



Microclima Urbano: variaciones Termo-Higrométricas de Bahía Blanca, Argentina
Urban Microclimate: Thermo-Hygrometric variations of Bahia Blanca, Argentina

Federico Ferrelli¹; Alejandro J. Vitale^{1,2} & María C. Piccolo^{1,3}

¹ Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS) - CONICET, Bahía Blanca - Argentina.
Florida 8000. Complejo CCT CONICET, Edificio E1. B8000FWB Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

² Universidad Nacional del Sur. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras
Avenida Alem 1015, B8000FWB Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

³ Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo
12 de octubre y San Juan, 4º piso, B8000FWB Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
E-mails: fferrelli@criba.edu.ar; avitale@iado-conicet.gob.ar; ofpiccol@criba.edu.ar

Recebido em: 02/02/2018 Aprovado em: 19/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_283_295

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o comportamento termohigrométrico em diferentes locais da cidade. Para isso, foram projetadas e instaladas dez estações meteorológicas em diferentes bairros da cidade de Bahía Blanca (Argentina) durante 408 dias com frequência de amostragem de 30 minutos. A análise foi realizada em diferentes escalas de tempo: anual, sazonal, mensal, diária, diurna e noturna. Técnicas estatísticas diferentes foram utilizadas para analisar as informações. Diferentes comportamentos termo-higrométricos definidos pelas diferenças espaciais na rugosidade do espaço e densidade de edifícios em Bahia Blanca foram identificados, permitindo explicar o microclima local da cidade.

Palavras-chave: escala micro-local; variações termohigrométricas; Bahía Blanca

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento termo-higrométrico en diversos paisajes urbanos. Para ello, se diseñaron e instalaron diez estaciones meteorológicas en diferentes barrios de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) durante 408 días. Las mismas tuvieron una frecuencia de muestreo de 30 minutos. Se realizó un análisis en distintas escalas temporales: anual, estacional, mensual, diario, diurno y nocturno. Se utilizaron diferentes técnicas estadísticas para analizar la información. Se identificaron distintos comportamientos termo-higrométricos definidos por las diferencias espaciales de la rugosidad del espacio y la densidad de los edificios de Bahía Blanca, permitiendo explicar el clima de la ciudad a escala micro-local

Palabras clave: Escala micro-local; variaciones termo-higrométricas; Bahía Blanca

Abstract

The aim of this study was to analyze the thermo-hygrometric behavior in diverse urban landscapes. To carry it out, ten weather stations were designed and installed in different neighborhoods of the Bahía Blanca city (Argentina) during 408 days. One record of temperature and relative humidity was recorded every thirty minutes. Diverse statistical analysis was used to analyze the information. The study was carried out on different timescales: annual, seasonal, monthly, daily, day and night. The results allowed identifying different responses of the urban temperature and the humidity, allowing to explain the local climate. The site conditions and the roughness of the terrain were the most important elements to determine the behavior of these meteorological parameters.

Keywords: Micro-local scale; Thermo-hygrometric variations; Bahía Blanca city

1 Introducción

Las ciudades generan cambios en la atmósfera local creando un clima que difiere de las condiciones naturales de su entorno. De todas las modificaciones que generan las urbanizaciones, los cambios térmicos son los más conocidos por sus habitantes (Fuentes Pérez, 2014). El estudio de estos cambios, como consecuencia de la variabilidad climática, adquiere particular importancia dado que la población urbana se ha incrementado considerablemente en los últimos años.

Las variaciones del clima se atenúan en las ciudades debido a los cambios del paisaje. Las diferencias estructurales del espacio urbano a escala micro local modifican el comportamiento térmico y de la humedad relativa. Estos parámetros meteorológicos varían en primera instancia según el tamaño de la ciudad (Oke, 1973), según el tipo de construcciones y la distancia entre las mismas (Szegedi & Kircsi, 2003), según los materiales que los componen (Correa *et al.*, 2003; Fernández *et al.*, 2004), según la cantidad de calor antrópico generado por las actividades humanas *per se* (Fernández *et al.*, 2004) y según la topografía urbana. El calor antrópico es una fuente artificial de energía derivada de la utilización de materiales de calefacción, refrigeración, transporte, fábricas y aerosoles que contaminan el aire y afectan la insolación y el balance de calor urbano (Cuadrat & Pita, 2000). Es por esta razón que la mayor parte de las ciudades del mundo presenta una diferencia térmica con su entorno rural (Kolokotsa *et al.*, 2009).

El emplazamiento y densidad de plazas, calles, edificios e industrias modifican las condiciones atmosféricas y la rugosidad del paisaje, afectando principalmente a las condiciones aerodinámicas de la superficie. Por otro lado, el reemplazo del suelo natural por materiales de construcción como el hormigón, los ladrillos, el acero, asfalto, etc., cambian las propiedades físicas y con ello impactan en la conductividad térmica y la capacidad calórica de las ciudades, siendo éstas mayores que las áreas periurbanas y rurales. Esto modifica la temperatura urbana nocturna dado que estos materiales absorben calor durante el día y lo liberan por la noche (Ferrelli *et al.*, 2015).

Para el estudio a escala micro-local es importante disponer de una serie de tiempo en alta

frecuencia. En la literatura son escasos este tipo de estudios. Entre ellos se puede mencionar al realizado en la ciudad de Hania, Creta (Kolokotsa *et al.*, 2009). En ella, se instalaron nueve estaciones de monitoreo ambiental durante seis meses. Los resultados permitieron establecer las diferencias climáticas a escala micro-local y estudiar la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa durante distintos eventos extremos tales como olas de calor, vientos del oeste, precipitaciones, etc.

Las diversas condiciones de sitio de las ciudades generan distintos comportamientos climáticos. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar las variaciones termo-higrométricas en distintos paisajes urbanos. El área de estudio de la presente investigación fue la ciudad de Bahía Blanca, localizada al sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Para realizar el estudio se implementaron nueve estaciones meteorológicas. Las mismas se instalaron en distintos barrios de la ciudad durante un período de 408 días. Esto permitió analizar la distribución espacial de la temperatura urbana y la humedad relativa y su comportamiento anual, estacional, mensual, diario, diurno y nocturno en los distintos paisajes urbanos.

