Nº 73, enero-junio de 2020, pp. 171-188.
ISSN: 0213-4691. eISSN: 1989-9890.
DOI: 10.14198/INGEO2020.DBB

Investigaciones Geográficas
Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

Cita bibliográfica: Duval, V.S., Benedetti, G.M., & Baudis, K. (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

El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina

The impact of street trees on the urban microclimate. Bahía Blanca, Argentina

Valeria Soledad Duval[1*]
Graciela María Benedetti[2]
Katherine Baudis[3]

Resumen

El conocimiento de la dinámica del sistema ambiental urbano es esencial para diseñar estrategias de planificación y gestión que permitan una mejor urbanística. El arbolado viario forma parte de la infraestructura verde y brinda múltiples beneficios sociales y ambientales a los ciudadanos. Entre ellos, contribuye al mejoramiento del confort térmico humano. La vegetación modifica el clima local ya que regula la temperatura y la humedad relativa generando un microclima. Por tal motivo, el objetivo del trabajo fue analizar la influencia del arbolado de alineación sobre el microclima de la localidad de Bahía Blanca, Argentina. Para ello, se midió la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento debajo del árbol y fuera de su copa. Estas mediciones se realizaron considerando especies con estructuras de copa distintas. Los datos se registraron durante la mañana, el mediodía y la tarde en dos días típicos de verano. Se seleccionaron calles con distinta orientación en cuatro barrios con tipologías diferentes. El análisis demostró que la temperatura debajo del árbol fue menor en relación con la del exterior, siendo más visible entre las 12 h y 15 h. La humedad relativa fue superior debajo del árbol principalmente durante la mañana y la velocidad del viento fue en general inferior bajo el árbol. Esta investigación contribuye a revalorizar los beneficios generados por el arbolado en las ciudades desde el aspecto climático.

Palabras clave: arbolado urbano; microclima; infraestructura verde; servicios ambientales; Bahía Blanca.

Abstract

A knowledge of the dynamic urban environmental system is essential when designing planning and management strategies that enable better urban planning. Street trees are part of the green infrastructure and provide multiple social and environmental benefits to citizens. In summertime, when the highest temperatures are recorded, trees contribute to improving human thermal comfort. Vegetation modifies the local climate because it regulates temperature and relative humidity by generating a microclimate. The purpose of this paper is to analyse the influence of street trees on the microclimate of the city of Bahía Blanca in Argentina. To evaluate the microclimate, air temperature, relative humidity, and wind speed were measured under the trees and away from the trees. Measurements were made considering three trees species with different crown structures. Data were recorded in the morning, noon, and afternoon on two

1 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. CONICET. Argentina. valeria.duval@uns.edu.ar. * Autora para correspondencia.
2 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Argentina. gbenedet@criba.edu.ar
3 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. CIN. Argentina. katherine.baudis@uns.edu.ar

Recepción: 04/11/2019. **Aceptación:** 08/04/2020. **Publicación:** 23/06/2020 (***in press***: 18/05/2020).

Este trabajo se publica bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.

typical summer days. Four neighbourhoods with different building typologies were selected. The streets selected had different orientations: north-south and west-east. Data analysis showed that the temperature under the trees was lower than further away from the trees. This situation was most visible between 12 noon and 3 pm. and wind speed was lower under the trees since they act as obstacles. This research evaluates the climatic benefits generated by trees in cities.

Keywords: urban tree; microclimate; green infrastructure; environmental services; Bahía Blanca.

1. Introducción

El arbolado es un elemento de vital interés que ofrece numerosos servicios ambientales y genera beneficios para los habitantes (Benedetti, Campo y Horvath, 2014). Su presencia ayuda a mejorar las condiciones de vida física, psíquica y estética de la población y desde el aspecto económico, contribuye a aumentar el valor de las propiedades (Calaza e Iglesias, 2016). Los espacios arbolados confieren identidad, estructura y significado a la ciudad. Por otra parte, según Ochoa (1999), la vegetación en las ciudades provee numerosas funciones ecológicas como por ejemplo, el arbolado de alineación que reduce los ruidos y favorece la captación de agua. Además es indispensable para el incremento de la sostenibilidad y funciona como lugar de asentamiento y descanso de muchas especies de aves e insectos (Grau y Kortsarz, 2012).

La influencia de la vegetación sobre el clima se manifiesta en diversas escalas, principalmente en la micro escala local (Silva, 2009). Esta es definida como la menor escala de estudio en la que se puede analizar el clima urbano, pudiendo variar desde unos pocos metros hasta 10 km (Andrade, 2010). Entre las variables microclimáticas del entorno, la temperatura y la humedad relativa del aire son las que ejercen mayor influencia (Martini, Biondi y Batista, 2017). Las áreas verdes urbanas son fundamentales en la regulación del microclima ya que mejoran la calidad del aire, reducen la evaporación y disminuyen las aportaciones térmicas al interceptar la radiación solar y proporcionar sombra (Adams y Smith, 2014). Es por ello que la calidad de vida de una zona urbana depende en gran parte del mantenimiento de los espacios verdes inmersos en el medio urbano.

Varios autores trabajaron en la relación microclima-vegetación. Por ejemplo, Ochoa (1999) evaluó la función de la vegetación en el microclima urbano y diseñó herramientas para su aprovechamiento. Mascaró, Mascaró, Martins y Wessheimer (2001) estudiaron el uso ambiental del arbolado urbano a través de los efectos de su sombra y de la evapotranspiración e hicieron hincapié en la temperatura y humedad relativa del aire y en la ventilación e iluminación de los recintos urbanos de los edificios que los delimitan. Rojas, Roset y Navés (2015) analizaron la calidad del microclima urbano en relación a la disminución de la cantidad de aportaciones térmicas por la vegetación, discriminado por especie.

En Argentina, Kurbán, Papparelli, Cúnsulo, Montilla y Ríos (2007) realizaron un trabajo sobre los espacios verdes y la temperatura en ecosistemas áridos de San Juan. En éste se cuantificó el alcance y la intensidad del efecto higrotérmico de los espacios verdes en el clima urbano a través de mediciones climáticas. Esto permitió obtener isotermas de cada espacio verde y relacionar los índices arbóreos con los valores climáticos. Por otro lado, Kurbán y Grasso (2016) expresaron que la vegetación tiene diversos efectos en el microclima urbano. Dentro de ellos se encuentran las variaciones en la incidencia de la radiación solar y la velocidad y dirección del viento que puede estar influida por la densidad de la vegetación.

Bahía Blanca presenta numerosas dificultades en relación al arbolado urbano. En los últimos años se han detectado problemáticas como la falta de mantenimiento, la reducción en el presupuesto para nuevos ejemplares y la ausencia de una política integral de gestión (Minervino, 2018; Minervino, 2019; Moreno, 2019). Desde el punto de vista académico se han realizado inventarios del arbolado de alineación en distintos barrios de la ciudad (Benedetti y Campo, 2007; Benedetti *et al.*, 2014) donde se aplicó la metodología del censo verde para caracterizar el arbolado y establecer medidas de gestión. Este consiste en inventariar las especies del arbolado de vereda recopilando los siguientes datos: su nombre, altura, superficie de la copa, el diámetro a la altura de la copa (DAP), estado fitosanitario, etc. Por otro lado, Capelli, Piccolo, Ferrera y Campo (1986) estudiaron el clima local y el estado de la cobertura arbórea relacionando las oscilaciones térmicas diarias con la densidad del follaje. Si bien esta investigación contribuyó a comprender la influencia de la vegetación en las condiciones microclimáticas, la información está desactualizada y solo se tuvo en consideración el centro urbano como área de estudio.

Por otra parte es clave conocer los beneficios del arbolado urbano en localidades intermedias que registran temperaturas muy elevadas (superiores a 35 ºC) durante el verano (La brújula, 2020; La Nueva,

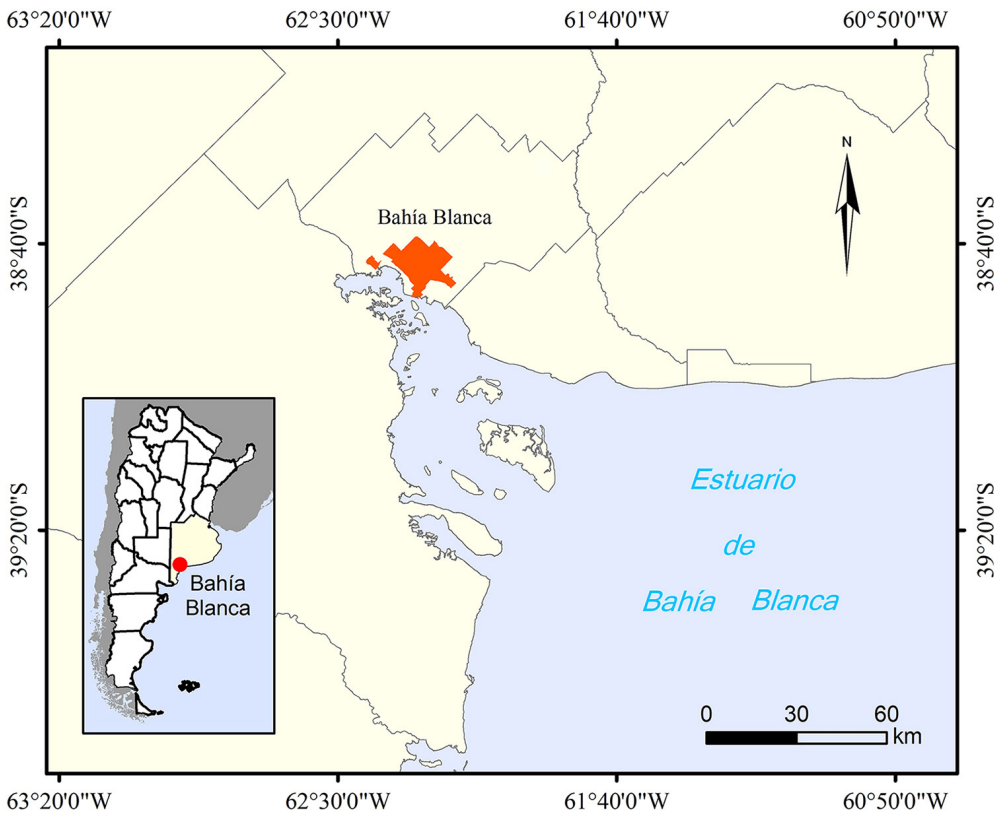
2020). De esta forma resulta relevante establecer medidas de mitigación para mejorar las condiciones de confort de las personas. Considerando los problemas detectados y los beneficios en el confort térmico que implica la presencia de los árboles en las ciudades, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar la influencia del arbolado en el microclima urbano de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). Esta investigación es un aporte fundamental ya que integra el estudio de variables climáticas a nivel microlocal en sectores construidos con diferente morfología y el papel de la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana. Como finalidad se busca revalorizar los beneficios del arbolado de alineación en la vida de las personas.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

La ciudad de Bahía Blanca está ubicada al suroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), en el partido homónimo (Figura 1). Se sitúa además a 5 km del estuario de Bahía Blanca, que es un ambiente marino costero que posee una superficie de aproximadamente 3000 km^2 (Abasto *et al.*, 2019). Es una localidad intermedia con una población de 301.531 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2010).

