

## Confort térmico producido por la vegetación arbórea en el macrocentro de Bahía Blanca (Argentina)

VALERIA S. DUVAL<sup>1,2,✉</sup>; GRACIELA M. BENEDETTI<sup>1</sup> & KATHERINE BAUDIS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS). <sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

**RESUMEN.** Los árboles urbanos generan múltiples beneficios a la sociedad; uno de ellos es mitigar la isla de calor. El objetivo del presente trabajo es obtener el confort térmico producido por la vegetación arbórea en el macrocentro de la localidad de Bahía Blanca. Para ello, en principio, se determinó la zona climática local del área de estudio según sus características, y se obtuvo el porcentaje de cobertura vegetal mediante el *software* en línea *i-Tree Canopy*. También se realizó un relevamiento del arbolado de alineación para determinar las especies más representativas. Durante el verano de 2020 se hicieron mediciones de temperatura del aire y humedad relativa bajo la copa de quince individuos arbóreos, a las 15:00 h, en 15 días típicos de verano. Luego, al aplicar el índice de confort de la vegetación se pudo comprobar que todos los árboles seleccionados contribuyen a mejorar el confort térmico de la población. Sin embargo, existieron diferencias entre éstos, destacándose *Platanus acerifolia* y *Parasenegalia visco* por su mayor magnitud y por su incidencia en la disminución de la temperatura del aire bajo sus copas. Además, se identificaron y describieron los problemas vinculados al arbolado viario y se establecieron propuestas para mejorarlo. Los resultados permiten considerar que, dada la importancia de los árboles en el microclima urbano, se debe incrementar su cobertura en el macrocentro de esta ciudad para contribuir a regular la temperatura durante el verano. Se comprobó la necesidad de realizar tareas de mantenimiento de forma periódica para evitar los problemas detectados en el arbolado viario y potenciar los servicios ecosistémicos que brinda.

[Palabras clave: servicios ecosistémicos, infraestructura verde, microclima, ecología urbana, arbolado de alineación, isla de calor]

**ABSTRACT.** Thermal comfort produced by tree vegetation in the downtown area of Bahía Blanca (Argentina). Urban trees are essential since they generate multiple benefits to society, one of them is the mitigation of the urban heat island. The present work aims to obtain the thermal comfort produced by the arboreal vegetation in the downtown area of Bahía Blanca city. For this, Local Climate Zone of the study area was determined according to its characteristics and the percentage of vegetation cover was obtained using the online software *I-tree Canopy*. A survey of the street trees was also conducted to determine the most representative species. During the summer of 2020, measurements of air temperature and relative humidity were made under the canopy of fifteen trees, at 3:00 p.m., in 15 days typical of this thermal season. Then, by applying the vegetation comfort index, it was found that all the selected trees contribute to improve the thermal comfort of the population. However, there were differences among them, with *Platanus acerifolia* and *Parasenegalia visco* standing out for their higher magnitude and their impact on the decrease in air temperature under their canopies. In addition, problems related to street trees were identified and described, and finally proposals were established. These results allow to consider that, given the importance of trees in the urban microclimate, their coverage should be increased in the downtown area in order to contribute to thermal regulation during the summer. The need for regular maintenance work to avoid the problems detected in the roadside trees and to enhance the ecosystem services they provide was confirmed.

[Keywords: ecosystem services, green infrastructure, microclimate, urban ecology, street trees, urban heat island]

### INTRODUCCIÓN

La vegetación es un elemento clave en la infraestructura urbana, ya que ofrece numerosos servicios ecosistémicos de distinta índole; entre ellos, los de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte (Calaza Martínez 2019). Los primeros, también llamados de abastecimiento, se refieren a

aquellos materiales obtenidos de la naturaleza (e.g., alimentos, agua dulce, madera, etc.). Los segundos son los que se producen como resultado de la regulación de los procesos ecosistémicos (e.g., la regulación de la calidad del aire, del clima y del ciclo hidrológico) (Rötzer et al. 2020; Santé et al. 2020). Los terceros son los beneficios inmateriales

Editora asociada: María Semmartin

Editora junior: Mariana Tadey

✉ valeria.duval@uns.edu.ar

Recibido: 10 de Agosto de 2021

Aceptado: 28 de Marzo de 2022

relacionados con la vida social, como la recreación y el turismo, y los últimos son los necesarios para producir todos los otros servicios ecosistémicos (e.g., la formación de suelos) (Nowak and Dwyer 2010).

En la actualidad, es esencial la valoración de los servicios ecosistémicos, ya que —en el último siglo— el ritmo de crecimiento de las ciudades se aceleró y se observan severos impactos ambientales y socioeconómicos (Inostroza et al. 2020). En este contexto, la ONU (2015) estableció, en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), de los cuales seis están vinculados de forma directa con la gestión de esta infraestructura verde (Borelli et al. 2018). Entre ellos se destaca el ODS 11, que determina la necesidad de gestionar ciudades inclusivas, resilientes y sostenibles. Esto incluye abordar temáticas referidas a la mejora de los espacios verdes y al arbolado de alineación (Salbitano et al. 2017).

Un problema importante en las ciudades es la isla de calor, fenómeno que se caracteriza por la ocurrencia de temperaturas más elevadas en el área urbana que en los alrededores rurales (Oke et al. 2017). Al respecto, está comprobado que la vegetación contribuye a regular las temperaturas, amortiguar el impacto del viento y aumentar la humedad (Alves and Lopes 2017; Colunga et al. 2017; Therán Nieto et al. 2019). Estas variaciones se dan a una microescala, ya que se pueden distinguir diferentes morfologías y estructuras dentro de las urbes que inciden en las condiciones climáticas locales. En este caso, los cambios producidos por la vegetación, principalmente en la época estival, contribuyen directamente a generar un mayor confort térmico (Coutts et al. 2015; Monteiro et al. 2019).

El confort térmico se define como 'el estado subjetivo de comodidad del usuario en un espacio determinado, basado en las necesidades y requerimientos tanto de éste como del espacio mismo, para la realización de una actividad dada, en el que adaptarse a su entorno le requiere solamente de un mínimo de energía —zona de confort—' (Therán Nieto et al. 2019). Éste incide de forma directa en la calidad de vida de la población (Rojas Cortorreal 2016). Por esta razón, en particular en ambientes con temperaturas elevadas y concentración de edificación, se refuerza la función de la vegetación como aquella que contribuye a mejorar la sensación térmica en

los habitantes (Gómez Lopera 2005; Cárdenas Looor 2019).

La relación entre confort térmico y vegetación fue estudiada a nivel mundial por varios investigadores, lo que prueba la relevancia de esta temática en la actualidad. Por ejemplo, Rojas Cortorreal (2016) analizó de forma cualitativa y cuantitativa la influencia de la vegetación en el microclima de las ciudades de Barcelona (España) y Santo Domingo (República Dominicana). El investigador identificó que los árboles más frondosos en su follaje generaban un efecto regulador mayor que aquellos con menor frondosidad; por lo tanto, esta es una variable relevante a considerar en el estudio microclimático del arbolado urbano. Takács et al. (2016) también estudiaron los efectos de los elementos climáticos generados por cinco especies arbóreas en la ciudad de Szeged (Hungria) durante el verano. En esta investigación se reconoció la importancia de los árboles sobre el balance de radiación. Karimi et al. (2020) evaluaron los parámetros asociados al confort térmico en un espacio verde y determinaron que la combinación del pavimento de bajo albedo con árboles de copa ancha y gran altura proporcionan la mejor situación de confort.