2 Área de Estudio

La ciudad de Bahía Blanca está localizada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) en el partido homónimo (38° 35' Sur, 62° 13' Oeste) (Figura 1). Los valores altimétricos de la ciudad oscilan entre los 8 y los 74 msnm. La altura varía de mayor a menor en sentido norte-sur. Los barrios del norte de la ciudad se localizan en un nivel de terraza que supera los 60 m. Esta zona se caracteriza por un rápido crecimiento relacionado con la edificación y con el surgimiento de los centros comerciales (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). En general, el trazado de su plano es en forma de damero interrumpido en ciertas ocasiones por la altura.

La ciudad presenta una temperatura media anual de 15,5 °C y las precipitaciones medias anuales de 654 mm. Los vientos dominantes son del cuadrante norte, noroeste y oeste con velocidades medias máximas de 70 km h⁻¹ (Servicio Meteorológico Nacional, Argentina, 2014). En lo que respecta a la población, la ciudad de Bahía Blanca tenía 301.531 habitantes (Instituto Nacional

de Estadísticas y Censos (INDEC, 2010)) en el año 2010. La ciudad es la más importante de la región debido a que en ella se emplaza uno de los puertos más importantes de Argentina.

3 Metodología

La metodología aplicada en este estudio se dividió en cuatro pasos interrelacionados entre sí. Se diseñaron estaciones meteorológicas para monitorear las condiciones termo-higrométricas de diferentes barrios de la ciudad. Posteriormente, se realizó un experimento para calibrar los sensores y corroborar que la información adquirida por cada uno de ellos sean estadísticamente similares. En una tercera instancia, se instalaron las estaciones en distintos sectores de la ciudad con características urbanas diferentes y se midió durante 408 días.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico de la información obtenida. Cada una de estas etapas se detallan a continuación.

3.1 Desarrollo de Estaciones Meteorológicas

Se diseñaron estaciones de monitoreo de temperatura del aire y humedad relativa. Estas se denominaron *Estaciones Portátiles* (EP). La frecuencia de registro de los datos fue 30 minutos. Las mismas estuvieron constituidas por una caja plástica que recubrió los sensores junto con una fuente de alimentación de energía. En la parte inferior se localizó una red plástica que contuvo los sensores y permitió la circulación del aire. Al lado de esta se incorporó un adaptador que permitió conectar cada EP con una computadora portátil lo que facilitó la descarga de la información (Figura 2).

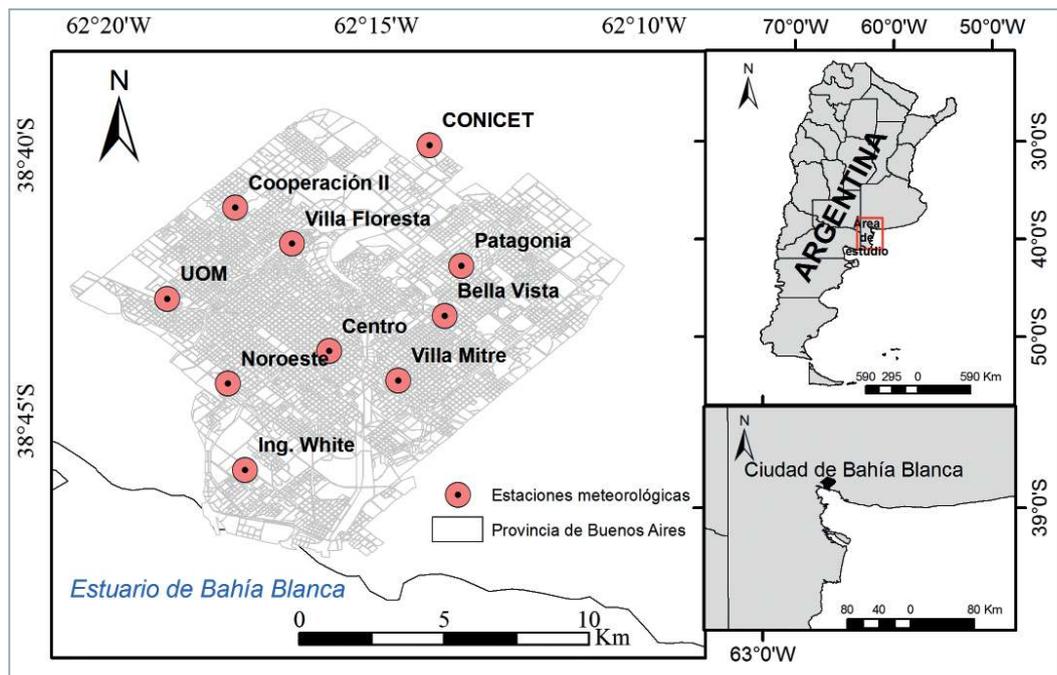


Figura 1 Localización de la ciudad de Bahía Blanca. Modificado de Ferrelli 2016a.



Figura 2 Conexión de las EP con una computadora portátil. Fuente: Ferrelli & Piccolo, 2017.

3.2 Calibración de las EP

Se calibraron los sensores de la EP (denominada 0) con una estación meteorológica perteneciente al Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS, CONICET). Ambas se localizaron en el mismo lugar durante 5 días y se realizó un análisis estadístico de la información obtenida por ambas estaciones meteorológicas. El mismo consistió en una comparación de los valores medios y un análisis de Fisher. De esta forma se corroboró que la primera de las estaciones funcione correctamente. Las temperaturas medias fueron 0,1 °C diferentes, lo que se consideró dentro del error de fábrica del sensor y no se encontró evidencia de que los valores medios fuesen estadísticamente distintos.

