboles presentes están distribuidos en 2 hileras, 20 árboles en el Bloque I, 19 árboles en el Bloque II, en ambos la especie predominante es *Liquidambar styraciflua* L.; mientras que el Bloque III tenía 17 árboles en 3 filas, incluyendo *L. Styraciflua* y *Lagerstroemia indica* L. El Bloque IV presentó árboles distribuidos en una fila en la acera, y no se incluyeron en el inventario. El número total de árboles fue de 58 (Cuadros 2 y 4).

Las variables fueron registradas en un transecto tipo Zig-Zag espaciado cada 11 metros, midiendo cada una de las variables en 10 puntos por calle (Figura 3) haya o no arbolado en éste, registrando 777 datos para cada variable ambiental, totalizando 3.108 registros. Lo anterior considera la probabilidad que los peatones se distribuyan aleatoriamente a lo largo y ancho del paseo peatonal, quedando por tanto una mejor representación del sitio, exista o no presencia de arbolado urbano.

Considerando los factores propuestos, Bloque y Horario, se verificó si era posible aplicar un análisis de varianza. Se verificó si las variables provienen de una distribución normal, aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para saber si los residuos de las variables provienen de una distribución normal, suposición rechazada con una  $p < 0,05$ . Adicionalmente, se utilizó la prueba de verificación de la varianza de Levene's, que evaluó si la varianza en cada nivel de los factores era la misma y si presentaban homocedasticidad, con una  $p < 0,05$ , lo que tampoco se cumplió. Al no cumplirse estos supuestos, se trabajó con estadística no paramétrica, construyendo un ranking para cada variable que presentaba diferencias significativas. Posteriormente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, que evaluó si las medianas del ranking, en cada nivel de los factores, son iguales, usando  $p < 0,05$ . Por último, las diferencias estadísticamente significativas se analizaron con la prueba de rango múltiple de Tukey HSD para Horario. En cambio, se utilizó el método de Bonferroni para los Bloques, ya que el número de observaciones del Bloque IV era diferente al de los demás. Para ambas pruebas se utilizó una  $p < 0,05$ .

## Resultados y discusión

Los promedios y la amplitud para Horario y Bloque (Cuadro 3), mostraron una alta dispersión, lo que se

**Cuadro 2.** Número de árboles por Bloque y calle.  
**Table 2.** The number of trees by Block and street.

Bloque	Calle	<i>L. indica</i>	<i>L. Styraciflua</i>
I	Norte	-	5
	Sur	-	16
II	Norte	-	6
	Sur	-	14
	Central	-	4
III	Norte	6	-
	Sur	-	7
Total		6	52

debería a las altas variaciones relacionadas con el momento del día de la toma de datos, la distribución de los Bloques y los puntos de medición, lo que se suma a la presencia/ausencia de árboles en el área estudiada [19] (Ponce-Donoso et al., 2020). Las variables ambientales medidas presentaron mayores valores de temperatura a 1,5 metros y a nivel del suelo en S1 y S2. Lo contrario se encontró en HR, que presentó valores bajos cuando las temperaturas fueron altas [12] [13] [15]. Los datos también mostraron que las temperaturas registradas en el S3 no muestran diferencias importantes si se comparan los promedios. Sin embargo, el S2 en el Bloque III mostró los valores medios más altos en comparación con los

Bloques I, II y IV, un aspecto similar a lo reportado por [30].

Los datos de HR variaron en función de las temperaturas obtenidas. En los horarios S1 y S3, donde los promedios de temperatura son más bajos, las HR son más altas (por encima del 44%), obteniéndose los valores máximos en el Bloque IV (59,5%) en todo el estudio. Por el contrario, los valores más bajos se registraron en S2, donde las medias de ambas temperaturas son altas, lo que se explicaría por la relación inversa de ambos parámetros, característica registrada por [19].

El Bloque I mostró los valores más altos de HR dentro de los diferentes horarios, lo que se relaciona con el alto número de árboles presentes y su sombra proyectada, mitigando las temperaturas e incrementando la HR, aspecto referido por [14]. En el mismo sentido, en el Bloque III se observaron valores bajos de HR, debido a la menor presencia de árboles de gran porte, y por lo tanto de copas reducidas.