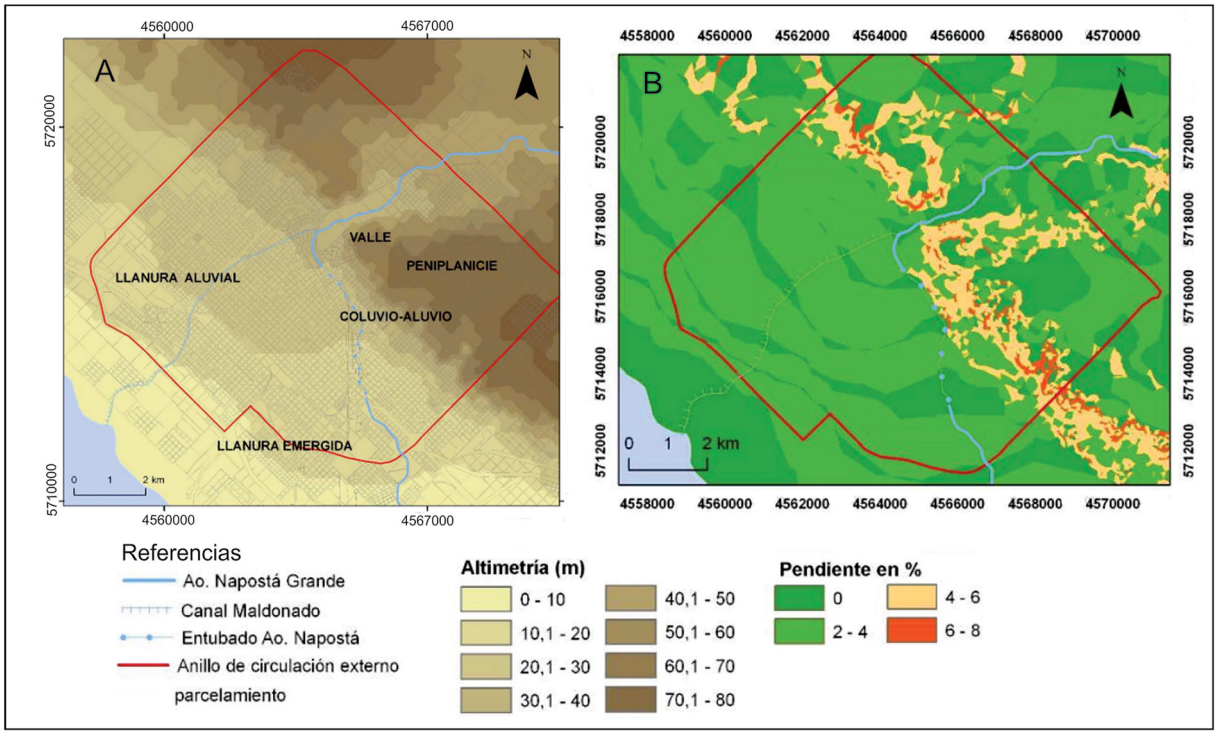
Figura 1. Localización de Bahía Blanca, Argentina



Elaboración propia

Geomorfológicamente, la ciudad posee tres unidades: la peneplanicie pedemontana que se extiende al noroeste y está compuesta por depósitos de tosca, la llanura aluvial ubicada en el sector este y los conos coluviales originados por el movimiento en masa sobre la pendiente y la llanura emergida, donde se ubica la planicie aluvial del Arroyo Napostá por debajo de los 20 m s.n.m (Zapperi y Campo, 2011). Los valores altimétricos de la ciudad oscilan entre los 8 y los 74 m s.n.m, disminuyendo en sentido norte-sur. Su relieve es aterrazado hacia el norte-noreste, con sectores bajos y anegados al sur. Las mayores pendientes se identifican en el área coluvio-aluvial y las menores en el sector de la llanura emergida (Zapperi y Campo, 2011). En la Figura 2 se muestra el mapa con las unidades geomorfológicas y de pendiente de la localidad.

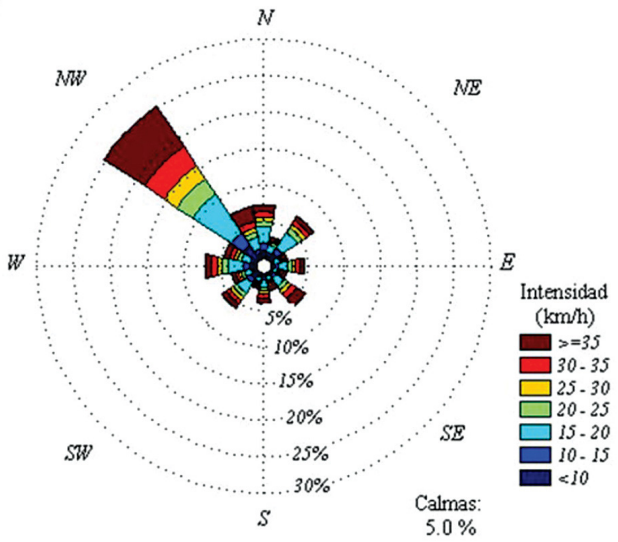
Figura 2. Mapa de unidades geomorfológicas (A) y de pendiente (B) de la ciudad de Bahía Blanca



Fuente: Zapperi y Campo, 2011

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, Ferrelli y Piccolo, 2017). La temperatura media anual para el período 1981-2010 fue de 15,3 ºC y la precipitación media anual fue de 650,9 mm presentando una alta variación anual con mayor cantidad de lluvias a fines de la primavera y principios del verano (Servicio Meteorológico Nacional, 2020). Los vientos son moderados y predominan desde el sector Noroeste y Oeste, con una velocidad media de 20 km/h (Campo, Fernández y Gentili, 2017). En la Figura 3 se muestra la rosa de los vientos de la ciudad del período 1991-2013.

Figura 3. Rosa de los vientos de Bahía Blanca del período 1991-2013.

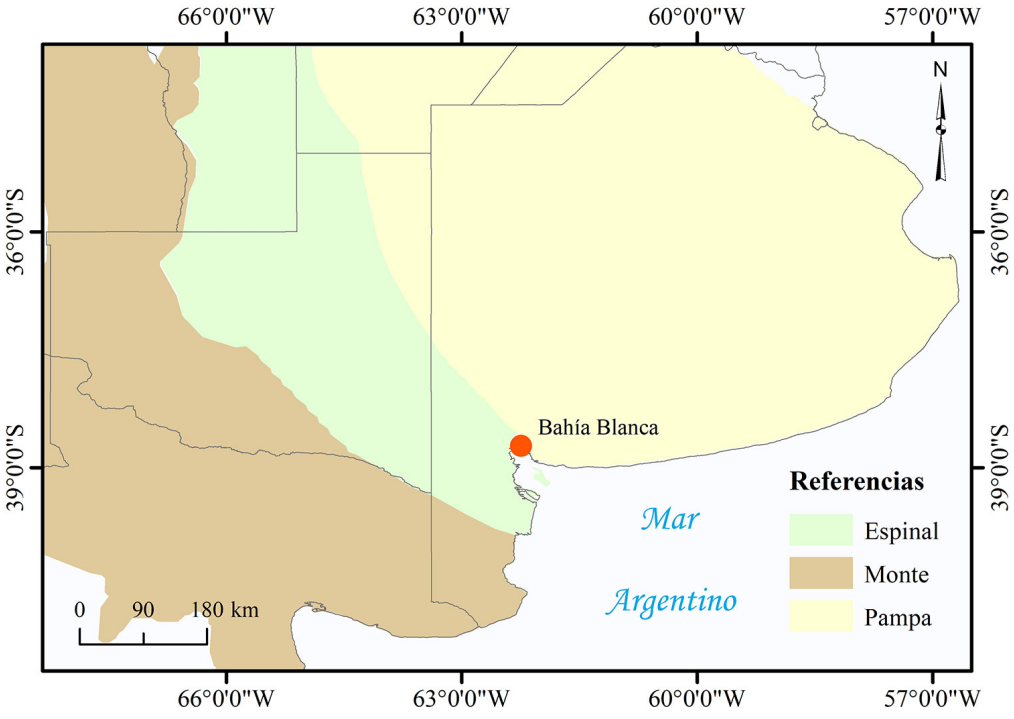


Fuente: Martin, Serio, Pescio y Dragani, 2016

Por otra parte, la localidad está inserta en la llanura pampeana y está representada por tres provincias fitogeográficas: Pampa, Espinal y en menor medida el Monte (Cabrera, 1976). La provincia Pampa está compuesta por un pastizal de gramíneas cuya forma de vida dominante es la herbácea, el Espinal por árboles xerófitos del género *Prosopis* y el Monte es una formación arbustiva cuyo género representante es *Larrea* (Petagna de del Río, s.f.). El paisaje vegetal natural se transformó y fue reemplazado por especies exóticas. Solo en algunos sectores de la ciudad se reconocen pequeños relictos de vegetación nativa. En consecuencia, los árboles y arbustos que se distribuyen en el medio urbano son ejemplares plantados por la sociedad (Benedetti y Campo, 2007). Algunas de estas especies incluso son invasoras como *Ailanthus altissima, Gleditsia triacanthos, Ligustrum lucidum, Melia azedarach* y *Robinia pseudoacacia var. umbraculifera* (Matthews, 2005).