Luego de este procedimiento, la EP 0, fue considerada como “estación testigo” y se la utilizó para calibrar las demás EP (1-8). Se ubicaron las 9 EP en un espacio a la sombra a la intemperie con circulación del aire. El intervalo de toma de datos fue de 5 minutos y el período de muestreo se extendió durante 14 días. Al comparar la información se corrigieron los errores de diseño, los datos erróneos derivados de los dispositivos, la falla en el consumo de batería y la validez de los datos obtenidos.

3.3 Instalación de las Estaciones Portátiles

Las EP se instalaron en diferentes barrios de la ciudad de Bahía Blanca (Figura 1). Las mismas se colocaron en sitios con características similares: a la sombra, protegidas de la lluvia, con circulación de aire y a 2 metros de altura. El intervalo de muestreo fue de 30 minutos.

Una vez que las EP fueron instaladas, se las renombró para su análisis considerando el espacio que representaron. Esta nomenclatura tuvo en cuenta el nombre del barrio de la ciudad en el que fueron instaladas. De esta forma se denominaron:

- 1) **EP – Centro:** Se localizó en el centro de la ciudad. Representó un espacio urbano de alta densidad de edificios en altura, con gran cantidad de tránsito vehicular, comercios, densidad de población y escasez de espacios verdes.
- 2) **EP – Villa Mitre:** Se localizó en el centro-sudeste de la ciudad. Representó un espacio construido con alta densidad de viviendas.

- 3) **EP – Bella Vista:** Representó las condiciones de un espacio verde. Se instaló sobre el Parque Independencia localizado en el este de la ciudad.

- 4) **EP – Villa Floresta:** Se localizó en las proximidades del Parque de Mayo. Representó las condiciones de los espacios urbanizados próximos al mismo.

- 5) **EP – Patagonia:** Fue instalada en un barrio-parque. Se localizó en el noreste de la ciudad. Representó un espacio urbano con gran densidad de arbolado urbano, presencia de calles pavimentadas y sin pavimentar y con una densidad de edificación menor a las anteriormente descritas.

- 6) **EP – Cooperación II:** Se localizó en el oeste de la ciudad. Representó un barrio residencial con poco tránsito vehicular, menor densidad de construcciones y calles pavimentadas.

- 7) **EP – Noroeste:** Se localizó en el sudoeste de la ciudad y representó un espacio con construcciones residenciales de escasa altura.

- 8) **EP – UOM:** Se localizó en el oeste-sudoeste de la ciudad, representó un barrio residencial. Fue un espacio similar al de Cooperación II pero con menor densidad de edificaciones, calles sin asfaltar y mayor número de terrenos al descubierto.

- 9) **EP – Ingeniero White (Ing. White):** Fue instalada sobre la zona portuaria de la ciudad. Se caracterizó por su cercanía al mar, escasa densidad de construcciones y abundante presencia de terrenos baldíos o al descubierto.

- 10) **EP – CONICET:** Se denominó de esta manera a la estación perteneciente al CERZOS. Representó un espacio peri-urbano y periférico dado que durante el período de estudio no presentó edificaciones que pudiesen modificar los parámetros de humedad relativa y temperatura del aire. El intervalo de muestreo de esta estación fue diario, por lo que no se la incorporó a los análisis diurnos y nocturnos.

A partir de esta instalación se definieron distintos paisajes urbanos, considerando que las distintas coberturas del suelo presentes en una

ciudad se relacionan con un patrón espacial que es común a un mismo espacio. Son ejemplos, las zonas industriales, el centro de la ciudad, las distintas densidades edilicias, la altura de los edificios, la predominancia de arbolado urbano, etc. (Bello Fuentes, 1994). A partir de entonces se definieron: **Costa**. Representado por la estación Ingeniero White, **Barrios residenciales**. correspondiente a Noroeste, UOM, Cooperación II, constituyen aquellos espacios con edificación de escasa altura. **Centro de la ciudad**. determinado por las estaciones centro y Villa Mitre, ambos espacios representan espacios altamente edificados con escaso arbolado urbano y plazas. **Periferia norte**. Representado por la estación CONICET, es un espacio influenciado por los vientos secos provenientes del sector norte por lo que su comportamiento es distinto al resto de la ciudad. **Parques**. incorpora las estaciones de Villa Floresta y Bella Vista, representativas del Parque de Mayo y del Parque Independencia, ambos espacios con abundante vegetación arbórea y escasa edificación. **Barrio-parque**. Incorpora la estación de Patagonia. Corresponde a un espacio con edificaciones residenciales pero contiene abundante vegetación arbórea y calles sin pavimentar (Figura 1).

3.4 Análisis Estadístico

El período de muestreo se extendió durante 408 días, comenzando el 27 de octubre de 2013 y finalizando el 8 de diciembre de 2014. Se registraron 19.584 datos por cada variable de cada EP, es decir 325.512 en total. La información se analizó en distintas escalas temporales: anual, estacional, mensual, diaria, diurna y nocturna. Se utilizaron análisis estadísticos estándar para el cálculo de los valores medios de las distintas variables. Con la información diaria se aplicó una Transformada Rápida de Fourier (aplicada en estudios como el de Beigt & Piccolo, 2009) para determinar los períodos principales y las características de cada variable en los distintos sitios de la ciudad. Estas escalas permitieron estudiar los efectos que los espacios construidos tienen sobre los parámetros medidos durante las horas de luz y la noche. Para discriminar los registros diurnos de los nocturnos, se consultó la tabla de horas de luz para la ciudad de Bahía Blanca del Servicio de Hidrografía Naval (SHN, Argentina, <http://www.hidro.gov>).

ar/observatorio/sol.asp). Además, los resultados fueron analizados con un test de Diferencia Mínima Significativa DMS de Fisher. Este test fue aplicado con éxito para comparar valores medios en otros estudios realizados en distintas partes del mundo (p.e. Santos *et al.*, 2004; Martínez-López *et al.*, 2014;). El mismo se aplicó para corroborar la hipótesis de que la información adquirida en cada barrio (temperatura y humedad relativa) están normalmente distribuidas y tienen una desviación estándar igual (Crawley, 2005). El mismo se aplicó considerando un $\alpha = 0,01$. Para su desarrollo, el test de Fisher se basa en un coeficiente derivado de la suma de cuadrados de los residuos, considerando:

$$F = \frac{\left(\frac{R_0 - R_1}{m}\right)}{\left(\frac{1 - R_0}{n - k}\right)}$$

donde R_0 es el coeficiente del modelo sin registrar, R_1 es el registrado, m es el número de restricciones de los coeficientes, k representa a los coeficientes sin restricciones y n es el tamaño de la muestra. Finalmente, el análisis de la información se realizó con los Softwares Statistica 7, Grapher 6 y la representación espacial de los resultados se realizó con el ArcGIS 9.3 mediante el método de interpolación Kriging ordinario de tipo esférico.