Los árboles presentes en los Bloques I, II y III, fueron caracterizados mediante un censo (Cuadro 4). El mayor número de árboles se localizó en el Bloque I y II, en comparación con el Bloque III. Los individuos presentes en el Bloque III fueron el menor número y correspondieron a individuos más jóvenes, lo que genera una menor cobertura arbórea, especialmente en la Plaza de Cienfuegos. El volumen del dosel del Bloque III fue menor que los demás, lo que provocaría

**Cuadro 3.** Variables ambientales por Día y Bloque.  
**Table 3.** Environmental variables by Day and Block.

Bloque	Variable	S1		S2		S3	
		Promedio	Amplitud	Promedio	Amplitud	Promedio	Amplitud
I	T° 1,5 m (°C)	23,3	19,0 – 29,9	30,1	26,4 – 36,4	28,3	22,1 – 32,4
	T° suelo (°C)	23,7	19,5 – 30,8	30,8	25,0 – 36,9	28,6	22,3 – 33,1
	RH (%)	46,9	32,4 – 57,9	32,2	21,1 – 45,4	34,9	25,8 – 48,3
	Ws (m/s)	0,1	0,0 – 1,2	0,2	0,0 – 2,2	0,2	0,0 – 1,7
II	T° 1,5 m (°C)	23,5	20,3 – 30,5	31,3	25,3 – 34,7	28,7	22,5 – 32,2
	T° suelo (°C)	24,1	20,7 – 30,6	32,3	25,6 – 39,9	28,5	22,7 – 32,0
	RH (%)	45,8	34,2 – 53,4	29,6	19,4 – 42,5	34,4	25,6 – 47,9
	Ws (m/s)	0,1	0,0 – 1,1	0,2	0,0 – 1,5	0,2	0,0 – 1,6
III	T° 1,5 m (°C)	23,9	20,0 – 31,3	33,5	26,2 – 39,2	28,3	23,2 – 31,9
	T° suelo (°C)	24,4	20,5 – 31,5	34,7	25,9 – 44,6	28,6	23,5 – 32,2
	RH (%)	44,7	33,6 – 52,9	26,6	15,0 – 41,7	34,0	25,1 – 47,4
	Ws (m/s)	0,2	0,0 – 1,3	0,2	0,0 – 1,9	0,1	0,0 – 1,8
IV	T° 1,5 m (°C)	23,5	19,1 – 30,4	30,5	26,0 – 37,3	28,0	22,4 – 32,0
	T° suelo (°C)	23,7	19,1 – 30,6	30,8	26,2 – 39,0	28,2	22,4 – 32,3
	RH (%)	45,4	33,8 – 59,5	31,7	19,8 – 46,3	35,5	24,7 – 47,9
	Ws (m/s)	0,1	0,0 – 1,2	0,3	0,0 – 2,7	0,2	0,0 – 2,2

**Cuadro 4.** Caracterización de los árboles ubicados en los Bloques I, II y III.

**Table 4.** Tree characteristics on Blocks I, II and III.

Bloque	Número de árboles	DAP promedio (cm)	Altura promedio (m)	Volumen del Dosel promedio (m³)
I	21	11,6	8,5	14,6
II	20	12,1	7,8	14,4
III	17	6,4	4,7	4,9

**Cuadro 5.** Resultados de prueba de Kolmogorov-Smirnov para cada variable ambiental.

**Table 5.** Kolmogorov-Smirnov test results for each environmental variable.

Variable	Valor-p
T° 1,5 m (°C)	0,0000598525
T° suelo (°C)	0,0000142798
RH (%)	0,0349553
W(m/s)	0,0

**Cuadro 6.** Resultados de prueba de Levene por variable y factor.

**Table 6.** Levene's test results by variable and factor.

Factor / Variable	T° 1,5 m (°C)	T° suelo (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
Bloque	0,0030165	0,00159862	0,0215127	0,330371
Horario	1,54E-10	0	3,55E-09	0,158506

**Cuadro 7.** Resultados de prueba Kruskal-Wallis para variables ambientales.

**Table 7.** Kruskal-Wallis test results for environmental variables.

Factor / Variable	T° 1,5 m (°C)	T° suelo (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
Bloque	0,0639243	0,0201232	0,0776807	0,853425
Horario	0	0	0	0,948963

una menor captación de la radiación solar por el follaje, un aumento de las temperaturas y una disminución de la humedad relativa.