Fueron seleccionados cuatro barrios de la ciudad para el cumplimiento del objetivo: Pacífico, Villa Miramar, Anchorena y Parque Patagonia (Figura 5). Esta elección se realizó considerando la diferencia de la morfología edilicia entre los sectores y de su cobertura vegetal. Las tipologías de construcción fueron identificadas a partir de la clasificación de Zona Climática Local (ZCL) de Stewart y Oke (2012). Cada barrio presenta una tipología distinta por lo cual se estima que podría influir en las condiciones microclimáticas. Esto se debe a que cada material (por ejemplo pavimento, tierra, hormigón, ladrillo) presenta un comportamiento térmico-ambiental diferente al otro (Correa, Larsen y Lesino, 2003). La radiación solar que incide en los materiales es absorbida o reflejada de una forma singular por cada uno de ellos. Las superficies como el pavimento poseen un bajo porcentaje de reflectancia y una elevada absorción de radicación solar durante el día que posteriormente liberan a la atmósfera incrementando la temperatura del aire (Grau y López, 2018).

Figura 4. Provincias fitogeográficas del sur de la provincia de Buenos Aires

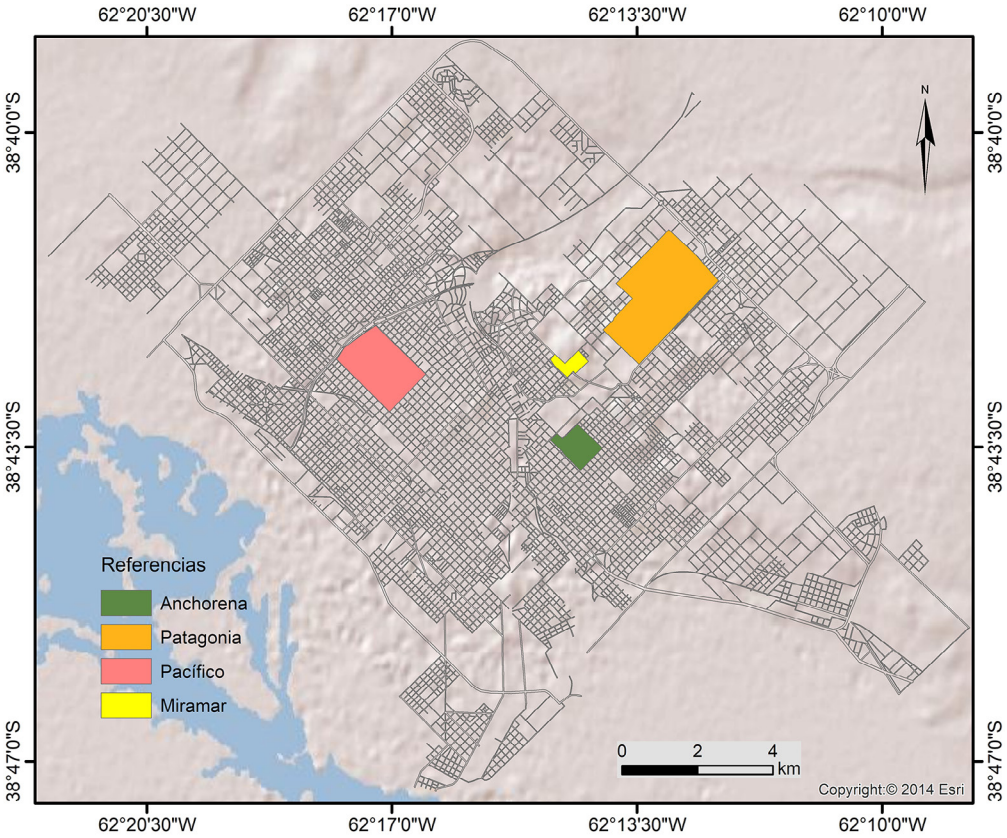


Elaboración propia

El barrio Pacífico se localiza en el noroeste y está delimitado por las calles 9 de Julio, Juan Molina, Estomba y la Avenida Buenos Aires. En sus inicios este sector fue ocupado por inmigrantes italianos y españoles quienes plantaban árboles propios de su cultura mediterránea como el olivo (*Olea europea*) (Benedetti *et al.*, 2014). Por otra parte, Villa Miramar es un barrio marginal ubicado en el noreste de la ciudad y comprendido entre las calles Ricardo Rojas, Pasteur y Laudelino Cruz hasta Fragata Sarmiento. En la década de 1970 comenzó como un espacio de crecimiento espontáneo en cercanías del Parque Campaña del Desierto aunque recién en 1991 se regularizó la posesión de las tierras a través de la entrega

de certificados precarios de tenencia por parte de la municipalidad. Actualmente continúan reclamando por la situación de precariedad y por la búsqueda de consolidación del barrio (Urriza, 2016). Anchorena está localizado al este de la ciudad y está delimitado por las calles Matheu, Sócrates, Agustín de Arrieta, Balboa, 14 de Julio y la Avenida Láinez. Posee aproximadamente tres mil personas (INDEC, 2010) y se caracteriza por la presencia de viviendas de clase media y alta. Su origen está relacionado con una de las familias más ricas y tradicionales de Argentina (Uriburu), quienes solicitaron el loteo y remate de sus tierras. El barrio Parque Patagonia se encuentra en el noreste, entre las calles Ramón y Cajal, Pilmaiquen, 14 de Julio, Salliqueló, Tres Sargentos y Rufino Luro Cambaceres. Este sector fue subdividido en lotes y subastado en 1951. Es un barrio parque, un tipo de nomenclatura residencial compuesta por viviendas unifamiliares de baja densidad. Esta caracterizado por poseer amplias zonas de espacios verdes y gran riqueza en el arbolado de las calles (Urriza y Garriz, 2014). Los ejemplares poseen más de 40 años de antigüedad y la familia predominante es la Cupresaceae.

Figura 5. Localización de los barrios seleccionados en Bahía Blanca



Elaboración propia

2.2. Materiales y métodos

Para el análisis microclimático, en primer lugar se caracterizó a nivel local la variación espacial de la temperatura del aire y de la humedad relativa en Bahía Blanca. En segundo lugar, para cuantificar la incidencia de los árboles de alineación de la ciudad en las variables climáticas, se midieron la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento debajo de la copa del árbol y en el exterior y se hicieron las medias aritméticas de los valores. La medición del exterior se realizó en el centro de la calle, es decir en un área alejada de la influencia del arbolado y de las viviendas. Se identificaron especies arbóreas representativas en cada barrio sobre la base de censos urbanos previos (Benedetti, 2003; Benedetti y Campo, 2007; Benedetti y Duval, 2012; Benedetti *et al.*, 2014) para conocer si existe una influencia de la estructura del árbol en los datos climáticos registrados. Para el caso del barrio Anchorena, se utilizaron los datos obtenidos de la aplicación "Bahía Arbolado" (https://www.bahia.gob.ar/arbolado/censo) perteneciente a la Dirección General de Aéreas Públicas y de la Secretaría de Modernización y Gobierno Abierto de la

Municipalidad de Bahía Blanca. Por otra parte, en cada barrio se eligieron dos calles con orientación norte-sur y este-oeste. La finalidad de esta selección fue analizar la diferencia de los elementos climáticos en áreas con distinta orientación solar. El instrumental utilizado para estas mediciones fue el DAVM+ (*Digital Air Flow/ Volume Meter*) Supco que se dispuso a una altura de 1 m sobre el nivel de la calle. Los valores fueron registrados en forma simultánea, durante dos días típicos de verano (21 y 23 de febrero de 2019), en cuatro horarios del día: a las 9 h, 12 h, 15 h y 18 h. Los días típicos de verano se caracterizan por ser cálidos, secos, con vientos provenientes del Norte y Noroeste y con abundante polvo en suspensión (Cappelli, Piccolo y Campo, 2005). En cada calle se consideraron tres puntos de medición que referían a árboles con estructura de copa distinta (abierta, semiabierta y cerrada). Los datos obtenidos en campo fueron procesados y analizados para realizar una descripción del comportamiento de los elementos climáticos tomados. Con esta información se realizaron gráficos y se compararon los resultados de cada barrio.

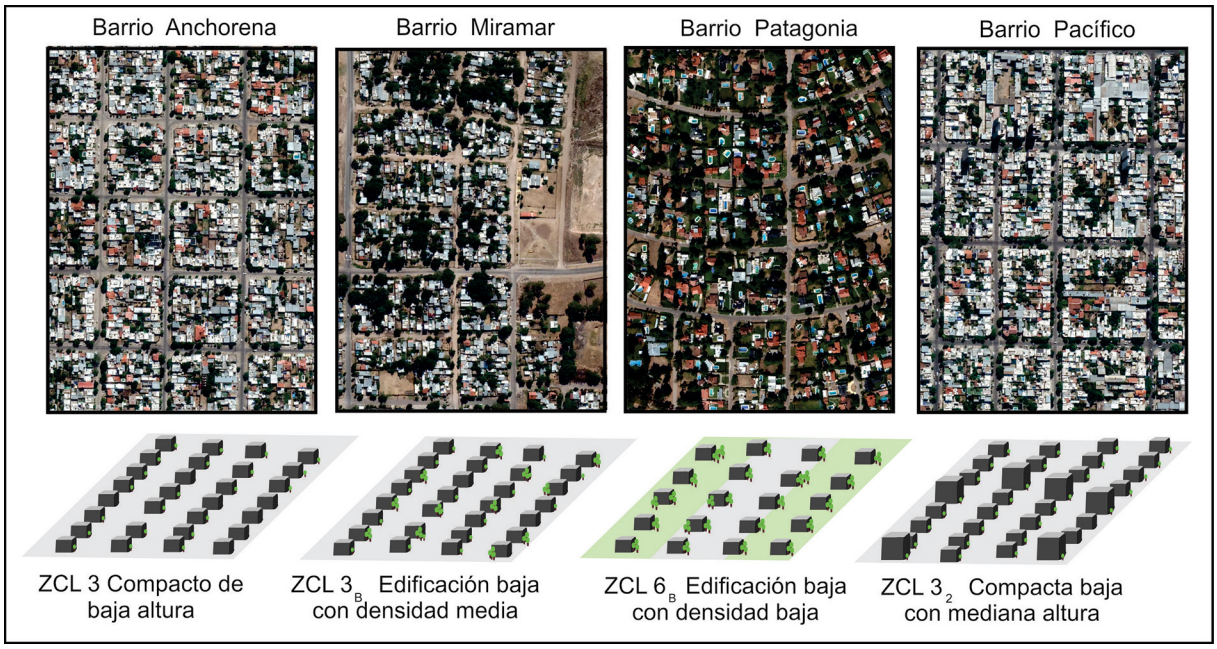
Se obtuvo también el porcentaje de cobertura vegetal de cada barrio a través del software libre *I-Tree Canopy*. Esta herramienta permite realizar análisis de espacios verdes sobre áreas urbanas. En cada barrio se seleccionaron 700 puntos y se los clasificó sobre la base de dos categorías: con vegetación y sin vegetación. Estas clases permitieron reconocer el valor de cobertura vegetal en contraposición al de la construcción.