4 Resultados y Discusión

4.1 Análisis Anual

El período de estudio correspondió a un año lluvioso. Precipitó 862 mm, 200 mm por encima del valor medio (Ferrelli, 2016b). Esto generó que los parques y los barrios parques presentaran humedad relativa alta. La velocidad del viento medio fue 6,6 kmh^{-1} y la máxima ráfaga 33,1 kmh^{-1} . La dirección predominante fue noroeste (36 % del período de estudio - 147 días).

La temperatura media de la ciudad es 15,3 °C (Ferrelli, 2016b). El período de estudio se caracterizó por ser más cálido que la normal. El año 2013 presentó una media de 16 °C y el 2014 de 16,6 °C. A escala micro climática, la temperatura media anual fue mayor en las zonas con mayor urbanización (18,3 °C) y menores en la periferia norte (16,8 °C). Los parques presentaron valores de 17,8 °C, la costa 17,6 °C y menores registros urbanos correspondieron

a los barrio-parque (17,2 °C). En este aspecto cabe destacar que los espacios verdes urbanos generan temperaturas más bajas debido a que reducen la emisión de onda larga producida por las superficies construidas sometiendo a los habitantes a reducir su carga radiante (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003). Por otro lado, la zona más húmeda fue la costera con 66 %, seguido por los parques (60 %) los barrios residenciales (56 %). Las más secas fueron la periferia norte (50 %) y el centro (54 %).

La temperatura media del período de estudio fue mayor en el centro de la ciudad (18,2 °C). La periferia norte y los barrio-parque presentaron los valores intermedios (es decir, aquellos valores que se encuentran entre el máximo y el mínimo registro medido). Los menores registros correspondieron a los barrios residenciales. La humedad relativa media del período presentó los menores valores en el centro y la periferia norte. Esto coincidió con la dirección del viento, dado que el 80 % de los días de medición presentaron vientos del cuadrante norte. Los mayores valores se presentaron en la zona costera, debido a la cercanía al mar y a la presencia de las brisas marinas que modifican este parámetro (Huamantín Cisneros *et al.*, 2011; Alomar Garau, 2013) (Figura 3). Además las zonas de parques y barrios-parque localizados al noreste y este de la ciudad registraron valores elevados de humedad relativa. Las diferencias termo-higrométricas se relacionan con las distintas condiciones de sitio ya que las mismas impactan no sólo en las condiciones atmosféricas locales sino que además favorecen la

pérdida de suelos de alto valor productivo, pérdida de la capacidad de infiltración del acuífero, pérdida de biodiversidad, incremento de las presiones sobre áreas de interés ecológico y paisajístico y saturación de las vías de comunicación (Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Luber & McGeehin, 2008) Todo ello altera la calidad de vida de la población.

Estadísticamente se evidenció la existencia de cuatro patrones térmicos en los diferentes barrios. Por un lado, el centro presentó temperaturas medias más cálidas que el resto de la ciudad. Las localidades de parques y la costa presentaron valores medios estadísticamente iguales. Se caracterizaron por ser las áreas más frías de la ciudad. Los barrios parque y los barrios residenciales fueron cálidos pero menores que el centro de la ciudad. Finalmente se destaca la periferia norte. La misma al estar más afectada por vientos del cuadrante norte (secos y cálidos) fue el espacio urbano con mayor amplitud térmica (Tabla 1).

	Anual	Estacional				Diurno	Nocturno
		V	O	I	P		
Centro	A	A	A	A	C	A	A
Parques	C	AB	A	D	A	B	B
Barrio Parques	B	AB	B	B	AB	B	B
Barrios Residenciales	B	AB	A	C	B	AB	B
Costa	C	B	B	D	C	C	B
Periferia Norte	D	AB	C	E	C	-	-

Tabla 1 Test de Fisher aplicado a la temperatura del aire en los distintos paisajes urbanos de la ciudad de Bahía Blanca.