El análisis de los datos no censurados de cada variable ambiental se realizó a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, donde se puede indicar que los residuos no provienen de una distribución normal (Cuadro 5).

Considerando que los valores de probabilidad, tanto de las temperaturas como de la humedad relativa fueron inferiores a  $p < 0,05$  en todos los factores, se rechazó la hipótesis de una misma varianza, es decir, los datos no presentaron homocedasticidad y se observaron diferencias significativas. Mientras que las varianzas de la velocidad del viento eran iguales, se aceptó la hipótesis de homocedasticidad de los residuos, con lo que no habría diferencias significativas desde la variable, no siendo determinante entre los Bloques y el Horario (Cuadro 6).

Sólo la velocidad del viento cumplía el supuesto de homocedasticidad, mientras que el resto de las variables no, por lo que se realizó la prueba de Kruskal-Wallis y se evaluó la hipótesis de que las medianas dentro de cada factor fueran iguales (Cuadro 7).

Se determinó que en cada Bloque hay diferencias significativas en las medianas de la temperatura a nivel del suelo. La mediana de esta variable en el ranking, para el Bloque IV presenta valores bajos, pero con mayor amplitud, lo que podría explicarse por el hecho de que los datos fueron medidos en aceras. En el Bloque III se obtuvieron los valores más altos de las temperaturas a nivel del suelo dentro del ranking, con lo cual se puede señalar que hay diferencias entre el Bloque IV y el Bloque III (Figura 4). Sin embargo, se hubiera esperado que ocurriera una situación inversa, ya que el Bloque III es un paseo peatonal, una estructura urbana diferente a las calles que ocupan el Bloque IV, bloque de control, como se ha indicado [17]. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el resto de las variables, pero los valores de probabilidad de las variables temperatura a 1,5 m y HR estuvieron cerca de cumplir la hipótesis.

La hipótesis de medianas iguales dentro de los tres niveles de Horario no se rechazó para las variables de temperatura y HR, ya que presentaron diferencias estadísticamente significativas, lo que podrían explicarse por la disparidad en el rango de horas de medición de los registros. Esto rechaza un aumento de las temperaturas al atardecer debido a las condiciones climáticas, térmicas y propiedades de los materiales [13] [15]. Debido a que se encontraron diferencias significativas, se aplicó el Test de Bofenrroni para comparar las medias e identificar dónde se encuentran las diferencias significativas (Cuadro 8), ya que no todos los bloques tienen el mismo número de datos. Para la comparación de Horario con las variables ambientales, se aplicó la prueba HSD de Tukey,  $p < 0,05$  (Cuadro 9).

La prueba de Bonferroni mostró la conformación de dos grupos homogéneos para cada una de las variables. El Bloque III presentó diferencias significativas en sus medias respecto a los otros tres Bloques en las tres variables estudiadas, mientras que el Bloque II compartió

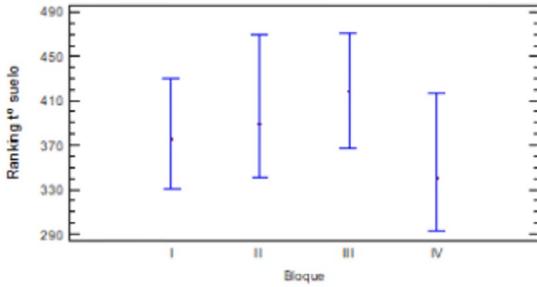


Figura 4. Rango de temperatura del suelo por Bloque.  
Figure 4. Soil temperature ranking by Block.

Cuadro 8. Resultados de prueba de Bonferroni por Bloque.

Table 8. Bonferroni test results by Block.

Bloque	T° 1,5 m (°C)	T° suelo (°C)	Humedad Relativa (%)
I	368,92 a	369,82 c	413,27 f
II	388,95 ab	395,45 c d	385,86 e f
III	422,13 b	424,10 d	358,70 e
IV	370,43 a	357,05 c	402,10 e f

Cuadro 9. Resultado de prueba de Tukey HSD por Horario.

Table 9. Tukey HSD test results by Schedule.

Horario	T° 1,5 m (°C)	T° suelo (°C)	Humedad Relativa (%)
1	183,32 g	185,42 j	602,63 n
2	567,75 h	573,38 k	233,04 p
3	415,94 i	408,20 m	331,33 q

Cuadro 10. Resultados de prueba de Bonferroni para Bloques I, II y IV.