3. Resultados

3.1. Tipología y cobertura urbana

La morfología y el material de las edificaciones juegan un rol fundamental en las variaciones microclimáticas. Por lo tanto, su estudio es esencial en la comprensión de la dinámica de los elementos climáticos. Por ello es necesario reconocer la tipología urbana a través de los tipos de edificación y de cobertura. En la Figura 6 se observa la aplicación en el área de estudio de la clasificación de Zona Climática Local (ZCL) propuesta por Stewart y Oke (2012). El barrio Anchorena pertenece a la ZCL 3, compacto de baja altura. Éste se caracteriza por ser una edificación densa de baja altura (de 1 a 3 pisos), pocos árboles, cubierto por pavimento y materiales de concreto. El barrio Miramar pertenece a ZCL 3_B, de tipo edificación compacta. Además cuenta con una cobertura permeable debido a que la calle es de tierra a diferencia de los otros barrios. En el caso del barrio Patagonia, la zonificación que presenta es ZCL 6_B ya que se advierte un área de edificaciones bajas (de 1 a 3 pisos) separados entre sí. En este barrio tipo parque, la superficie de las propiedades es mayor en relación con los otros barrios. El barrio Pacífico se define como ZCL 3_2, de estructura compacta y de edificaciones de baja altura con algunas de mediana altura (mayores a 3 pisos).

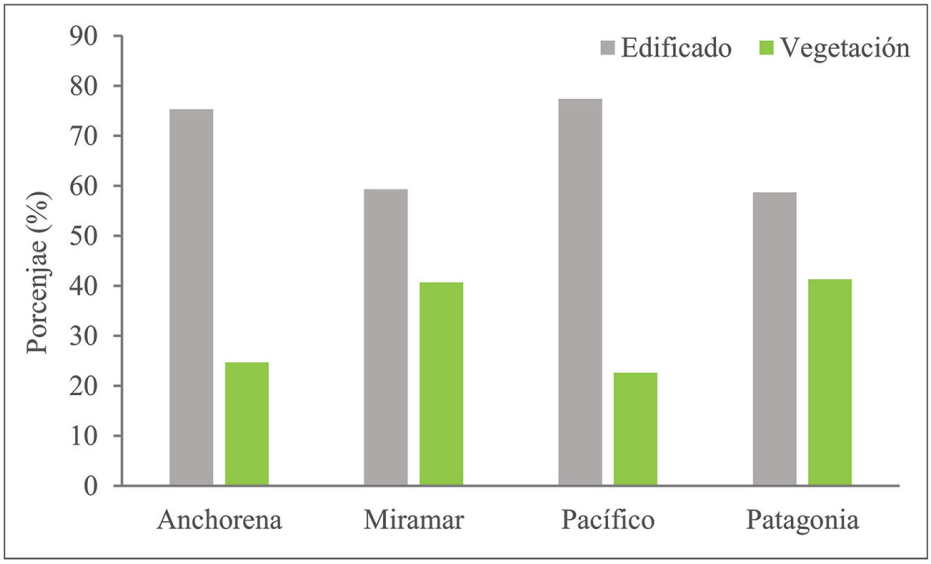
Figura 6. Zona Climática Local de cuatro barrios de la ciudad de Bahía Blanca



Fuente: Stewart y Oke (2012). Elaboración propia

Mediante la aplicación del *I- Tree Canopy* se identificó el porcentaje de cobertura vegetal en los cuatro barrios. El barrio Anchorena presentó una cobertura de 24, 7 %, Miramar 40,7 %, Pacífico 22,6 % y Patagonia 41,3 % (Figura 7). Cabe mencionar que el barrio Miramar se destaca por un paisaje arbolado principalmente en el interior de las residencias. El Patagonia posee mayor cobertura vegetal, tanto en las veredas como en el interior de las casas, en relación con los otros barrios debido a su tipología. Sin embargo, el sector nuevo de este barrio se diferencia del más antiguo por estar poco vegetado, situación que influyó en la cobertura vegetal total. El barrio Pacífico es el que tiene mayor porcentaje de edificaciones y menor cantidad de vegetación. La mayor cantidad se presenta en las veredas.

Figura 7. Porcentaje edificado y de cobertura vegetal en el área de estudio



Elaboración propia

3.2. Caracterización del arbolado

Según Benedetti *et al*. (2014), en el barrio Pacífico las especies *Fraxinus pennsylvanica* (fresno americano) y *Robinia pseudoacacia var. umbraculifera* (acacia bola) se encuentran en mayor cantidad. En el caso de Villa Miramar, las especies dominantes son *Ulmus pumila* (olmo) y *Fraxinus pennsylvanica* (Benedetti y Duval, 2012). El barrio Patagonia presenta una gran variedad de especies de estructura arbórea y arbustiva. Los géneros dominantes son *Pinus, Picea, Cupressus, Cedrus, Acacia, Fraxinus, Ulmus, Prunus y Eucaplyptus*. Por último, en el barrio Anchorena se reconocieron como géneros dominantes *Fraxinus, Acacia*, *Prunus* y *Lagerstroemia.*

La influencia de los árboles en el microclima urbano depende, entre otros factores, de sus características. Es decir, el grado de incidencia en los parámetros de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento será diferencial según la especie. Cada cual posee condiciones de cobertura, forma de la hoja, periodicidad, altura, etc. que condicionan el microclima de ese espacio (Leuzinger, Vogt y Koner, 2010; Shashua-Bar, Yaakov y Potchter, 2010). Para este caso en particular, se seleccionaron los individuos arbóreos según su estructura de copa considerando que es el factor con mayor incidencia en las condiciones microclimáticas. Entre las especies de copa compacta y cerrada se registraron árboles como el *Ulmus pumila* (olmo), *Ligustrum lucidum* (aligustre), *Fraxinus pennsylvanica* (fresno americano), *Melia azedarach* (paraíso), *Eriobotrya japonica* (níspero) y *Brachychiton populneus* (braquiquito). Por otra parte, los ejemplares con densidad media y copa semiabierta los representan *Robinia pseudoacacia var. umbraculifera* (acacia bola), *Albizia julibrissin* (acacia de constantinopla), *Lagerstroemia indica* (crespón), *Prunus cersifera* (ciruelo de jardín), *Acacia dealbata* (aromo) y *Cercis siliquastrum* (árbol de judea). Por último, el *Arce palmatum* (arce japonés), *Albizia julibrissin* (árbol de la seda), *Parasenegalia visco* (visco), *Robinia pseudoacacia* (acacia blanca) y *Robinia pseudoacacia Casque Rouge* (acacia rosada) poseen una baja densidad de follaje y sus copas son abiertas. En la Tabla 1 se muestra 3 especies representativas de los tipos de copas incluidas en el estudio.

Tabla 1. Especies representativas según forma de la copa

	Características de las especies según su estructura de copa
Especie	**Estructura de copa abierta: *Parasenegalia visco* (visco)**
	Pertenece a la familia Fabaceae. Es un árbol nativo de 8 a 12 m de altura. Tiene un follaje verde azulado, liviano y semipersistente que configura una copa regular. Posee hojas compuestas bipinnadas, de color verde claro y con aspecto plumoso. Su flor es amarilla y su fruto es una legumbre aplanada y dehiscente (Dicek, 2009).
Especie	**Estructura de copa semiabierta: *Albizia julibrissin* (acacia de constantinopla)**
	Árbol de la familia Fabaceae. Es exótico y originario de Asia. Posee copa aparasolada o globosa y un tronco corto con muchas ramificaciones que salen de la parte media. Su hoja es compuesta, bipinnada y perenne. La flor es hermafrodita y su fruto es una legumbre aplanada, subcoriácea que perdura en el tiempo después de la caída de las hojas (Cané, 2008).
Especie	**Estructura de copa cerrada: *Melia azedarach* (paraíso)**
	Árbol de la familia Meliaceae, originario de Asia. Posee copa globosa, tronco recto y ramas frágiles. La corteza es oscura y rugosa y su hoja es compuesta, bipinnada y de color verde medio. La flor es blanca y violeta y su fruto es una drupa globosa que permanece en el árbol durante todo el invierno (Cané, 2008).