En la Argentina se ha avanzado en este tipo de estudios, principalmente en ambientes áridos y con temperaturas elevadas (e.g., San Juan y Santa Fe). En el primer caso, Kurbán et al. (2007) analizaron los espacios verdes y la temperatura en ecosistemas áridos de San Juan. Estos autores cuantificaron el alcance y la intensidad del efecto de la vegetación sobre las temperaturas y la humedad en los espacios verdes. Establecieron que todas las áreas verdes poseen un 'efecto térmico de intensidad y alcance significativos desde el punto de vista bioclimático' (Kurbán et al. 2007). Vázquez et al. (2016) analizaron las condiciones microclimáticas de dos plazas públicas de la ciudad de Rosario (Santa Fe); en particular, la influencia de la vegetación sobre el confort estival para la población que asiste a estas áreas. Lograron establecer que aquellos espacios con mayor cantidad y diversidad de vegetación eran los más elegidos por distintos grupos sociales. En Bahía Blanca, Capelli de Steffens et al. (1986) estudiaron el microclima y el estado de la cobertura arbórea urbana relacionando las oscilaciones térmicas diarias con la densidad del follaje. Llegaron a la conclusión que la densidad del follaje cumple un rol importante

en la reducción de la velocidad del viento y en la disminución de la temperatura del aire bajo su copa. Por otra parte, Duval et al. (2020) estudiaron el impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano durante el verano. Determinaron que existe una variación térmica de aproximadamente 1.3 °C entre el aire bajo la copa del árbol y fuera de ella, y que esa diferencia de temperatura era más notoria a las 12:00 h y a las 15:00 h. Por lo tanto, la presencia de vegetación es un elemento fundamental para mitigar las altas temperaturas en verano.

La zona del macrocentro de Bahía Blanca es reconocida por Ferrelli et al. (2018) como aquella que durante el verano presenta una isla de calor urbana diurna de 6.3 °C. Este valor ha aumentado desde 1985 hasta la actualidad. Los autores establecieron que las temperaturas diurnas y nocturnas registradas en la ciudad siempre fueron mayores en el centro de la ciudad y menores en la zona de la costa y el área vegetada. Estas mediciones son concernientes a la isla de calor urbana de canopeo (Oke et al. 2017), que se refiere a la temperatura atmosférica entre el suelo y la altura máxima de los edificios. También es la denominada isla de calor a nivel del suelo que afecta directamente a la población (Tumini 2012).

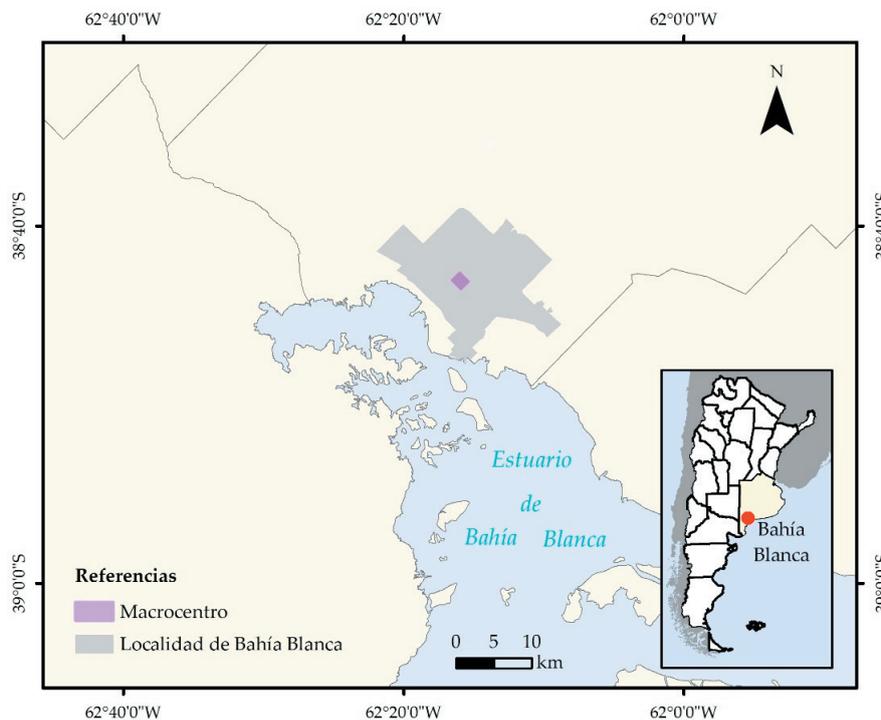
Para continuar avanzando sobre esta temática, y haciendo foco en los beneficios

que el arbolado le brinda a la población, este trabajo tiene como objetivo general medir el confort térmico producido por la vegetación arbórea en el macrocentro de la localidad de Bahía Blanca. Para ello se determinaron como objetivos específicos realizar un inventario de los árboles del macrocentro de la ciudad; identificar y describir los problemas del arbolado viario, y registrar y analizar la temperatura del aire y la humedad relativa bajo las copas de distintos individuos arbóreos; y comparar estos valores con la temperatura y la humedad relativa registradas a 5 m de altura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Descripción del área de estudio*

La localidad de Bahía Blanca está localizada al suroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), en el partido homónimo (Figura 1). Es una ciudad intermedia, con una población de 301531 habitantes (INDEC 2010). El clima es semiárido de transición entre el cálido y el húmedo del este de la provincia de Buenos Aires y el frío y seco de la Patagonia. Se caracteriza por una marcada estacionalidad térmica que permite la diferenciación entre el verano y el invierno (Aliaga et al. 2017). La temperatura media anual es 15 °C (Capelli de Steffens et al. 2005); la precipitación media anual es 613 mm, y presenta una variación



**Figura 1.** Localización de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina.

**Figure 1.** City location, Bahía Blanca, Argentina.

anual elevada, con mayor cantidad de lluvias a fines de la primavera y principios del verano. Los vientos son moderados y predominan desde el sector norte-noroeste. El relieve es aterrazado hacia el norte-noreste, con sectores bajos y anegados al sur. Los valores altimétricos de la ciudad oscilan entre 8 y 74 m s. n. m., y disminuyen en sentido norte-sur (Zapperi and Campo 2011).

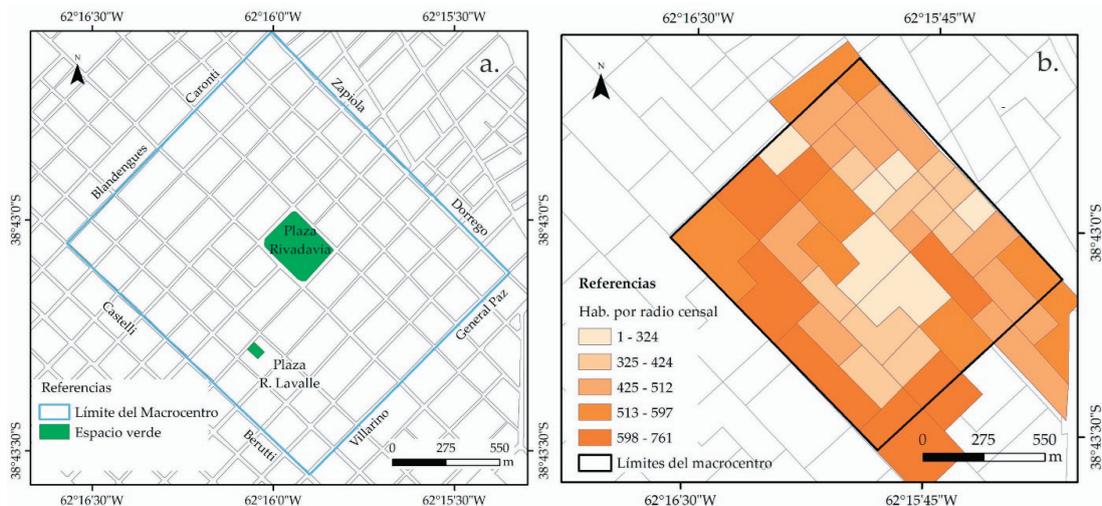
Bahía Blanca está inserta en la llanura pampeana, y en la zona se representan dos ecorregiones: el Espinal y la Pampa, aunque también se incorporan algunos representantes del Monte, lo que da lugar a un área ecotonal (Sanhueza et al. 2016). El paisaje vegetal natural fue, en su mayoría, transformado y reemplazado por especies exóticas. Sólo en algunos sectores de la ciudad se reconocen pequeños relictos de flora nativa. En consecuencia, los árboles y arbustos que se distribuyen en el medio urbano son ejemplares plantados por la sociedad (Benedetti and Campo 2007) y actualmente poseen protagonismo en las calles y en los espacios públicos locales (Benedetti et al. 2014).