Table 10. Bonferroni test results for Blocks I, II and IV.

Bloque	T° 1,5 m (°C)	T° suelo (°C)	Humedad Relativa (%)
I	368,92 r	369,82 s	413,27 t
II	388,95 r	395,44 s	385,86 t
IV	372,07 r	358,51 s	399,97 t

ambos grupos y no fue posible encontrar diferencias con los otros Bloques. Se identificaron diferencias entre el Bloque III los Bloques I y IV para ambas temperaturas, donde la diferencia en el Bloque III sería atribuible a la baja cobertura arbórea presente y al tipo de material utilizado en la superficie suelo en la renovación de la Plaza de Cienfuegos, que es en base a cemento.

El Bloque III presentó diferencias significativas de HR con el Bloque I, aunque la diferencia en su media fue de sólo 2,9 %. Por su parte, el Bloque III presentó una

baja cobertura arbórea, con valores de HR más bajos, aspecto esperado debido a que el período de medición correspondió al verano [19].

Se utilizó la prueba HSD de Tukey en el análisis de Horario, excluyendo la velocidad del viento, encontrando diferencias en todos ellos (Cuadro 9). El S2 mostró las mayores diferencias, lo que fue debido a las altas temperaturas que se registraron y a la baja HR. Las diferencias encontradas pueden deberse a la baja cobertura presente en el Bloque III, cuya altura media fue de 4,7 m y un volumen medio de dosel de 4,9 m3. Por otro lado, hay que considerar el tipo de superficie con la que se construyó el área de estudio, lo que permitiría el aumento de las temperaturas del suelo y del microambiente. En S3 las temperaturas se mantuvieron, lo que se debió a la absorción de la radiación solar por parte de la superficie del área de estudio.

Adicionalmente, se realizó la Prueba de Bonferroni dejando fuera el Bloque III, que presentó las mayores diferencias con los otros Bloques, así se podrá saber si hay diferencias significativas con ellos (Cuadro 10). La Prueba mostró que no hay diferencias significativas, ya que formaron un solo grupo en cada variable. Estos antecedentes permiten afirmar que la Plaza de Cienfuegos (Bloque III) tuvo diferencias con los demás bloques, por lo que existiría una relación causal entre las variables ambientales, las variables dasométricas y el espacio construido, debido a la menor presencia de infraestructura verde y mayor extensión de suelo pavimentado, aun cuando presenta una cañón urbano más amplio (Cuadro 1).

Los valores medios del volumen del dosel en los Bloques I y II presentaron valores diferentes del Bloque III, lo que permite identificar la contribución de los árboles en la mitigación de las temperaturas registradas en los diferentes Bloques, habida consideración a la estructura de cañón urbano de estos Bloque que conformaron dos grupos homogéneos, uno con los Bloques I, II y IV y el otro de los Bloques II y III. Por otro lado, el Bloque III presentó diferencias estadísticas con los Bloques I y IV, ya que las temperaturas medidas en el nivel del suelo en S2 fueron apreciablemente más altas en el Bloque III, en comparación con los otros bloques, alcanzando 34,6°C en promedio.

Ambas temperaturas se mantuvieron estables en los 4 Bloques en S3, efecto que se atribuiría a la concentración de calor por el material de construcción utilizado en la renovación del área de estudio. El valor más bajo de HR (26,57 %) se obtuvo en el Bloque III, lo que puede estar directamente relacionado con las altas temperaturas registradas. Sin embargo, en el Bloque I fue posible observar registros más altos de HR en los tres diferentes horarios, lo que sería atribuible a la presencia continua de árboles.

Considerando los resultados, fue posible identificar que algunos Bloques podrían estar expuestos a un menor confort ambiental, dado que en el Bloque III las temperaturas en S2 y S3 fueron más elevadas, aspecto consistente como señalan [7] que indican que los materiales rígidos almacenan calor durante el día, liberándolo al final de la tarde, generando una fuente de energía adicional.