Elaboración propia

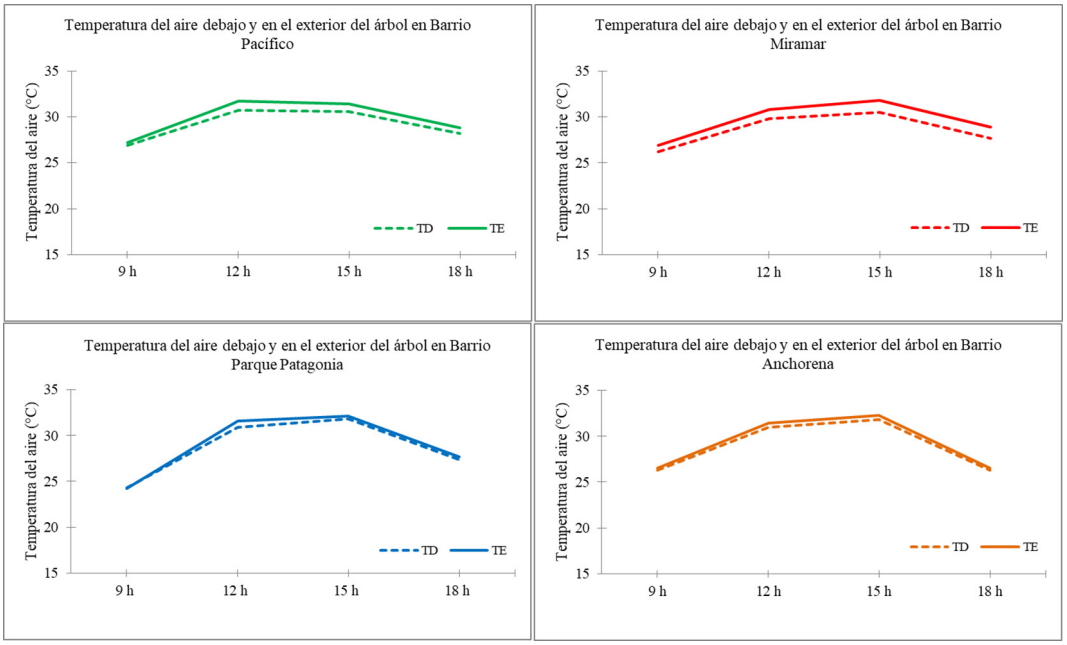
3.3. Análisis según orientación y cobertura vegetal

3.3.1. Temperatura del aire

En el barrio Miramar, la temperatura media de ambos días en el horario establecido fue de 29,6 ºC. Las máximas fueron registradas a las 15 h con valor medio de 31,9 ºC. Las mínimas se midieron a las 9 h siendo de 26,9 ºC. La diferencia de temperatura entre el centro de la calle, es decir en la vía de circulación pavimentada, y debajo de la copa del árbol fue de 1,1 ºC. La mayor diferencia se observó a las 15 h (1,3 ºC) y a las 18 h (1,2 ºC) mientras que la menor diferencia fue a las 9 h (0,7 ºC) (Figura 8). Esto se podría deber a que en el horario de las 12 h, la superficie recibe mayor cantidad de radiación que se traduce en un aumento de la temperatura en horas posteriores. Esta es la razón por la cual es el horario (15 h) de máxima temperatura registrada. Por la tarde, la temperatura del aire continúa siendo elevada en verano por la emisión de calor de la superficie terrestre. Por otra parte, en todos los horarios la temperatura registrada debajo de la copa del árbol fue siempre inferior a la calle.

Se comprobó que la estructura de la copa tuvo una influencia importante en la temperatura del aire. Principalmente, *Ulmus procera* y *Ligustrum lucidum* fueron las especies que registraron la mayor diferencia de temperatura debajo de la copa en relación con el exterior. Con respecto a la temperatura entre calles con distinta orientación, se determinó que la oscilación fue de 1,2 ºC para los horarios considerados. Los mayores contrastes se registraron a las 9 h siendo superior en la orientación este-oeste (2,3 ºC) y a las 18 h (1,9 ºC), en la orientación norte-sur. En los horarios de las 12 y 15 h, la diferencia fue leve. Esta situación se explica por la trayectoria solar durante el día, en la cual las calles con orientaciones este-oeste poseen menor exposición solar por la tarde, coincidente con el período de mayor temperatura del aire.

Figura 8. Temperatura del aire debajo y en el exterior del árbol en cuatro barrios de la ciudad



Elaboración propia

En el barrio Pacífico, la temperatura media de ambos días fue de 29,5 °C. Se observó que las máximas fueron registradas a las 15 h con valor medio de 33 °C. Las temperaturas mínimas se midieron principalmente a las 9 h siendo de 27,2 °C en promedio. La diferencia de temperatura entre el centro de la calle y debajo de la copa del árbol obtuvo un valor de 0,9 °C, siendo mayor a las 12 h (1 °C) y menor a las 9 h (0,3 °C) (Figura 8). Por otra parte, en todos los horarios, la temperatura registrada bajo el árbol fue inferior a la de la calle. Las especies de copa cerrada y follaje denso tuvieron una gran influencia en la temperatura del aire. Por ejemplo se mencionan *Melia azedarach* y *Fraxinus pennsylvanica*, en los cuales se registró una diferencia mayor de temperatura. A la mañana, fue superior debajo del árbol y a la tarde inferior en relación con la calle. La diferencia de temperatura entre distintas orientaciones fue de 1,5 °C. Las mayores oscilaciones se midieron a las 18 h (2,9 °C) siendo superior en la orientación norte-sur y a las 15 h (0,9 °C) para la calle este-oeste. En los horarios restantes se observó una diferencia insignificante.

En Barrio Anchorena, la temperatura media de ambos días fue de 29,2 °C. Los valores más altos se registraron en las mediciones de las 12 h y 15 h con un valor medio de 31,8 °C. Las mínimas se midieron a las 9 h y 18 h con un promedio de 26,4 °C. La diferencia entre el centro de la calle y bajo el árbol fue de 0,4 °C. La mayor diferencia se observó a las 15 h (0,5 °C) mientras que la menor, a las 9 h y 18 h (0,2 °C) (Figura 8). En especies arbóreas de follaje denso y copa cerrada, como *Ligustrum japonicum*, la temperatura varió entre 30,6 °C (bajo el árbol) y 32,5 °C (calle). La diferencia entre las distintas orientaciones fue de 0,9 °C. Las mayores oscilaciones se registraron a las 9 h (1,2 °C) y a las 18 h (1,1 °C), ambas superiores en la orientación este-oeste. En el horario de las 12 h se midió una leve variación.

En el barrio Parque Patagonia, la temperatura media de ambos días fue de 28,9 °C. Los valores más elevados se reconocieron en el horario de las 15 h con un promedio de 32 °C. Las temperaturas mínimas se midieron a las 9 h con un valor medio de 24,1 °C. Entre el centro de la calle y el árbol, la diferencia de temperatura fue de 0,6 °C. El horario de las 12 h (0,7 °C) fue el que registró mayores diferencias mientras que el de las 9 h (0,1 °C) se observó la menor (Figura 8). Por otra parte, en la mayoría de los horarios, la temperatura debajo de la copa del árbol fue siempre inferior a la de la calle. Si se considera la influencia según la especie, la mayor variación se observó en *Eriobotrya japonica* en el cual se midió 30,5 °C y en la calle, 33,4 °C. Esto se debe a su copa compacta y su follaje denso. Por el contrario, *Acacia dealbata* posee una copa pequeña y follaje semiabierto lo cual generó que fuese la especie con menor diferencia de temperatura registrada entre ambos sitios. En cuanto a la orientación de las calles, la diferencia de temperatura no fue significativa en el horario de las 9 h. Las máximas oscilaciones se registraron a las 18 h (2,3 °C) siendo superior en la orientación este-oeste y a las 15 h (0,7 °C), para la calle orientada norte-sur.

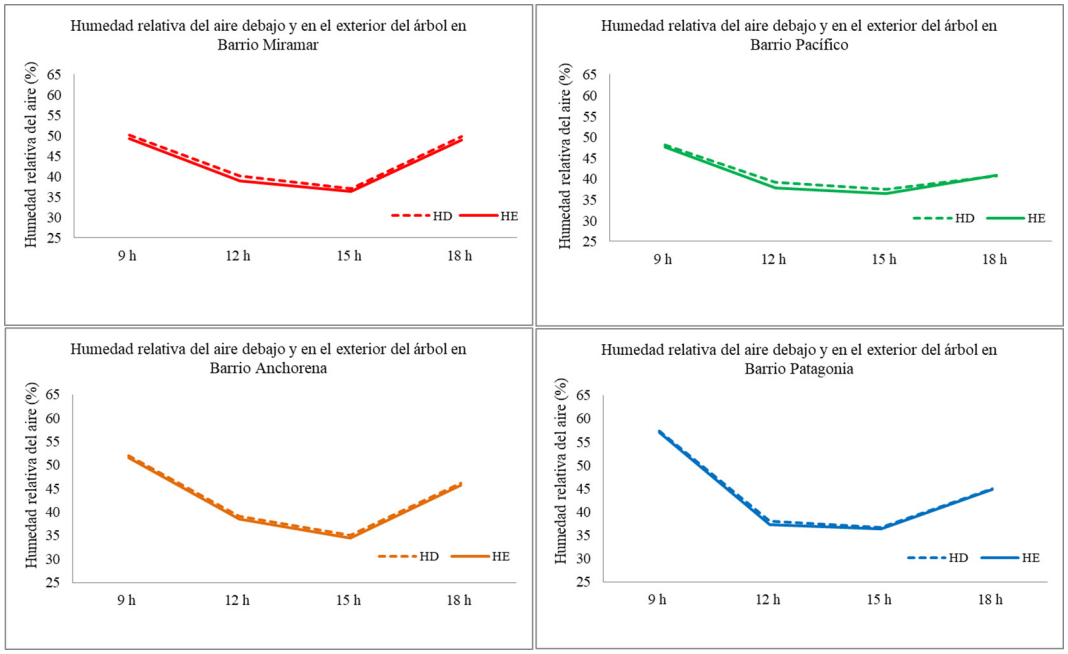
3.3.2. Humedad relativa

En el barrio Miramar la humedad relativa media para los días y horarios seleccionados fue del 43,3 %. En general, la curva diaria tuvo los máximos durante la mañana disminuyendo hacia las 15 h. A las 18 h se visualizó un aumento en relación con el anterior horario. La diferencia del elemento debajo y fuera de la copa arbórea demostró que en general la vegetación contribuye a incrementar la humedad del aire. Sin embargo, se observaron valores superiores en la calle en algunos momentos del día. Esto se puede deber a la presencia de calle de tierra, sin asfaltar o cementar. La menor diferencia de humedad relativa fue a las 9 h (0,8 %) y a las 18 h (0,9 %) mientras que la mayor, a las 12 h (1,1 %) (Figura 9). Si se comparan las especies se puede comprobar que aquellas con follaje más denso son las que registran mayores diferencias de humedad en relación al centro de la calle. Se destaca el *Ligustrum lucidum* cuya humedad relativa debajo de la copa fue de 52 % y afuera de éste, 48,6 % a las 15 h. Por otra parte también se debe mencionar *Ulmus pumila,* que a las 9 h midió una diferencia de 2,5 %, siendo la humedad superior bajo el árbol.