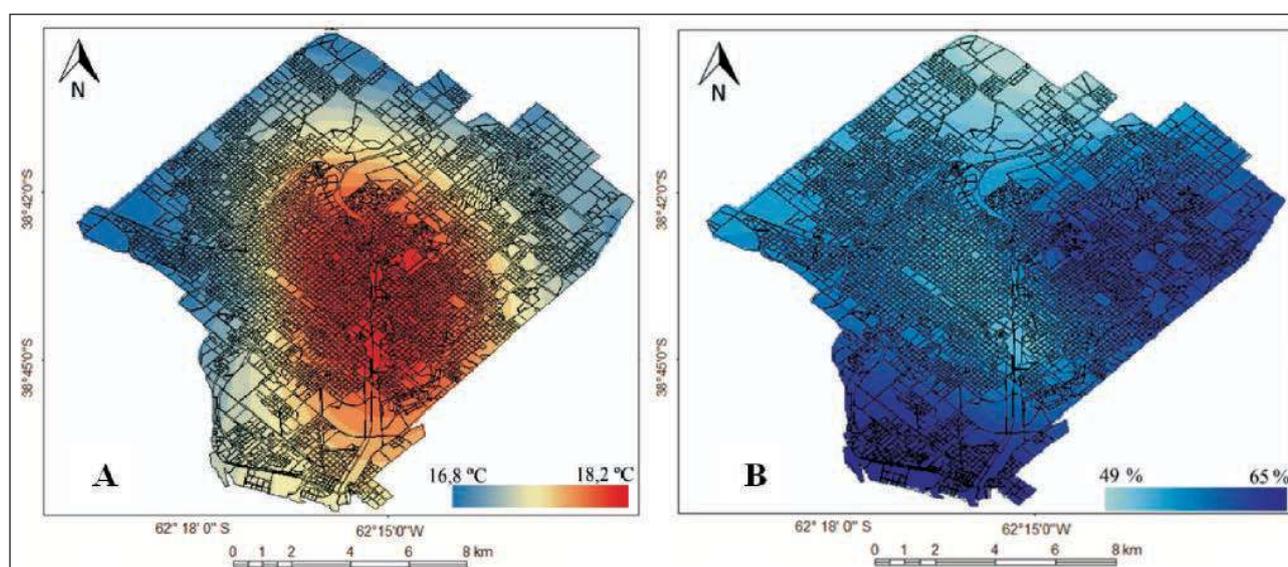


Figura 3 Distribución espacial de A. Temperatura media y B. Humedad relativa media anual para el período de estudio.

En lo que respecta a la humedad relativa también se identificaron cuatro patrones. El primero de ellos representa a las áreas más secas de la ciudad y está conformado por el centro, los barrios residenciales y la periferia norte. En ellos la circulación de los vientos se ve interrumpida por la rugosidad del espacio. Los barrios parque tuvieron una similitud con los espacios construidos pero los registros de humedad fueron más elevados. Esto se debe a la alta densidad de arbolado urbano y a las edificaciones más separadas. Los parques y la costa fueron los espacios con mayor humedad, sin embargo hay evidencia estadística de que sus valores medios fueron distintos entre sí (Tabla 2).

	Anual	Estacional				Diurno	Nocturno
		V	O	I	P		
Centro	A	A	A	A	A	A	A
Parques	B	C	B	B	B	B	B
Barrio Parques	C	C	B	C	B	C	C
Barrios Residenciales	A	B	A	D	A	D	D
Costa	D	D	C	E	C	E	E
Periferia Norte	A	B	D	F	D	-	-

Tabla 2 Test de Fisher aplicado a la humedad relativa en los distintos paisajes urbanos de la ciudad de Bahía Blanca.

4.2 Análisis Estacional

A escala estacional se observaron las mayores variaciones. Durante el verano las diferencias térmicas entre los distintos paisajes urbanos fueron menores. La zona más cálida fue el centro y la más fría la costa. Sin embargo, la variación térmica entre estos espacios fue de sólo 1,1 °C. El otoño fue la estación en donde se registraron las mayores diferencias. En esta estación del año los parques fueron más cálidos (17,9 °C) seguidos por el Centro urbano (17,5 °C), mientras que los más fríos fueron la costa (15,7 °C) y la periferia norte (14,7 °C). Durante el invierno la ciudad fue más cálida que su periferia con diferencias de hasta 4,4 °C. Finalmente en la primavera el centro de la ciudad fue más cálido (19 °C) y los más fríos fueron los parques (15,3 °C), los barrio parque (15,9 °C) y los barrios residenciales (16,7 °C) (Tabla 3). Las diferencias estacionales de la temperatura están determinadas por la latitud, el período de insolación diferente según la estación del año y la diferencia estacional de la radiación incidente (López Gómez, *et al.*, 1990).

Durante el verano se observó que el centro de la ciudad fue más cálido que el resto de la ciudad, presentando un valor medio que fue estadísticamente diferente. En el otro extremo se identificó a la costa, la misma fue la más fría. El resto de la ciudad presentó evidencia de que su valor medio fue similar a estos dos espacios (Tabla 1). En lo que respecta a la humedad relativa el centro fue más seco y la costa más húmeda. Se encontró evidencia de igualdad de valores medios entre los parques y los barrio parques que representaron un espacio húmedo y entre los barrios residenciales y la periferia que fueron espacios secos (Tabla 2).

En el otoño, el centro, los barrios residenciales y los parques representaron el área más cálida con un valor medio estadísticamente igual. Los barrio parque y la costa fueron el espacio más frío y sus registros medios fueron iguales y la periferia norte representó un área con un comportamiento térmico distinto al resto de los espacios urbanos analizados (Tabla 1). La humedad relativa media más baja se presentó en el centro y los barrios residenciales en donde se encontró evidencia estadística de que los valores medios fueron iguales. Otra área estuvo representada por los parques y los barrio parque y la costa y la periferia norte presentaron valores medios distintos al resto de la ciudad (Tabla 2).

El invierno se calcularon valores medios estadísticamente diferentes en toda la ciudad exceptuando la región conformada por los parques y la costa. La humedad relativa en cambio fue distinta en toda la ciudad (Tabla 2).

Finalmente, la primavera puso de manifiesto que los barrio parque mantienen un patrón térmico entre los parques y los barrios residenciales ya que el test de Fisher permitió establecer que su valor medio fue similar a otros espacios urbanos. Además el centro, la periferia norte y la costa presentaron valores estadísticamente iguales. Esto fue así porque hubo mucha alternancia entre vientos del norte y del sur (Tabla 1). La humedad relativa fue menor en las zonas construidas. No se encontró evidencia estadística de que los valores medios del centro y los barrios residenciales fuesen distintos. La misma situación se observó entre los barrio parque y los parques. Finalmente la costa y la periferia norte presentaron ambas una situación particular (Tabla 2).