Para el presente estudio se seleccionó el macrocentro de la ciudad, comprendido entre las calles Dorrego, Zapiola, General Paz, Villarino, Berutti, Castelli, Blandengues y Caronni (Figura 2a). Posee una superficie de alrededor de 1.5 km<sup>2</sup> y se caracteriza por presentar una alta densidad poblacional. Según el censo de población del año 2010, en esta zona viven ~190000 habitantes (INDEC 2010). En la Figura 2b se muestra la cantidad

de habitantes por radio censal. En la zona central se reduce su cantidad por encontrarse la Plaza Rivadavia y la Plaza Ricardo Lavalle. Ambas plazas tienen una superficie total de 46711 m<sup>2</sup>; la de mayor extensión es la Plaza Rivadavia, con 44018 m<sup>2</sup>. Ambos espacios representan el 3% del área del macrocentro. Según Stewart y Oke (2012), la Zona Climática Local (ZCL) a la cual pertenece esta zona es LCZ-1, que se refiere a un área de edificios de gran altura y densidad. Se seleccionó el macrocentro por su elevada concentración de edificios, superficies impermeables y por el uso de suelo comercial y residencial. También, mediante la observación directa, se detectó la ausencia de árboles en varias calles de este sector.

### Mediciones y análisis de datos

**Cobertura de la vegetación urbana.** Se obtuvo la cobertura vegetal del área de estudio mediante el *software* en línea *i-Tree Canopy v6.1*, desarrollado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA Forest Service 2006). Esta herramienta gratuita permite analizar la superficie arbórea del espacio urbano considerando el arbolado viario y de espacios verdes públicos y privados, sobre la base de una imagen de Google Earth Pro® del año 2021. Se identificó la presencia o la ausencia de vegetación del área de estudio sobre la base de 700 puntos aleatorios, con un error de  $\pm 1.46\%$ . Los puntos son datos requeridos por el *software* para calcular la cobertura vegetal, marcados sobre la imagen



**Figura 2.** Caracterización del macrocentro de Bahía Blanca. a) Delimitación del macrocentro y ubicación de los espacios verdes. b) Cantidad de habitantes por radio censal (INDEC 2010).

**Figure 2.** Characterization of the downtown area of Bahía Blanca. a) Delimitation of the downtown area and location of green spaces. b) Number of inhabitants by census radius (INDEC 2010).

satelital. Estas clases permitieron reconocer el valor de cobertura vegetal en contraposición con los espacios construidos. La unidad de medida de la cobertura vegetal, obtenida mediante este software, es en porcentaje.

Por otra parte, se realizó un inventario del arbolado viario para conocer cuáles son las especies representativas y definir su cantidad. Esta forma de vida arbórea es la que genera una mayor moderación en el microclima urbano; por eso se desestimaron los arbustos presentes en las veredas (Jiménez González 2008). El censo fue realizado en enero de 2020 y se lo actualizó en diciembre del mismo año debido a los cambios que se detectaron visualmente. Se obtuvieron datos del árbol como el nombre de la especie, la altura y su estado físico y sanitario, así como información del individuo arbóreo con su entorno (e.g., interferencia con la luminaria, levantamiento de veredas, etc.). Como producto de la cuantificación de los árboles, se realizó un mapa con su distribución por manzana. A partir de este dato se calculó la densidad de árboles de alineación por manzana considerando la medición de la superficie de cada una de ellas, a través del Google Earth Pro®.

Registro del estado físico y sanitario de la vegetación. Se consideraron algunas variables desarrolladas por Orjuela González (2007) para analizar el estado físico y sanitario del árbol. Entre ellas, la poda (i.e., si se realiza de forma inadecuada se compromete el correcto desarrollo del árbol, como por ejemplo, aquellos producidos en más de un tercio de la copa, cortes que deforman la arquitectura de la copa y producen inconvenientes en la cicatrización, etc.), el descortezamiento (i.e., la pérdida parcial o total de la corteza del ejemplar), la inclinación (i.e., árboles cuyos troncos están en un ángulo inferior a 90°), el secamiento (i.e., la pérdida de capacidad vital de todas o algunas ramas) y la presencia de tumores o agallas (i.e., la hinchazón de tejidos localizado en alguna parte del árbol). Se contabilizó la presencia o ausencia de estas variables en cada árbol.

Clasificación de los individuos arbóreos según su magnitud. A partir del censo, en el área de estudio se seleccionaron al azar 15 árboles de distintas especies (15 especies arbóreas) y de cada uno de ellos se obtuvo la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP). En relación con esta última variable, Carrieri (2004) desarrolló el criterio de clasificación de los árboles según su magnitud.

Los árboles de primera magnitud responden a aquellos ejemplares cuya altura supera los 15 m; los de segunda magnitud miden entre 10 y 15 m de altura, mientras que los de tercera magnitud poseen alturas inferiores a 10 m. Ambas mediciones (altura y DAP) se realizaron para determinar si la estructura de cada árbol influye sobre la temperatura del aire y humedad relativa registrada bajo su copa.

Índice de confort de la vegetación. Sobre la base de los 15 árboles seleccionados, se aplicó el índice de confort de la vegetación (ICVA), de Jiménez González (2008), con el objetivo de analizar la influencia del arbolado viario, considerando su magnitud y estructura de copa, en las condiciones microclimáticas del macrocentro. En esta metodología, el autor incluye la variable vegetal y destaca el rol esencial que tiene en el amortiguamiento de las condiciones térmicas, sobre todo durante el período estival. El ICVA —cuya unidad es °C— se calcula como la diferencia entre la temperatura efectiva debajo del árbol (TEB) y la temperatura de confort (Tc) exterior del lugar. Su fórmula es:

$$ICVA = TEB - Tc$$

De esta forma se conoce cuánto se aproxima o se aleja la temperatura efectiva debajo del árbol (TEB) de la temperatura de confort (Tc) exterior, estimada para Bahía Blanca. Un resultado cero entre la TEB y la Tc muestra que existe un equilibrio y que las condiciones de confort son óptimas para los habitantes. En función del valor del ICVA, los árboles se clasifican en ligeramente confortables (de 2 a 3 °C), medianamente confortables (de 0 a 2 °C), confortables (de 0 a -1 °C) y muy confortables (de -1 a -3 °C). Los valores negativos del ICVA definen a los árboles como los más confortables, ya que la temperatura efectiva medida bajo sus copas (TEB) es inferior a la temperatura de confort (Tc) de la población durante el verano, en esta ciudad. En cambio, los árboles que poseen un valor positivo del ICVA son aquellos cuya TEB es superior a la Tc y, por lo tanto, son árboles menos confortables en comparación con aquellos que poseen un valor negativo. Para conocer el ICVA, una de las variables a calcular es la TEB. Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$TEB = TB - [(0.55 - 0.0055 \times HB) \times (T - 14.5)]$$

donde TB es la temperatura del aire bajo el árbol, HB es la humedad relativa bajo el árbol, T es la temperatura ambiente en

°C, 0.55 y 0.0055 son constantes de ajuste matemático y 14.5 es un ajuste de temperatura. La temperatura ambiente (T) se obtuvo del promedio del período de tres meses registrado por el termohigrómetro localizado en el centro de la ciudad (a 5 m de altura). Los datos de temperatura (TB) y de humedad relativa debajo del árbol (HB) se midieron simultáneamente a las 15:00 h (con un intervalo de medición de 5 minutos) entre enero y marzo de 2020. Se seleccionaron 15 días representativos del período estival, con temperaturas superiores a 30 °C y con cielos despejados. Se midieron estas variables debajo del árbol con un termohigrómetro Supco DAVM+ (Digital Air Flow/Volume Meter) y luego se obtuvo un valor medio de esas mediciones para el cálculo del TB y HB de cada árbol, que se utilizaron en la fórmula del TEB.