En el barrio Pacífico la humedad relativa media fue del 38,3 %. La curva diaria tuvo los mayores valores durante la mañana y fue en disminución hasta las 15 h. A las 18 h se observó un incremento en relación con el anterior horario. La diferencia debajo y fuera de la copa arbórea fue menor a las 18 h (0,3 %) y a las 9 h (0,5 %) mientras que la mayor se registró a las 12 h (1,4 %) (Figura 9). No se observaron diferencias significativas entre calles con distinta orientación.

En el barrio Anchorena la humedad relativa media para los días y horarios seleccionados fue del 42,6 %. Se verificó una disminución en los horarios de máxima exposición solar (entre las 12 h y 15 h) y un incremento a la mañana y tarde. Los valores oscilaron entre 58 % y 52 % a las 9 h disminuyendo a 35 % durante las 12 y 15 h. Durante la tarde la humedad relativa se elevó hasta un 63 %. Se pudo constatar que este elemento climático fue superior debajo del árbol y que su valor disminuía con la mayor exposición solar. La mayor diferencia de humedad entre ambas zonas se midió en el horario de las 12 h y 15 h (0,6%) y la menor a las 9 h (0,4%) (Figura 9). En relación con la copa y follaje, se observaron mayores diferencias de humedad relativa en *Brachychiton populneus* y *Robinia pseudoacacia* en relación con las otras especies y con el exterior. Por ejemplo, al mediodía la humedad relativa debajo del braquiquito fue de 51,1 % mientras que en el exterior fue 49,5 %. En el caso de la acacia blanca, debajo de su copa se midió 51,5 % y fuera de esta, 49,5% a las 15 h.

Figura 9. Humedad relativa del aire debajo y en el exterior del árbol en cuatro barrios de la ciudad



Elaboración propia

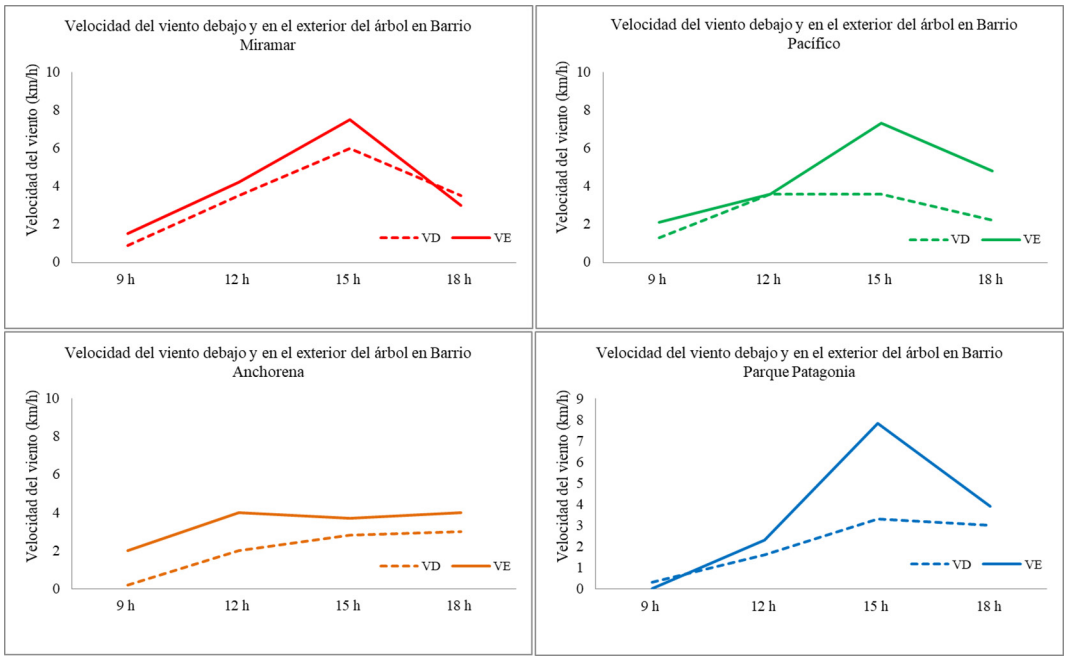
En el barrio Parque Patagonia la humedad relativa media fue del 43,8 %. Se observó una disminución en los horarios de máxima exposición solar (entre las 12 h y 15 h) y un incremento a la mañana y tarde.

Osciló entre 60 % y 55 % a las 9 h, disminuyó entre 36 % y 39 % a las 12 h y aumentó hasta el 58 % a las 18 h. Se observó que la humedad fue mayor debajo de las copas de los árboles. La mayor diferencia entre ambas zonas se produjo en el horario de las 12 h (0,8 %) y la menor a las 18 h (0,2%) (Figura 9). Por ejemplo, en el caso del *Eriobotrya japonica*, de follaje denso y copa cerrada, la humedad relativa fue del 23 % debajo del ejemplar y se redujo a 21,5 % en el centro de la calle en el horario de las 15 h.

3.3.3. Velocidad del viento

En el barrio Miramar la velocidad media del viento en los horarios considerados fue de 4,5 km/h. En relación a la diferencia entre el viento en calle y debajo de la copa del árbol, se registró la máxima a las 15 h (1,5 km/h) y la mínima a las 18 h (0,5 km/h) (Figura 10). En general la calle con orientación este-oeste tuvo mayor velocidad de viento lo cual podría influir en la temperatura del aire. Por otra parte, debajo de la copa de los árboles se observó en general menor velocidad de viento en comparación con los sitios sin influencia arbórea. Por ejemplo, a las 12 h se midió una velocidad de 5,8 km/h bajo la copa compacta de *Ulmus pumila*, mientras que en el centro de la calle el valor fue de 10, 2 km/h.

Figura 10. Velocidad del viento debajo y en el exterior del árbol en cuatro barrios de la ciudad



Elaboración propia

En el barrio Pacífico la velocidad media del viento en los horarios de registro fue de 4,4 km/h. En relación a la diferencia entre el viento en calle y debajo de la copa del árbol, se observó la máxima a las 15 h (3,7 km/h) y la mínima a las 12 h (calma) (Figura 10). La calle con orientación norte-sur tuvo mayor velocidad de viento en ambos días. La influencia de este elemento se observa en la temperatura que fue superior en la calle con orientación este-oeste. Además en los árboles de estructura de copa cerrada se registró una menor velocidad de viento en relación con la calle y en comparación con los otros ejemplares de árboles de copa abierta o semiabierta. Por ejemplo, debajo de *Robinia pseudoacacia* se registró 4,2 km/h mientras que en la calle, 6,5 km/h.

En el barrio Anchorena la velocidad media del viento fue de 3,2 km/h. La máxima diferencia de velocidad entre la calle y bajo el árbol se dio a las 9 h (1,8 km/h) y la mínima a las 15 h (0,9 km/h) (Figura 10). Esta velocidad fue mayor en espacios ausentes de vegetación ya que no hay intercepción con ningún elemento. Por el contrario, para los días analizados se comprobó que la velocidad se redujo debajo de los árboles. Por ejemplo, en *Robinia pseudoacacia*, la velocidad del viento fue de 0,9 km/h debajo del árbol y de 3,8 km/h en el centro de la calle. La calle con orientación este-oeste tuvo mayor velocidad de viento lo cual podría influir en la temperatura del aire.

En el barrio Parque Patagonia la velocidad del viento presentó una media de 3,2 km/h. Los días analizados fueron poco ventosos y durante las mañanas el viento estuvo en calma aumentando hacia la tarde. Las ráfagas de viento fueron superiores en el centro de la calle, mientras que debajo de las copas de los árboles se redujo considerablemente. En relación a la diferencia entre el viento de la calle y debajo de la copa del árbol, la máxima se registró a las 15 h (4,5 km/h) y la mínima a las 9 h (0,3 km/h) (Figura 10). En ejemplares de copas densas y compactas la disminución del viento fue mayor como fue el caso de *Robinia pseudoacacia var. umbraculifera* donde la velocidad del mismo fue de 2,7 km/h bajo el árbol. Fuera del árbol éste aumentó a 8 km/h, a las 15 h. No hubo una diferencia significativa de velocidad del viento según la orientación de las calles. La calle con orientación este-oeste tuvo valores más elevados lo cual influyó en una disminución de la temperatura del aire.

4. Discusión de resultados

El arbolado urbano influye en la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento modificando el microclima de la ciudad y generando beneficios a los habitantes. Del análisis de los elementos climáticos medidos en los cuatro barrios se comprobó que la diferencia de temperatura entre el sector de la copa del árbol y fuera fue de 1 °C. Este resultado concuerda con el trabajo de Wang, Bakker, Groot, Wortche y Leemans (2015) realizado en Países Bajos, en el cual llegó a la misma diferencia de temperatura entre ambos sitios. En todos los horarios de medición la temperatura registrada debajo de la copa del árbol fue siempre inferior a la de la calle. La mayor diferencia entre ambos lugares se midió en especies de follaje denso y de copa cerrada. En barrios con mayor porcentaje de vegetación la diferencia aumentó, como es el caso de Miramar y Patagonia.

En relación con la orientación de las calles, norte-sur y este-oeste, se determinó que la influencia sobre los elementos climáticos es ínfima. Esto difiere de otros estudios realizados en que la cobertura estuvo significativamente influenciada por la orientación de calle. Entre ellos, la investigación de Sanusi *et al*. (2016) en Australia, donde la reducción de temperatura del aire fue mayor en calle con orientación este-oeste (2, -1 °C) en comparación con las de norte-sur (0,9 °C). Los autores aplicaron una metodología similar a la utilizada en este trabajo seleccionando días típicos de verano, identificando el porcentaje de cobertura de áreas arboladas y no arboladas y realizando las mediciones de distintos parámetros climáticos en calles con distinta orientación.