Actualmente es posible acceder a investigaciones que demuestran que la cubierta vegetal cumple un rol mitigador del efecto negativo generado por los materiales de construcción utilizados y las actividades humanas [13] [4] [14]. Sin embargo, dado que no se evidenció una influencia positiva de los árboles en su función de mitigación en el Bloque III, este estudio muestra que una débil infraestructura verde y el rediseño realizado en este Bloque dieron paso a una pérdida de bienestar ambiental del área remodelada.

## Conclusiones

Se encontraron diferencias significativas entre los bloques, donde el Bloque III presentó diferencias de temperatura y humedad relativa con los demás bloques. La temperatura a nivel del suelo y la temperatura a 1,5 m fueron más altas en el Bloque III en comparación con los otros bloques, lo que se debe a que la infraestructura verde presente no consigue mitigar las temperaturas. En el Bloque III se registraron valores mínimos de humedad relativa durante el S2 (26,6%), por lo que la humedad del ambiente sería incapaz de mitigar las temperaturas.

El arbolado urbano presente en el Bloque I y en el Bloque II mitigaría tanto las temperaturas como aumentaría la humedad relativa, en comparación con el Bloque III, lo que se deberá al volumen medio de copas que presentan ambos bloques, un 200% superior al del Bloque III.

En los proyectos de diseño y planificación del espacio urbano, la remodelación de los espacios públicos debe considerar la conservación y mejora de la infraestructura verde, teniendo en cuenta el diseño de los cañones urbanos y los materiales de construcción a utilizar.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio del Medio Ambiente de Chile, por el financiamiento del Proyecto NAC-I-035-2014, que permitió la adquisición de los instrumentos necesarios para esta investigación.

## Referencias

- [1] J. Villanueva, A. Ranfla y A. Quintanilla, "Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo", *Información Tecnológica*, vol. 24, no. 1, pp. 15-24, DOI: 10.4067/S0718-07642013000100003, 2012.
- [2] D. Haase, N. Larondelle, E. Andersson, M. Artmann, S. Borgström, J. Breuste, E. Gomez-Baggethum, A. Gren, A. Hamstead, R. Hansen, N. Kabish, P. Kremer, J. Langemeyer, E. Lorance, T. McPhearson, S. Pauleit, S. Qureshi, N. Schwarz, A. Voigt, D. Wurster and T. Elmqvist, A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *Ambio*, vol. 43, pp. 413-433, DOI:10.1016/j.envsoft.2012.02.012, 2014.
- [3] A. Aflaki, M. Mirnezhada, A. Ghaffarianhoseinibg, A. Ghaffarianhoseinic, H. Omranyd, Z-H Wange and H. Akbarif, "Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong", *Cities*, vol. 62, pp. 131-145, DOI:0.1016/j.cities.2016.09.003, 2017.
- [4] F. Marando, E. Salvatori, A. Sebastiani, L. Fusaro and F. Manes, "Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy", *Ecological Modelling*, vol. 392, pp. 92-102, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2018.11.011, 2019.
- [5] E. Andreou and K. Axarli, "Investigation of urban canyon microclimate in traditional and contemporary", *Renewable Energy*, vol. 43, 354e363. DOI:10.1016/j.renene.2011.11.038, 2012.
- [6] T.R. Oke, *Boundary layer climates*. 2a Ed. New York, EE.UU. Taylor & Francis e-Library. pp. 229-260, 2009.
- [7] H. Li, J. Harvey and A. Kendall, "Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance", *Building and Environment*, vol. 59, pp. 536-546, DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.10.014, 2013.
- [8] D. Nowak, D. Crane and J. Stevens, "Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States" *Urban Forest and Urban Greening*, vol. 4, pp. 115-123, DOI: 10.1016/j.ufug.2006.01.007, 2006.
- [9] M.H. Tan and X.B. Li, "Quantifying the effects of settlement size on urban heat islands in fairly uniform geographic areas", *Habitat International*, vol. 49, pp. 100-106, DOI: 10.1016/j.habitatint.2015.05.013, 2015.
- [10] S.A.Venegas y M.B. Piderit, "Reflectancia de las envolventes verticales y su influencia sobre la disponibilidad de luz natural en el cañón urbano de la ciudad de Concepción", *Revista Hábitat Sustentable*, vol.18, no.1, pp. 6-15, DOI: 10.22320/07190700.2018.08.01.01, 2018.
- [11] G. Lobaccaro and J.A. Acero, "Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons", *Urban Climate*, vol.14, pp. 251-267, DOI: /10.1016/j.uclim.2015.10.002, 2015.
- [12] G. Legese, K. Dons and H. Meilby, "Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa", *Landscape and Urban Planning*, vol.123, pp.87-95, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.12.008, 2014.