Por otro lado, para calcular la temperatura de confort (Tc) de la ciudad, considerada en la fórmula del ICVA, se aplicó el modelo adaptativo de Humphreys and Nicol (2002). La fórmula se expresa de la siguiente forma:

$$T_c = 13.5 + 0.54 T_m$$

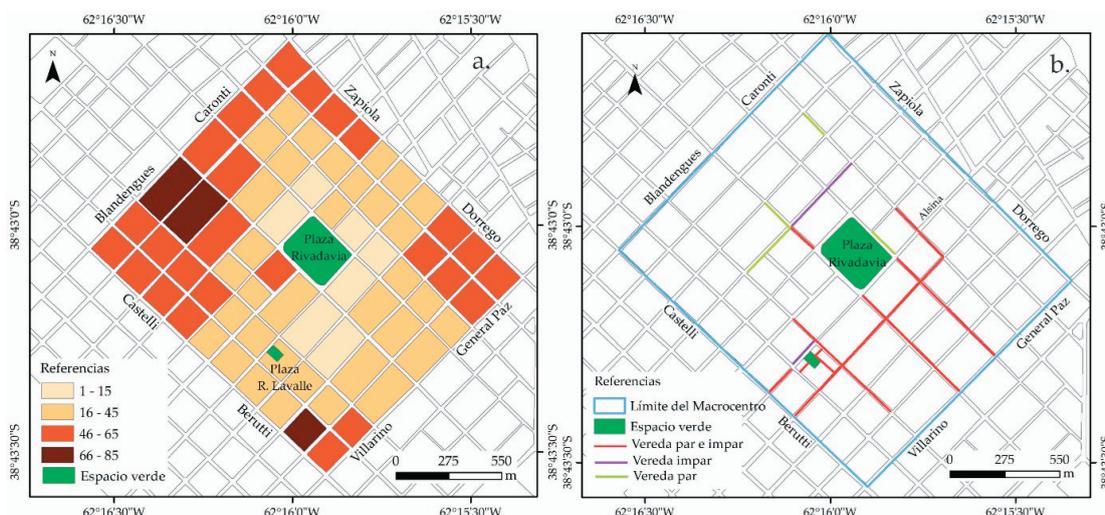
donde Tm es la temperatura a bulbo seco en °C, y 13.5 y 0.54 son constantes de ajuste por regresión estadística. Para trabajar con este índice (Tc) se obtuvieron datos climáticos de un termohigrómetro localizado en un edificio del macrocentro de la ciudad, a 5 m de altura. El instrumental se encontraba dentro de una caja de PVC blanca para evitar la incidencia directa del sol en el registro de los datos,

y en un sitio donde no existía influencia arbórea. Los datos de temperatura del aire que se utilizaron para el cálculo del Tc fueron registrados de forma horaria desde el 21 de diciembre de 2019 hasta el 21 de marzo de 2020 inclusive. Para el cálculo de la Tm se consideró la media aritmética entre la media de las temperaturas máximas y la media de las temperaturas mínimas. El valor de la Tc es el punto de referencia para el cálculo del ICVA.

## RESULTADOS

### Caracterización de la vegetación

La cobertura vegetal en el macrocentro de la ciudad, obtenida mediante el software en línea *i-Tree Canopy*, fue 18%. Esta está compuesta principalmente por los árboles y arbustos que se visualizan en la imagen satelital de Google Earth®. Se contabilizaron tanto en espacios públicos como en privados. La mayor concentración se presenta en ambas plazas antes mencionadas, principalmente en la Plaza Rivadavia. Del censo del arbolado de alineación se reconocieron 2838 árboles pertenecientes a 49 especies. Están representados 36 géneros y 23 familias en el macrocentro. El género con mayor cantidad de individuos arbóreos es *Fraxinus*, con 1071 individuos, que es el 37.7% de la totalidad del arbolado de alineación del área de estudio. En cuanto al origen de las especies, se identificaron 6 nativas y 43 exóticas. Entre las primeras se mencionan: *Jacaranda mimosifolia* (jacarandá), *Ceiba speciosa* (palo borracho), *Erythrina crista-*



**Figura 3.** a) Cantidad de árboles de alineación por manzana en el macrocentro de Bahía Blanca. b) Veredas sin árboles en el macrocentro.

**Figure 3.** a) Number of street trees per block in the downtown area of Bahía Blanca. b) Treeless sidewalks in the downtown area.

*galli* (ceibo) y *Parasenegalia visco* (viscote). En el segundo grupo se identifican, por ejemplo, *Fraxinus pennsylvanica* (fresno americano), *Styphnolobium japonicum* (sófora), *Lagerstroemia indica* (crespón) y *Robinia pseudoacacia* var. *umbraculifera* (acacia bola).

La cantidad de árboles varía entre 85 y 6 ejemplares por manzana (Figura 3a). Los valores más bajos se encuentran en la zona cercana a la Plaza Rivadavia, donde se desarrolla el uso comercial. Por el contrario, la mayor cantidad de árboles se ubican en los límites del macrocentro, en algunos casos coincidente con manzanas de mayor superficie. La densidad de árboles de alineación, por manzana, varía entre 4.1 y 0.3 árboles/m<sup>2</sup>. De las 62 manzanas, nueve poseen un valor de densidad inferior a un árbol/m<sup>2</sup>, que son las que se localizan en los alrededores de la Plaza Rivadavia. Por otra parte, existen 26 cuadras, de las 120 que componen el macrocentro, sin presencia de árboles, lo que constituye un 21.6% de su totalidad (Figura 3b). En ocho cuadras se observó, tanto en la vereda par como en la impar, la ausencia de árboles. En relación con esta situación, en algunas veredas no se visualizó la presencia del recinto (862 casas y locales).

Durante el censo se observaron 300 recintos, canteros o cazuelas de plantación que tienen forma cuadrada o rectangular, vacíos, sobre todo en los frentes de los edificios más nuevos. También se observaron 36 recintos con dos o más árboles, 469 ejemplares (16.5%) cuyas raíces levantan las veredas, 156 árboles (5.5%) mochados o podados de forma inadecuada, situaciones que produjeron asimetrías en las copas o debilitan la estructura del ejemplar. Además, se puede mencionar el ahuecamiento de los troncos en 53 árboles

(1.9%), ramas secas o muertas en 64 ejemplares (2.2%), principalmente en *Robinia pseudoacacia* y *Robinia pseudoacacia* var. *umbraculifera*, y se detectaron 40 árboles muertos en pie y 570 ejemplares (20%) inclinados hacia la luz o bien por el viento. Se observó también que en las veredas de organismos públicos hay un bajo mantenimiento de los recintos; en algunos casos no poseen árboles o bien son añejos y presentan problemas fitosanitarios como daños en su follaje por presencia de insectos o tumores en sus cortezas. En las veredas de los locales gastronómicos, en general, no hay árboles o fueron removidos y reemplazados por las mesas y sillas del local.

#### Comportamiento climático de verano en el macrocentro

Durante el verano del año 2020, la temperatura media, registrada por el termohigrómetro localizado a 5 m de altura, fue 25.2 °C, la máxima absoluta fue 44.6 °C (dato del 1 de marzo a las 15:00 h), y la mínima absoluta, de 11 °C (registrada el 22 de febrero a las 7:00 h). La humedad relativa media del verano fue 47.7%, el valor mínimo absoluto fue 13.2% y el máximo absoluto fue 97.9%. En la Figura 4 se muestra la temperatura media y la humedad relativa media horaria del período analizado, registrados a 5 m de altura. Se observan valores de temperatura superiores a 30 °C entre las 13:00 h y las 18:00 h. Por el contrario, los valores mínimos medios, cercanos a 20 °C, se registraron entre las 5:00 h y las 7:00 h. En relación con la humedad relativa, los valores máximos medios se reconocieron durante la madrugada (máximo medio 62.3% a las 6:00 h), y los más bajos, luego del mediodía (mínimo medio de 28.9% a las 15:00 h), coincidentes con las temperaturas más elevadas.

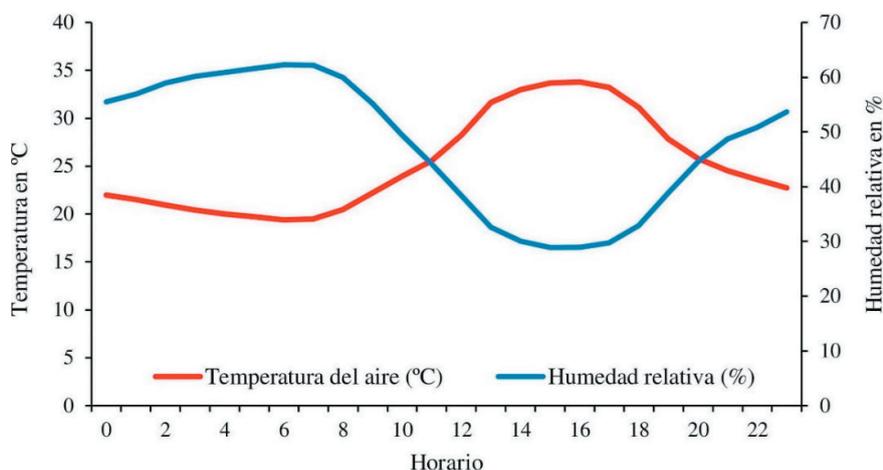


Figura 4. Temperatura media y humedad relativa horaria de la estación estival 2020, a 5 m de altura.