Por otra parte, es necesario considerar el tipo de clima de las ciudades en las cuales se lleva a cabo las investigaciones, el instrumental y las variables a considerar. En relación a esto, Rojas *et al.* (2015) estudiaron la influencia del arbolado viario sobre el microclima local en la ciudad de Barcelona. En su análisis concluyeron que la variación de temperatura entre ambos sectores fue de 1 °C. La diferencia con el estudio realizado en Bahía Blanca radica en que en el trabajo de la ciudad española se agregó a la temperatura del aire, la temperatura radiante que es el calor emitido por radiación de los elementos del entorno y además el instrumental empleado para las mediciones fue un termómetro de bulbo. Por otra parte, Gillner, Vogt, Tharang, Dettmann y Roloff (2015) definieron que la diferencia de temperatura por influencia de la vegetación es de 2 ºC. Este estudio se realizó en Dresden (Alemania) y analizaron la influencia de la densidad foliar y la transpiración de seis especies arbóreas de climas templados, en el efecto de enfriamiento en las ciudades.

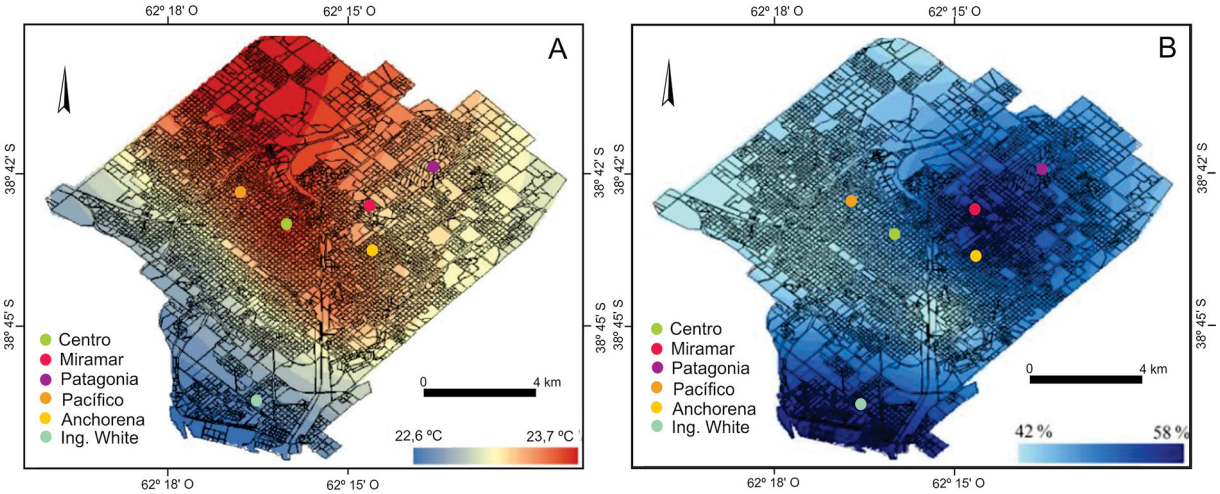
La humedad relativa del aire es mayor debajo de la copa del árbol en relación con su exterior. Las especies con estructura de copa cerrada fueron las que registraron mayores diferencias con el sector de la calle. Por lo que se puede concluir que la vegetación influye en este elemento incrementando su valor. Durante la mañana y noche se observan los porcentajes más elevados.

En relación con la temperatura del aire y la humedad relativa en la localidad de Bahía Blanca, está comprobado que existen variaciones de estos elementos durante el verano (Ferrelli y Piccolo, 2017). La diferencia térmica media entre distintos sectores de la ciudad es de 1,1 ºC, registrándose los valores más elevados en el centro de la ciudad (23 ºC) y los más bajos en el área de Ingeniero White (22 ºC) (Figura 11). En relación con los barrios analizados se observa que, si bien la temperatura entre los sectores del área de estudio es exigua, hay un descenso mínimo para los barrios Miramar, Patagonia y Anchorena en relación con el barrio Pacífico. Es decir, la temperatura del aire descendió desde el noroeste al sureste.

Estas oscilaciones térmicas entre los distintos sectores de la ciudad pueden ser explicadas a partir, por ejemplo, de la morfología de cada sector (densidad y tipo de edificación), de la presencia o ausencia de vegetación (densidad y cobertura) y de la cercanía o lejanía al estuario. También se debe analizar la influencia

de otros elementos climáticos que contribuyen a modificar la temperatura (humedad relativa y viento). En relación con la humedad relativa, se observó que los máximos valores se presentaron en el suroeste, en particular en Ingeniero White y el noroeste, en los barrios Anchorena, Miramar y Patagonia. En estos sectores hay una gran influencia de la cercanía al mar y de la mayor cantidad de vegetación, respectivamente. Los mínimos se encuentran en la zona noroeste y suroeste coincidentes con el centro de la ciudad y el barrio Pacífico.

Figura 11. Temperatura media (A) y humedad relativa (B) en verano en Bahía Blanca



Fuente: modificado de Ferrelli y Piccolo (2017)

En relación con la velocidad del viento, la mayor frecuencia se registró en las calles con orientación este-oeste, sin embargo no es una diferencia significativa. Las especies con densidad de follaje más elevada registraron menor velocidad de viento en comparación con las otras especies. La cobertura vegetal en este caso actúa como un obstáculo al viento reduciendo su velocidad. Los barrios con alto porcentaje de vegetación, como es el caso de Patagonia, presentaron mayores diferencias entre el sector de la copa del árbol y fuera de este. Otro factor que influye en la circulación del viento y en su velocidad es la tipología de edificación. Por lo tanto, los barrios como Pacífico con una densidad de construcción mayor registraron una velocidad reducida en relación a los otros barrios. Queda demostrado que la vegetación con sus características (por ejemplo: forma y densidad de follaje) influye en el clima local creando un microclima que implica una modificación en el comportamiento de las variables climáticas.

Por otra parte, es clave conocer las características que ofrece el arbolado y las necesidades principales en el diseño (Rojas *et al.*, 2015). Vaz, Phillip, Morison y Doick (2019) determinaron que de acuerdo a la forma y periodicidad de la hoja, la forma de la copa, la densidad de follaje, entre otros, algunas especies poseen mayor potencial para proporcionar enfriamiento que otras. En Bahía Blanca se identificaron diferencias en el registro de temperaturas entre las especies de estructura de copa abierta y las de copa cerrada. Estas últimas lograron un enfriamiento de la atmósfera mayor que las primeras.

Se comprobó también que existe una relación entre las variables climáticas y de estas con la vegetación. Por ejemplo se observó que el viento reduce la temperatura del aire medida principalmente en árboles de copa abierta y de mayor altura. Esto se debe a que este tipo de estructura contribuye a la circulación del aire. Los ejemplares de copa cerrada y de menor altura, retienen mayor calor en su interior al presentar un obstáculo al viento. Con respecto a la humedad, debajo de los árboles de copa cerrada se presentaron los porcentajes más elevados de humedad relativa. En este sentido, esta investigación puede ayudar a los planificadores urbanos en el diseño de las áreas verdes urbanas y del arbolado de alineación para generar un aumento del confort especialmente en zonas de alta densidad peatonal potenciando el uso de especies nativas en reemplazo de las exóticas que en algunos casos son invasoras.

5. Conclusiones

Se pudo comprobar la modificación de las condiciones microclimáticas en las calles seleccionadas, a una micro escala. En el caso de la temperatura del aire la variación entre el sector debajo de la copa del árbol y fuera de ella es de alrededor de 1 ºC. La mayor oscilación entre estos dos sectores se observó

principalmente en los horarios de las 12 h y 15 h, coincidente con la mayor radiación recibida por la superficie terrestre y el incremento de la temperatura. Por otra parte, en los barrios con máximo porcentaje de vegetación según el software *I-Tree* se registraron las diferencias más elevadas de temperatura debajo y fuera de la copa del árbol (Miramar y Patagonia). El análisis de las orientaciones permitió reconocer una diferencia de temperatura de más de 1 ºC siendo superior a la mañana y a la tarde. Por otra parte, se comprobó que la densidad de follaje y la estructura de la copa también inciden en el valor de este elemento. En general, los ejemplares con abundante follaje y copa cerrada registraron menor temperatura con el exterior en comparación con los individuos de copa abierta y poco follaje.

En relación con la humedad relativa se evidenció un porcentaje mayor debajo del árbol en relación con el centro de la calle. Además se demostró que en el barrio con presencia de calles no asfaltadas o cementadas, se registraron los valores más elevados. De la comparación entre las especies, según su copa y follaje, se visualizó que aquellas de copa cerrada obtuvieron mayor variación de humedad que la registrada en el centro de la calle.

La velocidad de viento media fue de 3,8 km/h, siendo superior en Miramar y Pacífico. Se registró mayor frecuencia de la velocidad en las calles con orientación este-oeste. Además se verificó que en los árboles de copa cerrada y alto porcentaje de follaje se midieron las menores velocidades de viento en comparación con los otros árboles. Esto es debido a que la vegetación actúa como un obstáculo al viento. Las mayores variaciones se dieron en los barrios Patagonia y Pacífico. En el primer caso se corresponde con un barrio con alto porcentaje de vegetación y en el segundo, con edificaciones que pudieron contribuir a modificar los valores de velocidad por actuar como objeto de fricción.

La localización y tipología de edificación junto con el porcentaje y las características del arbolado de alineación en los barrios seleccionados demostraron que existe una influencia en el clima local. Se comprueba la presencia de un microclima basado en la modificación del comportamiento de la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento. Este análisis contribuye a reconocer a importancia del arbolado viario para el bienestar humano. Por otra parte pensar en nuevas estrategias para incrementar la masa vegetal en las ciudades, que acompañen al arbolado urbano y a los espacios verdes, también posibilitará establecer las bases para mejorar la calidad de vida de la población. Principalmente en sectores de la ciudad con mayor densidad poblacional densamente pobladas, como la zona céntrica, donde el porcentaje de construcción es elevado y predomina los materiales con capacidad de absorción de la radiación solar elevada.