Paisaje Urbano	Parámetro	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Centro	Temperatura (°C)	23,7	17,5	14,4	17,9
	Humedad relativa (%)	45	59	54	57
Parques	Temperatura (°C)	23,1	17,9	11,9	15,3
	Humedad relativa (%)	53	63	69	57
Barrio Parque	Temperatura (°C)	23,2	15,9	10,4	15,9
	Humedad relativa (%)	45	63	59	58
Barrios residenciales	Temperatura (°C)	23,0	17,3	11,1	16,7
	Humedad relativa (%)	43	60	61	49
Costa	Temperatura (°C)	22,6	15,7	11,5	17,7
	Humedad relativa (%)	59	69	72	62
Periferia norte	Temperatura (°C)	23,5	14,7	10,2	18,6
	Humedad relativa (%)	43	52	49	45

Tabla 3 Valores estacionales de temperatura y humedad relativa de las EP.

4.3 Análisis Mensual

La temperatura del aire presentó el típico patrón mensual en la ciudad. La máxima temperatura se midió en el mes de febrero y la mínima en junio. Sin embargo, en la periferia norte se registró el máximo en el mes de diciembre de 2013. Los valores más elevados se obtuvieron en febrero en el centro (25,2 °C) y los barrios residenciales (19,4 °C). Los mínimos anuales correspondieron a la periferia

norte (8,8 °C) y los barrio-parque (9,5 °C) (Figura 4). Según Goetz *et al.* (2000) los espacios densamente arbolados representan la cobertura urbana más relevante ya que poseen un efecto moderador de la temperatura y ayudan a reducir la contaminación del aire. En el caso contrario, la reducción de los espacios verdes cambian el almacenamiento de calor y con ello se puede modificar la temperatura de la ciudad en relación con su entorno (Luber & McGeehin, 2008). La relevancia física de estos espacios es que tienen una gran biodiversidad. Además mejoran la calidad del aire, reducen las emisiones de dióxido de carbono, la contaminación sonora, mejoran los procesos de infiltración, reducen la carga radiante de los ciudadanos y generan zonas de confort climático. En síntesis, mejoran la calidad ambiental de la ciudad y previenen posibles problemas de anegamientos, exceso de calor, etc. (Quattrochi & Ridd, 1998; Goetz *et al.*, 2000; Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Weng *et al.*, 2004; Sepulveda Moreno, 2006; Sarricolea *et al.* 2006; Ultra-Carrió *et al.* 2010).

En lo referente a la humedad relativa se identificaron tres patrones: zonas secas, intermedias y húmedas. El primero de ellos fue observado en el centro y la periferia norte, en donde mantuvieron valores de hasta 15 % menores comparados con el resto de la ciudad. En el verano la humedad relativa osciló entre 38 y 51 %. En el otoño y en la primavera, estas zonas fueron las más secas. Las regiones con un comportamiento intermedio (entre el seco y el húmedo) fueron los barrios residenciales y los barrio parque. Los mínimos valores fueron en verano y los máximos en los meses de mayo y junio. Finalmente, el patrón húmedo correspondió a los parques y la costa. En estas zonas se registraron valores superiores al resto de la ciudad en la mayor parte del período de estudio (Figura 5).

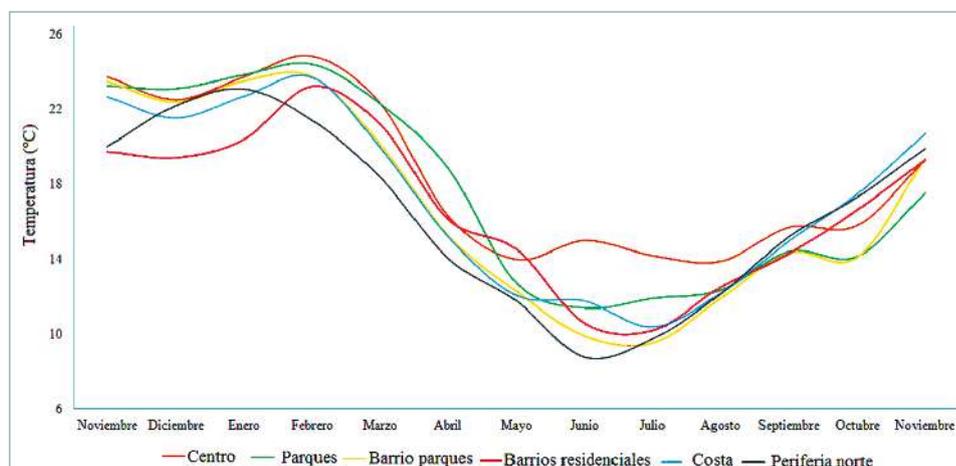


Figura 5 Humedad relativa mensual en los distintos paisajes urbanos durante el período noviembre 2013-noviembre 2014.

4.4 Análisis Diario

La distribución de la temperatura y la humedad relativa manifestó el patrón típico en todos los paisajes urbanos. A modo de ejemplo se presenta la distribución de la temperatura y la humedad relativa de la estación centro (Figura 6).

El análisis estadístico de las series de tiempo de la temperatura del aire aplicando la Transformada Rápida de Fourier fue similar en toda la ciudad, por lo tanto se muestran los resultados de la estación localizada en el centro urbano. En la densidad espectral de la temperatura del aire, se identificaron señales en el período mensual (32 días), diario (24 hs), semi-diurno (12 hs) y de 8 y 6 hs. Los máximos mensuales, diarios y semidiurnos son típicos de los espectros de la temperatura del aire pues indican las variaciones de este parámetro (por ejemplo: diferencias térmicas entre el día y la noche). Los máximos en 8 y 6 horas indicarían otro tipo de proceso que afecta la temperatura en esa frecuencia. Eventos tales como precipitaciones, nieblas y vientos junto con la generación de calor antrópico (ej. tránsito vehicular) podrían generar fluctuaciones térmicas en esos últimos dos períodos. La humedad relativa presentó un máximo en la frecuencia bimensual (60 días). Esta señal se relaciona con la estacionalidad de los vientos (Ferrelli, *et al.*, 2017). La ciudad se caracteriza por presentar una alternancia de masas de aire provenientes del sur caracterizadas por ser húmedas y frías con presencia de precipitaciones y otras provenientes del norte con vientos secos e intensos (Aliaga *et al.*, 2017). Esta señal no se encontró en la temperatura del

aire. El resto de las intensidades observadas en este parámetro coincidieron con el de la temperatura. Se destacaron cambios diarios (21 hs), semi-diurnos (11 hs) y de (7 hs) (Figura 7).