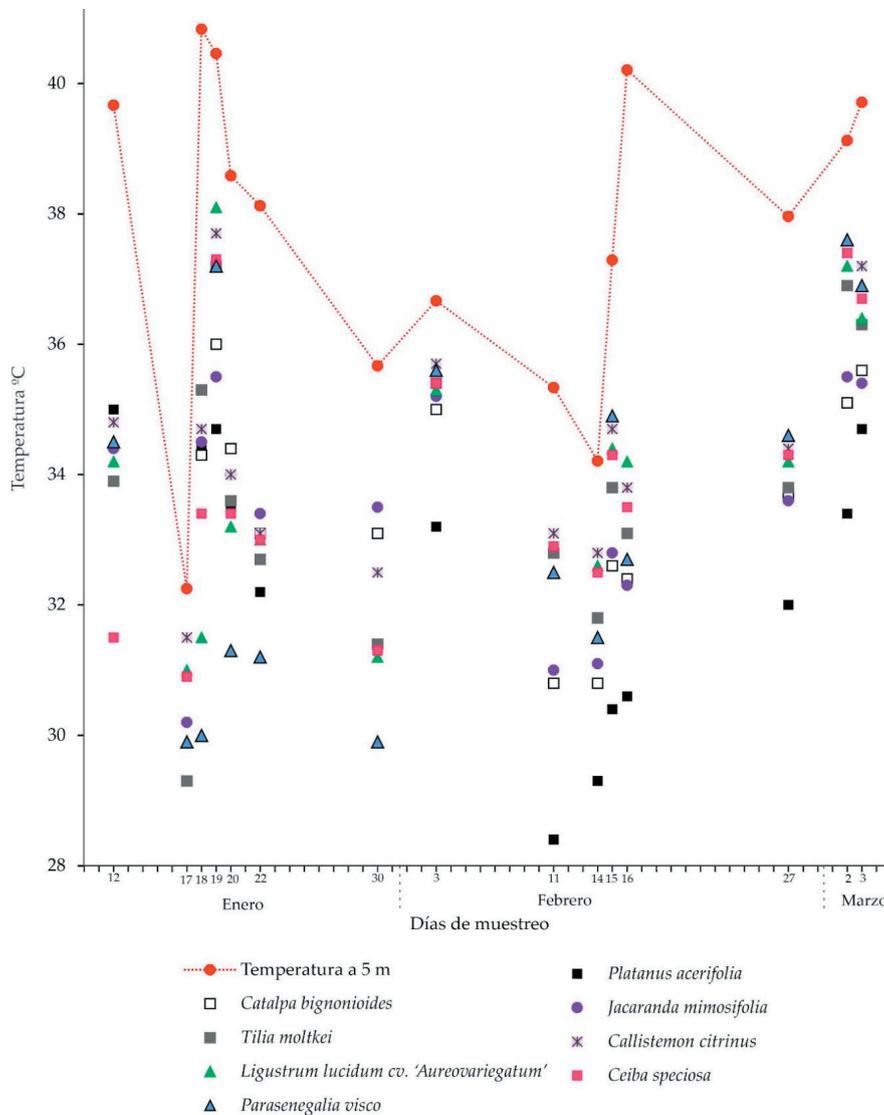
Figure 4. Average hourly temperature and relative humidity of the summer season 2020, at 5 m height.

*Confort térmico producido por los árboles*

En la Figura 5 se muestra la temperatura del aire debajo de la copa (TB) de algunos árboles muestreados y la obtenida por el termohigrómetro a 5 m de altura, durante los 15 días de mediciones. El promedio de temperatura registrado por el termohigrómetro, a las 15:00 h y en los 15 días seleccionados, fue 37.7 °C, y los valores variaron entre 32.3 °C y 40.8 °C. Por otro lado, el valor medio de las TB de los 15 árboles fue 33.8 °C, y fluctuaron entre 28.4 °C y 38.1 °C. Se observó que existe una diferencia notoria entre las temperatura bajo la copa (TB) y las registradas a 5 m de altura, siendo las

primeras (TB) inferiores en todos los días de mediciones.

El 11 de febrero de 2020 se identificó el valor mínimo absoluto de TB, registrado debajo del *Platanus acerifolia* (28.4 °C). Ese día, el termohigrómetro (5 m de altura) midió una temperatura de 35.5 °C. Es decir que la diferencia entre ambos sitios de medición (árbol y termohigrómetro) fue 7.1 °C. Otro ejemplo se dio el 18 de enero del mismo año, cuando la temperatura a 5 m de altura fue 40.8 °C, mientras que el valor de TB más bajo lo obtuvo *Parasenegalia visco*, con 30 °C; es decir, se observó una diferencia de 10.8 °C. El promedio de la diferencia entre los TB y



**Figura 5.** Comparación de la temperatura registrada bajo la copa de algunos árboles seleccionados (TB) y a 5 m de altura, a las 15:00 h, durante el verano 2020.

**Figure 5.** Temperature comparison among some selected trees under their canopy (TB) and at 5 m height, at 3:00 p.m., during the summer 2020.

la temperatura registrada a los 5 m de altura para este período fue 6.3 °C, y en nueve de los 15 días, *Platanus acerifolia* fue la especie que presentó una mayor amplitud térmica con el termohigrómetro ubicado a 5 m de altura. *Parasenegalia visco* registró la máxima diferencia en 4 días, y *Ceiba speciosa* y *Ligustrum lucidum* cv. *aureovariegatum*, en 1 día.

Con respecto a la humedad relativa debajo de la copa de los árboles (HB), el promedio de los 15 individuos fue 24.7%, y los valores oscilaron entre 18.9% y 37.3%. Por otra parte, la humedad relativa media registrada a 5 m de altura fue 20.3%, y los valores variaron entre 16.8% y 31.5%. Se observó que en todas las mediciones realizadas debajo de los árboles durante los 15 días, el porcentaje de humedad relativa (HB) fue superior que en la registrada a los 5 m de altura. Los porcentajes más elevados de HB se observaron el día 3 de febrero, y los más bajos, el 14 de febrero. *Platanus acerifolia* fue el árbol que obtuvo una mayor diferencia de humedad relativa (6.8%) en relación con el valor medio de este mismo elemento (humedad relativa) medido por el termohigrómetro (20.3%). En cambio, *Callistemon citrinus* fue el árbol que tuvo una menor diferencia de humedad relativa (3.6%), con el valor medio registrado por el termohigrómetro.

En la Tabla 1 se detallan los 15 individuos del arbolado de alineación seleccionados

para el presente estudio junto con los datos de altura, DAP, la temperatura (TB) y la humedad relativa (HB) medidas debajo de sus copas, la temperatura efectiva debajo el árbol (TEB) y el ICVA. Según su altura, en la muestra se identificaron árboles de tercera magnitud como *Prunus cerasifera* (ciruelo de jardín), *Lagerstroemia indica* (crespón) y *Ligustrum lucidum* cv. *aureovariegatum* (ligustro variegado). De segunda magnitud se reconocieron, por ejemplo, *Ailanthus altissima* (árbol del cielo), *Fraxinus pennsylvanica* (fresno americano) y *Parasenegalia visco* (viscote). De primera magnitud sólo se menciona *Platanus acerifolia* (plátano). Los valores de DAP de los 15 árboles variaron entre 33.1 y 87.1 cm, y se observó que varios de estos ejemplares poseían un tronco bifurcado.

De la aplicación de la fórmula del TEB, se visualizó que el valor mínimo lo obtuvieron *Platanus acerifolia* (25.2 °C) y *Parasenegalia visco* (25.6 °C). Mientras tanto, los valores más elevados los tuvieron *Callistemon citrinus* (26.1 °C), *Fraxinus Pennsylvanica* (26 °C) y *Prunus cerasifera* (26 °C). Éstos determinan el ICVA a través de la diferencia entre la TEB y la Tc. Esta última (Tc) fue calculada para el verano de Bahía Blanca, y como resultado se obtuvo un valor de 27.1°C.