El estudio sobre esta temática contribuye a profundizar sobre el concepto de ciudades sostenibles y resilientes en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El arbolado urbano y los espacios verdes son parte de la infraestructura de las urbes y en general tienen una escasa prioridad en la planificación y gestión de las ciudades por la ausencia del reconocimiento de los beneficios que otorgan. Exponer los resultados obtenidos en este caso y continuar profundizando sobre esta línea resulta fundamental para el desarrollo de ciudades sostenibles.

Financiamiento

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación Geografía física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas témporo-espaciales (24/G067). Este es dirigido por la Dra. Alicia M. Campo y co-dirigido por la Dra. Verónica Gil y se encuentra subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur. También al apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), instituciones en las cuales se encuadra este estudio.

Agradecimientos

Las autoras agradecen especialmente los comentarios y sugerencias del equipo editorial que contribuyeron en la mejora del artículo.

Referencias

Abasto, B., Fernández, E. M., Girones, L., Serra, A., Arlenghi, J. H., Arias, A. & Spetter, C. V. (2019). Dinámica espacial del carbono orgánico particulado en zona interna del estuario de Bahía Blanca y sus tributarios en primavera. En *V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie* (pp. 130-133). La Plata, Argentina.

Adams, M.P. & Smith P.L. (2014). A systematic approach to model the influence of the type and density of vegetation cover on urban heat using remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, *132*, 47-54. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.008

Aliaga, V., Ferrelli, F. y Piccolo, C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, *37*(4), 1237-1247. https://doi.org/10.1002/joc.5079

Andrade, A. R. (2010). *Articulações entre o clima urbano eo clima regional: uma abordagem a partir da análise de Irati e Guarapuava* (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Recuperado de https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24084/Tese_Aparecido%20Ribeiro%20de%20Andrade.pdf

Benedetti, G. (2003). La problemática de los cipreses en un espacio geográfico urbano residencial: Barrio Parque Patagonia, Bahía Blanca. *Contribuciones Científicas*, 15, 55-62.

Benedetti, G. y Campo, A. (2007). Arbolado de alineación: el mapa verde de un barrio en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Papeles de Geografía*, 45-46, 27-38. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40704602

Benedetti, G., Campo, A. y Horvath, L. (2014). Arbolado público en el Barrio Pacífico, ciudad de Bahía Blanca: aportes para la gestión. *Párrafos Geográficos*, *13*(1), 28-55. Recuperado de http://igeopat.org/parrafosgeograficos/images/RevistasPG/2014_V13_1/21-2.pdf

Benedetti, G. y Duval, V.S. (2012). Arbolado urbano y barrios marginales en Bahía Blanca. En *I Congreso Latinoamericano de Ecología Urbana. Desafíos y escenarios de desarrollo para las ciudades latinoamericanas* (pp. 269-278). Universidad Nacional de General Sarmiento.

Cabrera, A. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En D. Parodi (Ed.), *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería* (pp. 1-14). Buenos Aires: Acme.

Calaza, P. e Iglesias, I. (2016). *El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación.* Madrid, España: Mundiprensa.

Cané, L. (2008). *Árboles que se cultivan en la Argentina.* Buenos Aires: Distal.

Campo, A. M., Fernández, M. E. y Gentili, J. O. (2017). Variabilidad temporal del PM10 en Bahía Blanca (Argentina) y su relación con variables climáticas. *Cuadernos Geográficos, 56*(3), 6-25. Recuperado de https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/5084/5844

Capelli, A., Piccolo, M. C., Ferrera, I. y Campo, A. (1986). Influencia de los árboles en el clima de la ciudad. *Revista Universitaria de Geografía*, *2*(1-2), 39-54.

Cappelli, A. M., Piccolo, M. C. y Campo, A. M. (2005). *Clima urbano de Bahía Blanca*. Buenos Aires: Dunken.

Correa, E. N., Flores, S. y Lesino, G. (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. informe de avance. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 7(9): 25-30. Recuperado de https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2003/2003-t011-a005.pdf

Dicek, N. (2009). *Patrimonio verde urbano*. Bahía Blanca: Municipalidad de Bahía Blanca. Recuperado de http://www.bahiablanca.gov.ar/subidos/libro_patrimonio_verde_urbano.pdf

Ferrelli, F. y Piccolo, C. (2017). Estudio del confort climático a escala micro-local. *Bitácora Urbano Territorial*, *27*(3), 91-100. https://doi.org/10.15446/bitacora.v27n3.56995

Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S. y Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, *143*, 33-42. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.005

Grau, A. y Kortsarz, A. M. (2012). *Guía de Arbolado de Tucumán*. Recuperado de http://www.guiadearbolado.com.ar/Publicaciones/GuiadeArboladodeTucuman-2Edicion.pdf

Grau, J, S. y López, J. (2018). Pavimentos reflectantes para la mitigación del cambio climático. Parte I: Estudio teórico y de laboratorio. Asfalto, *28*(8), 13-25. Recuperado de https://www.asefma.es/wp-content/uploads/2018/03/13_jsimon.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Recuperado de https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135

Kurbán, A. y Grasso, M. (2016). Confort térmico en espacios verdes urbanos de ambientes áridos. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(1), 32-43. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2476/2308

Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, M., Montilla, E. y Ríos, E. (2007). Espacios verdes y temperatura urbana en ecosistemas áridos. *Averma*, 11, 9-15.

Leuzinger, S., Vogt, R. y Koner, C. (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology, 150*(1), 56-62. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006

Martin, P. Serio, L., Pescio, A. y Dragani, W. (2016). Persistencia de vientos superficiales del cuadrante este en estaciones costeras de la Patagonia. *GEOACTA, 40*(2), 87-97. Recuperado de http://ri.agro.uba.ar/files/download/articulo/2018martinpaulabeatriz.pdf

Martini, A., Biondi, D. y Batista, A. (2017). Urban forest components influencing microclimate and cooling potential. *Revista Árvore*, *41*(6), e410603. https://doi.org/10.1590/1806-90882017000600003

Mascaró, J., Mascaró, L., Martins, L. & Wessheimer, M. (2001). Arbolado urbano: aspectos ambientales. *Anales LINTA,* 2(5), 51-54. Recuperado de https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/901/11746_901.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Matthews, S. (2005). *Sudamérica invadida: el creciente peligro de las especies exóticas invasoras.* Nairobi: Programa Mundial sobre Especies Invasoras.

Minervino, M. (14 de julio de 2018). Según un especialista, el arbolado urbano de Bahía es deficiente. *La Nueva.* Recuperado de https://www.lanueva.com/nota/2018-7-14-7-0-22-segun-un-especialista-el-arbolado-urbano-de-bahia-es-deficiente

Minervino, (25 de mayo de 2019). Tratan de "asesina" a una empleada municipal por el talado de unos árboles. *La Nueva.* Recuperado de https://www.lanueva.com/nota/2019-5-20-7-0-8-tratan-de-asesina-a-una-empleada-municipal-por-el-talado-de-unos-arboles

Moreno, F. (25 de marzo de 2019). La poda de árboles sigue generando polémicas en la ciudad. *La Nueva.* Recuperado de https://www.lanueva.com/nota/2019-3-25-7-0-8-la-poda-de-arboles-sigue-generando-polemicas-en-la-ciudad

Petagna de del Río, A. M. (Sin fecha).Marginalidad del espacio natural y uso del suelo. Recuperado de http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Teoriaymetodo/Conceptuales/278.pdf

Ochoa, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93436/01JMot01de12.pdf

Rojas, G. M., Roset, J. y Navés, F. (2015). La vegetación en el confort micro climático. Comparación de especies del clima mediterráneo de Barcelona, España. *Architecture, City and Environment*, *10*(29), 59-84. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78453/3589-1398-1-PB.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Sanusi, R., Johnstone, D., May, P. and Livesley, S. (2016). Street Orientation and Side of the Street Greatly Influence the Microclimatic Benefits Street Trees Can Provide in Summer. *Journal of Environmental Quality*, 45, 167-174. https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0039

Sanusi, R., Johnstone, D., May, P. y Livesley, S. J. (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

Servicio Metorológico Nacional (2019). Recuperado de https://www.smn.gob.ar

Servicio Metorológico Nacional (2020). Estadísticas climáticas normales. Recuperado de https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos

Shashua-Bar, L., Yaakov, Y. y Potchter, O. (2010). Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, *30*(1), 44-57. https://doi.org/10.1002/joc.1869

Silva, C. F. (2009). *Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Terezina* (Tesis de maestría). Universidade de Brasília. Brasilia, Brasil. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/41663460_Caminhos_bioclimaticos_desempenho_ambiental_de_vias_publicas_na_cidade_de_Terezina_-_PI

Stewart, I. D. y Oke, T. R. (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

Urriza, G. (2016). Expansión urbana, tierra vacante y demanda habitacional en Bahía Blanca. Modelos de ciudad y política urbana en debate. *Quid 16. Revista del Área de Estudios Urbanos*, 6, 281-320. Recuperado de https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/quid16/article/view/2089/1777

Urriza, G. y Garriz, E. (2014). ¿Expansión urbana o desarrollo compacto? Estado de situación en una ciudad intermedia: Bahía Blanca, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, *23*(2), 97-123. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239105003.pdf

Vaz, M., Phillip, J., Morison, L. y Doick, K. J. (2019). *The role of urban trees and greenspaces in reducing urban air temperatures.* United Kingdom: Forestry Commission.

Wang, Y., Bakker, F., Groot, R., Wortche, H y Leemans, R. (2015). Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban Ecosyst*, 18, 1305-1331. https://doi.org/10.1007/s11252-015-0447-7

Zapperi, P. A. y Campo, A. M. (2011). Efectos de las precipitaciones intensas y su relación con las características geomorfológicas en Bahía Blanca. *Párrafos geográficos*, *10*(1), 593-614. Recuperado de http://igeopat.org/parrafosgeograficos/images/RevistasPG/2011_V10_1/15-29.pdf