Los períodos de máxima energía coinciden en ambos parámetros indicando que los mismos fenómenos meteorológicos afectan su comportamiento. Por otro lado, los máximos en 8 y 7 hs podrían estar relacionados por efectos antrópicos. Esta misma situación fue observada por Vilani & Sanches (2013) en la ciudad de Chapada dos Guimarães, Brasil. Estos autores encontraron que los efectos de la topografía generaron cambios del orden de 124 hs hasta 7 hs. Los mismos fueron relacionados con la naturaleza de las ciudades. En ellas, el calor producido por fuentes artificiales como los cambios en las coberturas del suelo, el calor antrópico, las fuentes de contaminación como las industrias y las fábricas, la densidad de los edificios, el tránsito vehicular, etc. generaron modificaciones a escala micro-local (Vilanova & Matielle, 2009). Además, estos factores afectan el balance de energía urbano y los patrones climáticos urbanos (Gomes *et al.*, 2012). Los procesos que se relacionan con la emisión de contaminantes modifican la transmisión de calor urbano, pudiendo generar picos en períodos menores a 12 hs. Como consecuencia de estas modificaciones en la atmósfera urbana se producen cambios en el gradiente térmico que pueden afectar el confort de la población (Deosthali, 1999). Estos son causados por la sustitución del espacio natural producto de las edificaciones (Jáugueri Ostos & Heres Pulido, 2008). Los nuevos materiales tienen propiedades radiativas y conductivas muy diferentes

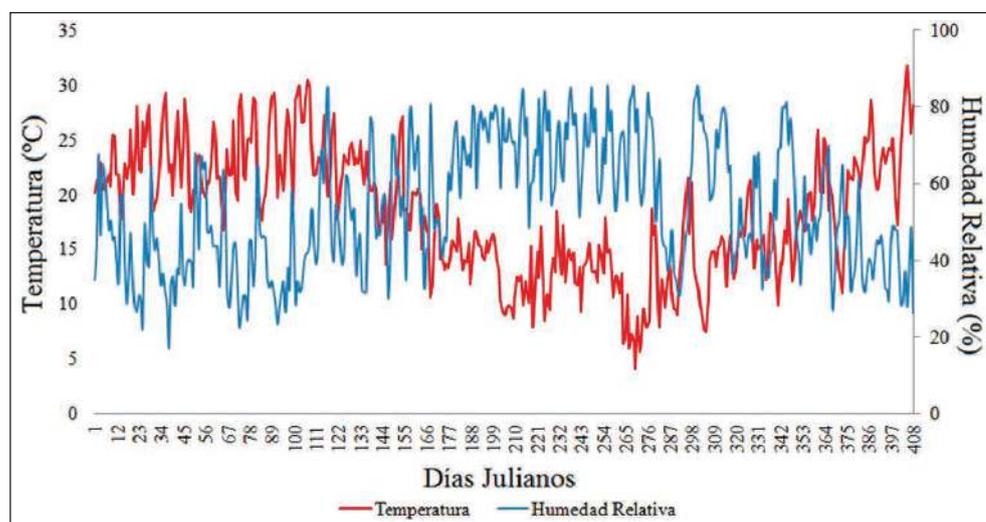


Figura 6 Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria en el centro para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.

al medio original que aumentan la retención y generación del calor (Grimmond, 2007) e impactan sobre la distribución de las precipitaciones a escala local (Jáuregui, 2004).

4.5 Análisis Diurno

Los resultados de la Transformada Rápida de Fourier indicaron la importancia de la escala semidiurna en el comportamiento de las variables estudiadas, por lo tanto se analizó su distribución espacial media durante la noche y el día en forma separada. La temperatura diurna media fue mayor en el centro (20,9 °C) y en los barrios residenciales los valores medios fueron superiores a los 20 °C. El menor registro se observó en la costa (17,8 °C) y los parques, barrio parque y la periferia norte tuvieron registros que oscilaron entre 18 y 19 °C.

En este caso, la morfología urbana produce barreras que modifican la dirección e intensidad del viento. En este contexto, el centro de la ciudad presenta una velocidad del viento menor que su periferia debido a la gran cantidad de obstáculos e infraestructura que debe atravesar (Piccolo *et al.*, 1994; Higuera, 1998).

La temperatura diurna media anual definió un centro urbano con temperaturas medias elevadas (20,9 °C). El noroeste de la ciudad presentó los valores intermedios y el norte, noreste y sur registraron los menores registros (17,8 °C). La diferencia térmica espacial fue 3,1 °C. La humedad relativa diurna anual fue menor en el centro (45 %) e intermedia en el norte y oeste. Las máximas se observaron en el noreste, en los barrio-parque y en la costa con 59 %. La diferencia espacial de este parámetro fue 14 % (Figura 8).

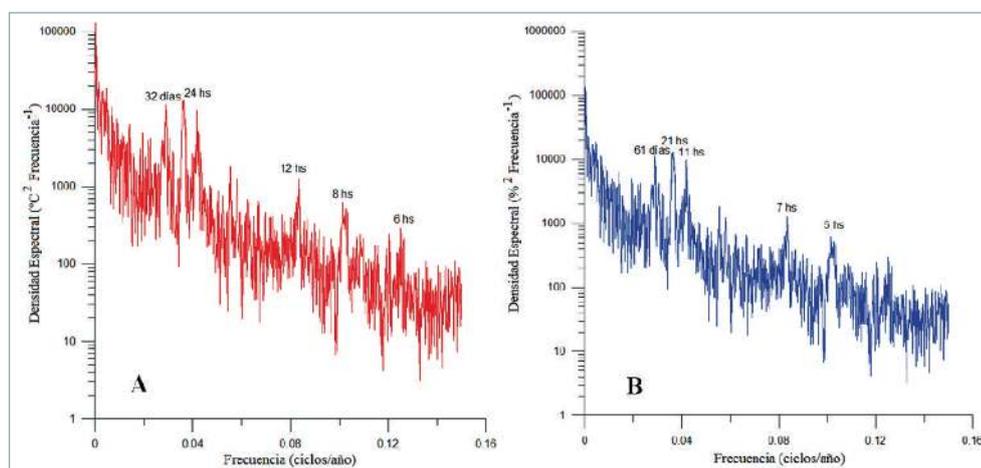


Figura 7 Densidad espectral de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) en el centro.