Los ICVA de los 15 árboles son negativos, es decir que todos los individuos considerados

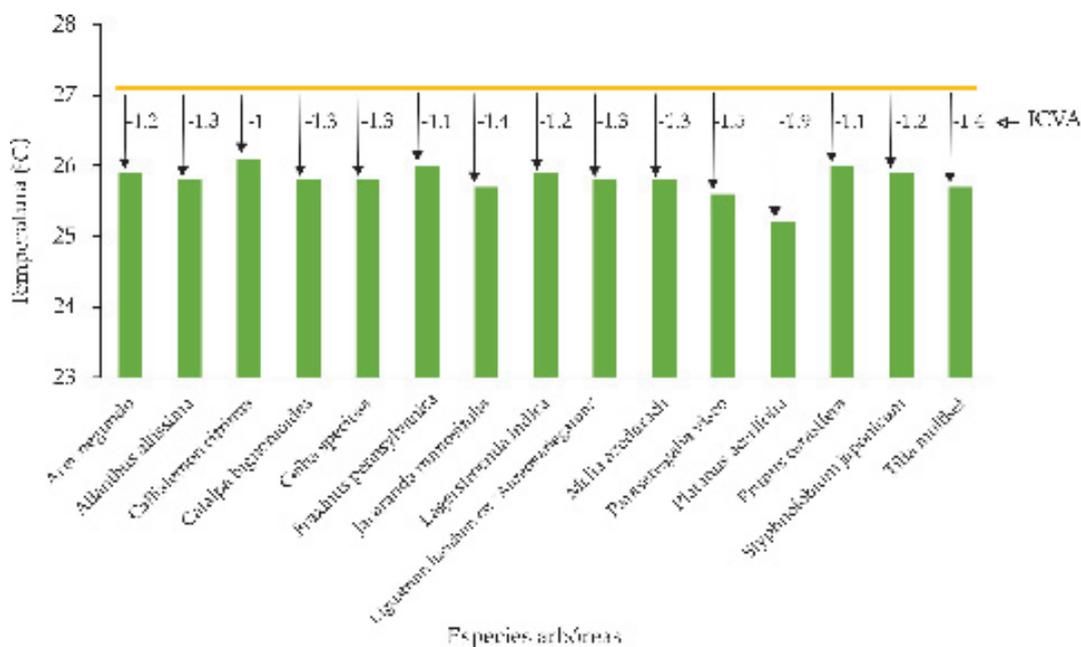


Figura 6. Temperatura efectiva del árbol (TEB) y el índice de confort de la vegetación (ICVA) de los 15 árboles.

Figure 6. Effective tree temperature (TEB) and the vegetation comfort index (ICVA) of the 15 trees.

**Tabla 1.** Altura, diámetro a la altura de pecho (DAP), temperatura bajo el árbol (TB), humedad relativa bajo el árbol (HB), temperatura efectiva bajo el árbol (TEB) e índice de confort de vegetación arbórea (ICVA) de quince individuos del arbolado viario del macrocentro de Bahía Blanca. Los valores negativos de ICVA indican una mejora en el confort térmico de la población.

**Table 1.** Height, diameter at breast height (DBH), temperature under the tree (TB), relative humidity under the tree (HB), effective temperature under the tree (TEB) and comfort index of tree vegetation (ICVA) of fifteen street trees of the downtown area of Bahía Blanca. The negative values of ICVA indicate the improvement in the thermal comfort of the population.

Especies	Altura (m)	DAP (cm)	TB (°C)	HB (%)	TEB (°C)	ICVA (°C)
<i>Acer negundo</i>	7.8	36.6	34.0	25.0	25.9	-1.2
<i>Ailanthus altissima</i>	8.5	40.1	33.9	24.4	25.8	-1.3
<i>Callistemon citrinus</i>	4.5	19.1	34.5	23.9	26.1	-1.0
<i>Catalpa bignonioides</i>	6.7	29.3	33.6	25.9	25.8	-1.3
<i>Ceiba speciosa</i>	7.0	84.7	33.9	24.3	25.8	-1.3
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	8.5	41.4	34.2	24.3	26.0	-1.1
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	7.6	34.4	33.5	25.2	25.7	-1.4
<i>Lagerstroemia indica</i>	3.0	12.4	34.1	24.5	25.9	-1.2
<i>Ligustrum lucidum</i> cv. <i>aureovariegatum</i>	4.4	15.9	33.9	24.5	25.8	-1.3
<i>Melia azedarach</i>	9.0	48.7	33.7	25.3	25.8	-1.3
<i>Parasenegalia visco</i>	11.5	47.8	33.4	24.8	25.6	-1.5
<i>Platanus acerifolia</i>	15.2	50.6	32.3	27.0	25.2	-1.9
<i>Prunus cerasifera</i>	5.6	36.3	34.4	24.0	26.0	-1.1
<i>Styphnolobium japonicum</i>	8.8	41.4	34.1	24.3	25.9	-1.2
<i>Tilia moltkei</i>	8.2	33.1	33.8	24.3	25.7	-1.4

son confortables debido a que los valores de TEB son inferiores a la Tc. Dentro de este grupo se identifican algunos que son muy confortables como *Platanus acerifolia* (-1.9 °C) y *Parasenegalia visco* (-1.5 °C), y otros que son confortables y cuyo valor está más cercano a la Tc, como —por ejemplo— *Callistemon citrinus* (-1 °C) y *Fraxinus Pennsylvanica* (-1.1 °C). En la figura 6 se muestra la TEB de cada árbol, el valor de Tc y el resultado obtenido de ICVA para cada individuo arbóreo. Según este índice, todos los árboles elegidos generan una sensación térmica agradable para los habitantes.

## DISCUSIÓN

Este artículo estudia la influencia del arbolado urbano en la mitigación de la isla de calor en la localidad de Bahía Blanca. En los últimos años, la ciudad fue reconocida en los medios masivos de comunicación del país por presentar récords de temperaturas elevadas durante esta estación térmica, que generan un desconfort térmico en la población, situación que se destaca por ser una localidad de clima templado (La Nueva 2019; La Nueva 2021). Una de las consecuencias más visible fue la suspensión de las clases a principios de marzo de 2020 (La Nueva 2020). La zona más afectada es, justamente, el macrocentro, donde hay pocos espacios verdes y, como se mencionó antes, hay varias calles sin árboles.

Esta investigación permitió cumplir el objetivo inicial, ya que se obtuvo el valor de confort térmico producido por el arbolado viario en el macrocentro de la ciudad durante la estación estival. Los ICVA obtenidos permitieron determinar que todos los individuos muestreados mejoran el confort térmico de la población, ya que los valores de este índice fueron inferiores a la temperatura de confort (27.1 °C). También se demostró que hay árboles que realizan mayores aportes en la disminución de la temperatura como *Platanus acerifolia* y *Parasenegalia visco*, que fueron los ejemplares más confortables, es decir que generan una sensación térmica más agradable según las mediciones efectuadas. En este sentido, Sanusi et al. (2017) concluyeron que de las tres especies consideradas, *Platanus acerifolia* fue la que generó beneficios microclimáticos superiores al resto. Esto se corresponde con el resultado del presente trabajo, en el que esta especie fue la que obtuvo un valor de ICVA mayor. Otros individuos también confortables fueron *Tilia moltkei* y *Jacaranda mimosifolia*. Los que tuvieron menor influencia fueron *Callistemon citrinus* y *Fraxinus pennsylvanica*.

Por otra parte, se determinó que existen dos variables del árbol que son relevantes al considerar en este tipo de análisis: la altura y la cobertura de su follaje. Rojas Cortorreal (2016) y Karimi et al. (2020) destacan estas características en sus investigaciones. En

este trabajo, se observó que los árboles más confortables fueron aquellos con mayor porte (de primera y segunda magnitud) y cuyas copas eran de semiabiertas a cerradas y extendidas. Esto último permite que la sombra proyectada por el árbol sea mayor y que las personas que pasan por debajo tengan una sensación de mayor frescura durante el verano. Los árboles de magnitud tres (<10 m) también son importantes, ya que generan sombra, aunque en menor medida. Estos últimos obtuvieron un ICVA bajo en relación con los demás árboles debido a su menor altura y a su copa, que era semicerrada a abierta; por lo tanto se corresponde con lo expuesto por estos autores.