- [13] R.H. Sun, and L.D. Chen, “Effects of green space dynamics on urban heat islands: Mitigation and diversification”, *Ecosystem Services*, vol.23, pp. 38-46, DOI: 10.1016/j.ecoser.2016.11.011, 2017.
- [14] X.H. Wang, Y. Wu, J. Gong, B. Li and J.J. Zhao, “Urban planning design and sustainable development of forest based on heat island effect”, *Applied Ecology and Environmental Research*, vol.17, no.4, pp. 9121-9129, DOI: 10.15666/aeer/1704\_91219129, 2019.
- [15] M. Nastran, M. Kobal, and K. Eler, “Urban heat islands in relation to green land use in European cities”, *Urban Forestry & Urban Greening*, vol.37, pp.33-41, DOI: 10.1016/j.ufug.2018.01.008, 2019.
- [16] P. Sarricolea, E. Aliste, P. Castro y C. Escobedo, “Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos”, *Revista de Climatología*, vol.8, pp.71-84, 2008.
- [17] P. Sarricolea y H. Romero, “Análisis de los Factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile”, *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, vol.5, no.4, pp. 79-96, 2010.
- [18] M. Fahmy and S. Sharples, “On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt”, *Building and Environment*, vol.44, no.9, pp.1907-1916, DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.01.010, 2009.
- [19] M. Ponce-Donoso, O. Vallejos-Barra, B. Ingram and G. Daniluk-Mosquera, “Urban trees and environmental variables: relationships in a city of central Chile”, *Arboriculture & Urban Forestry*, vol.46, no.2, pp.84-95, 2020.
- [20] H. Akbari and S. Knopacki, “Energy effects on heat-island reduction strategies in Toronto, Canada”, *Energy*, vol.29, no.2, pp.191-210, DOI: 10.1016/j.energy.2003.09.004, 2004.
- [21] G. Papadakis, P. Tsamis and S. Kyritsis, “An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings” *Energy and Buildings*, vol.33, no.8, pp.831-836, DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00066-4, 2001.
- [22] Z. Huang, C. Wu, M. Teng and Y. Lin, “Impacts of tree canopy cover on microclimate and human thermal comfort in a shallow street canyon in Wuhan, China”, *Atmosphere*, vol.11, pp.588, DOI: 10.3390/atmos11060588, 2020.
- [23] N. J. Georgi and K. Zafiriadis, “The impact of park trees on microclimate in urban areas”, *Urban Ecosystems*, vol.9, no.3, pp.195-209, DOI: 10.1007/s11252-006-8590-9, 2006.
- [24] G. Minke, *Techos verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Trad. D. Entz. Uruguay. 1ra Ed. Teruel, España. Ediciones EcoHabitad, pp. 7-12, 2010.
- [25] L. Zeng, J. Lu, W. Li and Y. Li, “A fast approach for large-scale Sky View Factor estimation using street view images”, *Building and Environment*, vol.135, pp.74-84, DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.03.009, 2018.
- [26] J. Arnfield, “Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water and the Urban Heat Island”, *Journal of Climatology*, vol.23, pp.1-26, DOI: 10.1002/joc.859, 2003.
- [27] Q. Weng, D. Lu and J. Schubring, “Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies”, *Remote Sensing of Environment*, vol.89, pp.467-483, DOI: 10.1016/j.rse.2003.11.005, 2004.
- [28] BCN (Biblioteca del Congreso Nacional). Reportes Estadísticos Distritales y Comunes 2015. Disponible en <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Talca>, 2015.
- [29] F.J. Escobedo and D.J. Nowak, “Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest”, *Landscape and Urban Planning*, vol.90, pp.102-110, DOI:10.1016/j.landurbplan.2008.10.021, 2009.
- [30] D.J. Murphy, M.H. Hall, C.A.S. Hall, G.M. Heisler, S.V. Stehman and C. Anselmi-Molina, “The relationship between land cover and the urban heat island in northeastern Puerto Rico”, *International Journal of Climatology*, vol.31, no.8, pp. 1222-1239, DOI: 10.1002/joc.2145, 2011.