En posteriores investigaciones se buscará profundizar en la influencia que cada especie posee sobre las condiciones microclimáticas (Abreu-Harbach et al. 2015; Mohammad et al. 2020); principalmente, conocer si las especies de origen nativo son más o menos confortables que las exóticas. También se buscará analizar las posibles diferencias de temperatura que existen en verano bajo árboles con un estado físico y fitosanitario adecuado, en relación con aquellos con estados regulares o malos. La continuidad de este tipo de trabajos contribuiría a la toma de decisiones por parte de los organismos públicos para construir ciudades más sostenibles y más verdes. Como bien mencionan Meili et al. (2021), 'el aumento de la cubierta de árboles urbanos es una estrategia de mitigación propuesta a menudo contra el calor urbano'. Esta situación se pudo visualizar en el área del macrocentro de la ciudad de Bahía Blanca.

Los resultados aquí presentados dan cuenta de la relevancia de los árboles sobre la regulación de la temperatura del aire y el confort de la población. También se alerta sobre la importancia de realizar un inventario y un diagnóstico detallado del arbolado viario para reconocer su estado físico y fitosanitario. Sobre la base del análisis hecho, y considerando las propuestas a nivel mundial sobre ciudades verdes y sostenibles (Díaz Arellano 2019; Girola Gómez 2020), se establecen algunas recomendaciones para mejorar la funcionalidad del arbolado viario en el macrocentro de la ciudad.

1) Incorporar mayor cantidad de árboles en las veredas. Como bien se mencionó, existen 26 calles sin árboles. En el mapa de cantidad de árboles por manzana se identificaron aquellas en las cuales se debería hacer una mayor intervención. La mayoría de estas veredas

coinciden con un uso de suelo comercial y, por lo tanto, para los comerciantes, el árbol genera inconvenientes para la visualización de sus vidrieras, mientras que para los locales gastronómicos reduce el número de mesas que se pueden colocar en la vereda.

2) Seleccionar especies nativas para reemplazar ejemplares arbóreos en malas condiciones fitosanitarias. Si bien las especies exóticas contribuyen a incrementar la biodiversidad (Ortiz and Luna 2019), en el macrocentro se observa un predominio de éstas por sobre las nativas. Si bien en los últimos años se plantó una mayor cantidad de árboles nativos (principalmente originarios del norte argentino, no de la región de estudio), no en todos los casos fueron correctamente seleccionados y colocados según el ancho de la vereda. Un ejemplo es *Jacaranda mimosifolia* (La Nueva 2016), que no es una especie conveniente para veredas angostas y en espacios con mucha circulación del viento. Además, su tronco debe estar direccionado durante su crecimiento debido a que tiende a inclinarse hacia la luz y por efecto del viento.

3) Incorporar mayor cantidad de árboles que sean de magnitud dos y uno, siempre y cuando el ancho de la vereda lo permita (Fernández and Gentili 2021) y esté acorde con la Ordenanza Municipal 19852/2019 (modificación de la Ordenanza 15523/2010). Los árboles con una altura de entre 10 y 15 m (segunda magnitud) y superiores a 15 m (primera magnitud) deben ser colocados en veredas con un ancho de entre 2 y 3.5 m, y mayores o iguales a 3.5 m, respectivamente (Ordenanza Municipal 19852/2019). En este sentido, Fernández and Gentili (2021) midieron y clasificaron las calles del macrocentro en función del ancho de vereda antes mencionado. Por lo tanto, existe una base de datos de consulta a considerar en las próximas plantaciones de árboles.

4) Se debe consultar el Plan Director del Arbolado Urbano de la localidad para colocar árboles según el ancho de las veredas. Sobre todo, en espacios del macrocentro donde el encargado del reemplazo o incorporación de árboles es el municipio. Un ejemplo contrario a ello es la semipeatonal de calle Alsina, que fue remodelada en el año 2018 (La Nueva 2018) y en la cual se colocaron árboles de tercera magnitud (*Lagerstroemia indica*). Según Fernández and Gentili (2021), el ancho de vereda de estas calles es superior a 3.5 m y no existen cables que interfieran con la

copa de los árboles. Entonces, se recomienda, en virtud de la ordenanza y de este Plan Director, colocar árboles de mayor porte, ya que permiten multiplicar los servicios ecosistémicos brindados.

5) Promover la plantación de árboles en recintos vacíos y proponer la realización de veredas que sean ecológicas o ajardinadas (i.e., mitad baldosas y mitad césped). Hay algunos casos de este tipo de veredas en el macrocentro. De esta forma se contribuye con la infiltración y se evita el levantamiento de veredas. En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires hubo un proyecto de ley vinculado a esta temática (Bodart 2014).

6) Realizar un mantenimiento del arbolado viario. Se observó que es necesario un mantenimiento periódico del arbolado en este sector de la ciudad con reemplazo o reposición de ejemplares en mal estado, colocar árboles en los recintos vacíos y realizar un seguimiento de los árboles que podrían ser peligrosos. Entre los problemas se visualizaron podas

mal efectuadas, troncos ahuecados, ramas secas, recintos con dos árboles e inclinación de los ejemplares. Se debe considerar que, como parte de la infraestructura verde, debe existir una inversión, un mantenimiento y un seguimiento de cada ejemplar. De esta forma, los árboles en buenas condiciones fitosanitarias pueden generar mayores beneficios ambientales.

AGRADECIMIENTOS. Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación "Geografía Física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diferentes escalas témporo-espaciales" (24/G092). Este es dirigido por la Dra. Verónica Gil y se encuentra subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur. También agradecer el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Agradecemos también a los evaluadores y editores de la Revista Ecología Austral por los aportes realizados en la mejora del artículo para su publicación.

## REFERENCIAS

- Abreu-Harbicha, L. V., L. C. Labakia, and A. Matzarakisb. 2015. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning* 138:99-109. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008>.
- Aliaga, V., F. Ferrelli, and C. Piccolo. 2017. Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology* 37:1237-1247. <https://doi.org/10.1002/joc.5079>.
- Alves, E., and A. Lopes. 2017. The Urban Heat Island Effect and the Role of Vegetation to Address the Negative Impacts of Local Climate Changes in a Small Brazilian City. *Atmosphere* 8:1-14. <https://doi.org/10.3390/atmos8020018>.
- Benedetti, G., and A. Campo. 2007. Arbolado de alineación: el mapa verde de un barrio en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Papeles de Geografía* 45-46:27-38. URL: [tinyurl.com/3j3ay5x5](http://tinyurl.com/3j3ay5x5).
- Benedetti, G., A. Campo, and L. Horvath. 2014. Arbolado público en el Barrio Pacífico, ciudad de Bahía Blanca: aportes para la gestión. *Párrafos Geográficos* 13:28-55. URL: [tinyurl.com/mrpj2bex](http://tinyurl.com/mrpj2bex).
- Bodart, A. 2014. Proyecto de Ley. Plan de veredas verdes. URL: [tinyurl.com/yfca4cb5](http://tinyurl.com/yfca4cb5).
- Borelli, S., M. Conigliaro, and F. Pineda. 2018. Los bosques urbanos en el contexto global. *Unasylva* 69:3-10. URL: [fao.org/3/I8707ES/i8707es.pdf](http://fao.org/3/I8707ES/i8707es.pdf).
- Calaza Martínez, P. 2019. Guía de la infraestructura verde municipal. URL: [tinyurl.com/yhma4ua4](http://tinyurl.com/yhma4ua4).
- Capelli de Steffens, A., M. C. Piccolo, I. Ferrera, and A. Campo. 1986. Influencia de los árboles en el clima de la ciudad. *Revista Universitaria de Geografía* 2:39-54.
- Cappelli de Steffens, A. M., M. C. Piccolo, and A. M. Campo. 2005. Clima urbano de Bahía Blanca. *Dunken*. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
- Cárdenas Loo, V. E. 2019. Arbolado urbano como estrategia para mejorar el confort térmico y la movilidad urbana, frente al Cambio Climático para la ciudad de Portoviejo, Provincia de Manabí-Ecuador. Tesis de especialización. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO. Quito, Ecuador. Pp. 98.
- Colunga, M. L., H. Cambrón-Sandoval, H. Suzán-Azpiri, A. Guevara-Escobar, and H. Luna-Soria. 2017. The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera* 28:205-218. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.05>.
- Coutts, A. M., E. White, J. Beringer, and J. Livesley. 2015. Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theoretical and Applied Climatology* 124:55-68. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1409-y>.
- Díaz Arellano, G. 2019. Singapur: la apuesta sustentable. Pp. 133-143 *en* S. Padilla Galicia and V. Fuentes Freixanet (comps.). *Hábitat sustentable III*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México.
- Duval, V. S., G. M. Benedetti, and K. Baudis. 2020. El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geográficas* 73:171-188. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.DBB>.

- Fernández, M. E., and J. O. Gentili. 2021. Radiación solar y planeamiento urbano: factores e interacciones en Bahía Blanca, Argentina. *Revista de Urbanismo* 45:46-66. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2021.58824>.
- Ferrelli, F., A. J. Vitale, and M. C. Piccolo. 2018. Microclima Urbano: variaciones Termo-Higrométricas de Bahía Blanca, Argentina. *Anuário do Instituto de Geociências* 41(1):283-295. [https://doi.org/10.11137/2018\\_1\\_283\\_295](https://doi.org/10.11137/2018_1_283_295).
- Giobellina, B., S. Medina, S. Pomazán, and C. Sánchez Gavier. 2020. Infraestructuras verdes: desde el territorio a la cubierta habitable. Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba. Ciudad de Córdoba, Córdoba, Argentina. Pp. 196.
- Girola Gómez, F. 2020. Procesos de transformación urbana sostenible, resiliente y predictiva de Vitoria-Gasteiz, País Vasco. Tesis de maestría. Escola Superior Gallaecia, Vila Nova de Cerveira, Portugal. Pp. 356.
- Gómez Lopera, F. 2005. Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales (CyTET)* 37(144):417-436.
- Jiménez González, O. 2008. Índice de confort de la vegetación. *Revista Nodo* 3:49-70. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i28.268>.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2010. Encuesta Permanente de Hogares - EPH Continua [Base de datos en línea]. URL: [tinyurl.com/INDECCenso2010](http://tinyurl.com/INDECCenso2010).
- Humphreys, M. A., and F. Nicol. 2002. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and Buildings* 34:667-684. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00018-X).
- Inostroza, L., H. Garay Sarasti, and G. Andrade Pérez. 2020. Servicios ecosistémicos urbanos en Latinoamérica, oportunidades para el desarrollo urbano sostenible, la acción climática y la gestión de la biodiversidad urbana. *Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe* 4:1-25.
- Karimi, A., H. Sanaieian, H. Farhadi, and S. Norouzian-Maleki. 2020. Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park. *Energy Reports* 6:1670-1684. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.06.015>.
- Kurbán, A., A. Papparelli, M. Cúnsulo, E. Montilla, and E. Ríos. 2007. Espacios verdes y temperatura urbana en ecosistemas áridos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 11:09-15.
- La Nueva (21 de noviembre de 2016). Los jacarandás, un serio error del arbolado público. URL: [tinyurl.com/2p8pv2bs](http://tinyurl.com/2p8pv2bs).
- La Nueva (1 de octubre de 2018). En fotos y video: así quedó la semipeatonal de Alsina tras su habilitación. URL: [tinyurl.com/2p9a9y7f](http://tinyurl.com/2p9a9y7f).
- La Nueva (23 de noviembre de 2019). Bahía: una ciudad más caliente que nunca. Acceso online junio 2021. URL: [tinyurl.com/yc5d96cw](http://tinyurl.com/yc5d96cw).
- La Nueva (3 de marzo de 2020). Por la ola de calor suspenden las clases en varias escuelas de Bahía Blanca. URL: [tinyurl.com/muznhh3w](http://tinyurl.com/muznhh3w).
- La Nueva (7 de febrero de 2021). Lo que mata es el calor: ¿Por qué Bahía Blanca fue récord nacional?. Acceso online junio 2021. URL: [tinyurl.com/568fy6ur](http://tinyurl.com/568fy6ur).
- Meili, N., G. Manoli, P. Burlando, J. Carmeliet, W. Chow, A. Coutts, M. Roth, E. Velasco, E. Vivoni, and S. Faticchi. 2021. Tree effects on urban microclimate: Diurnal, seasonal, and climatic temperature differences explained by separating radiation, evapotranspiration, and roughness effects. *Urban Forestry and Urban Greening* 58:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126970>.
- Mohammad, A. R., C. Hartmann, M. Freifrau von Strachwitz, H. Paeth, H. Pretzsch, S. Pauleit, and T. Rötzer. 2020. Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites. *Agricultural and Forest Meteorology* 287:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107947>.
- Monteiro, M. V., P. Handley, J. I. L. Morison, and K. J. Doick. 2019. The role of urban trees and greenspaces in reducing urban air temperatures. United Kingdom: Forestry Commission.
- Nowak, D., and J. F. Dwyer. 2010. Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems Pp. 25-46 *en* E. J. Kuser (ed.). *Urban and Community Forestry in the Northeast*. Springer, Boston, USA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8_2).
- Oke, T., G. Mills, A. Christen, and J. A. Voogt. 2017. *Urban Climates*. United Kingdom: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.
- ONU. 2015. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas. Buenos Aires, Argentina.
- Ordenanza 19852. 2019. Modificando Ordenanza 15.523 y sus Modificatorias Regulatoria del Arbolado Urbano y Espacios Verdes del Partido de Bahía Blanca. URL: [tinyurl.com/bddxbzfd](http://tinyurl.com/bddxbzfd).
- Orjuela González, L. 2007. Inventario, diagnóstico fitosanitario y plan de manejo de los árboles ornamentales en los espacios públicos del municipio de Betania. Corporación autónoma regional del centro de Antioquia (Corantioquia). Medellín, Colombia.
- Ortiz, N. L., and C. V. Luna. 2019. Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la ciudad de Resistencia, Chaco-Argentina. *Agronomía and Ambiente* 39(29):54-68.
- Rojas Cortoreal, G. 2016. Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano. Caso de estudio Barcelona, España y Santo Domingo, República Dominicana. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. Pp. 210.

- Rötzer, T., A. Moser-Reischl, M. A. Rahman, R. Grote, S. Pauleit, and H. Pretzsch. 2020. Modelling Urban Tree Growth and Ecosystem Services: Review and Perspectives. *Progress in Botany* 82:1-60. [https://doi.org/10.1007/124\\_2020\\_46](https://doi.org/10.1007/124_2020_46).
- Salbitano, F., S. Borelli, M. Conigliaro, and Y. Chen. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia.
- Sanhueza, C., P. Germain, G. Zapperi, Y. Cuevas, M. Damiani, M. J. Piovan, R. Tizón, and A. Loydi. 2016. Plantas nativas de Bahía Blanca y alrededores: descubriendo su historia, belleza y magia. 2da. Edición. Tellus, Bahía Blanca, Argentina.
- Sanusi, R., D. Johnstonea, P. M. Stephen, and J. Livesleya. 2017. Microclimate benefits that different street tree species provide to sidewalk pedestrians relate to differences in Plant Area Index. *Landscape and Urban Planning* 157:502-511. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.010>.
- Santé, I., A. M. García, and P. Calaza Martínez. 2020. La evaluación de servicios ecosistémicos como base para la planificación de la infraestructura verde. *Revista Montes* 140:61-64.
- Stewart, I. D., and T. R. Oke. 2012. Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin American Meteorological Society* 93:1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.
- Therán Nieto, K., L. Rodríguez Potes, S. Mouthon Celedon, and J. Manjarres De León. 2019. Microclima y confort térmico. *Módulo Arquitectura* 23:49-88. <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04>.
- USDA Forest Service. 2006. URL: [canopy.itreetools.org](http://canopy.itreetools.org).
- Takács, Á., M. Kiss, A. Hof, E. Tanács, A. Gulyása, and N. Kántora. 2016. Microclimate Modification by Urban Shade Trees. An Integrated Approach to Aid Ecosystem Service Based Decision-making. *Procedia Environmental Sciences* 32:97-109. <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.015>.
- Tumini, I. 2012. El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Pp. 385.
- Vázquez, J., S. E. Omelianiuk, B. Jones, and S. Manrique. 2016. Vegetación y confort en espacios públicos urbanos. Análisis comparativo de plazas de la ciudad de Rosario. *Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Zapperi, P., and A. M. Campo. 2011. Efectos de precipitaciones intensas y su relación con las características geomorfológicas en Bahía Blanca. *Párrafos Geográficos* 10:593-614.