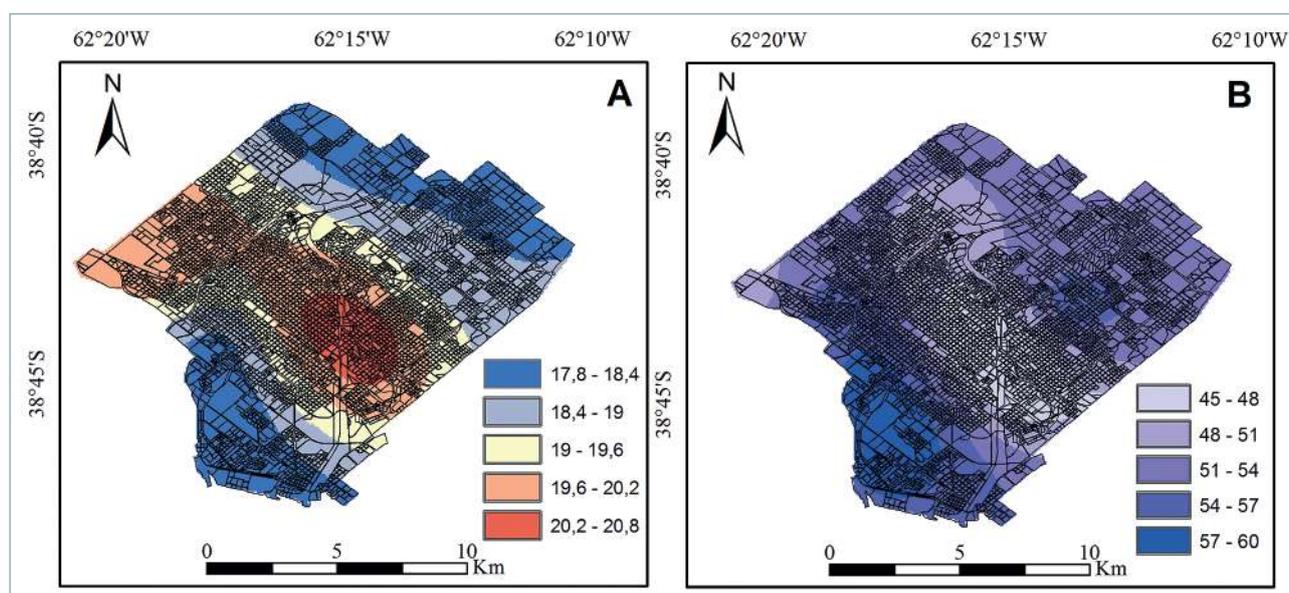


Figura 8 Distribución de la temperatura (°C) (A) y la humedad relativa (%) (B) diurna media anual para el período de estudio.

El análisis de la temperatura media diurna permitió identificar cuatro patrones térmicos en la ciudad. Por un lado el centro fue el espacio con la temperatura más elevada y estadísticamente diferente al resto de la ciudad. Por otro lado, los parques y los barrio parques tuvieron valores intermedios. Los registros medios de los barrios residenciales fueron similares a los del centro y a los de este último espacio. Finalmente la costa tuvo un comportamiento térmico distinto al resto de la ciudad (Tabla 1). En lo que respecta a la humedad relativa, todos los espacios urbanos analizados manifestaron valores medios que fueron estadísticamente diferentes (Tabla 2).

4.6 Análisis Nocturno

La temperatura nocturna media anual fue mayor en el Centro (17,6 °C). Los registros intermedios corresponden a los barrios residenciales con 16,4 °C y el resto de la ciudad tuvo valores medios inferiores a 16 °C. La periferia del sector oeste presentó los valores intermedios y las regiones del norte, noreste y sur los menores (14,7 °C). La diferencia espacial fue 2,9 °C. Por otro lado, la humedad relativa nocturna media anual fue mayor en la costa y la periferia norte (64 %) y los mínimos se registraron en una zona comprendida desde el centro-este hasta el oeste (53 %). La diferencia espacial fue 10 % (Figura 8).

Las coberturas del suelo urbano presentan una diferente inercia térmica lo que propicia una mayor

absorción de radiación de onda corta con una menor emisión de radiación de onda larga (Grimmond & Oke, 1998). En este caso, las construcciones densas presentes en el centro de la ciudad modifican la dirección e intensidad de los flujos de viento, intervienen en el paso de la radiación solar incidente y retardan los tiempos en los cuales la radiación de onda larga se libera a la atmósfera durante la noche (Montávez *et al.*, 2000; Papparelli *et al.*, 2011). Además, las zonas verdes urbanas de Bahía Blanca mostraron temperaturas más bajas en relación con las áreas construidas. Esto se debe a que estos espacios reducen la emisión de onda larga producida por las superficies construidas sometiendo a los habitantes a reducir su carga radiante (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003). La ausencia de vegetación en ciertos espacios de la ciudad altera la distribución espacial de la humedad relativa y la energía que desprenden de los edificios durante la noche ocasiona una fuente artificial de calor que da como resultado la formación de islas de calor (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Estadísticamente se demostró que durante la noche el centro de la ciudad presenta temperaturas y la humedad relativa fueron diferentes que el resto de la ciudad.

5 Conclusiones

Se identificaron diferentes patrones de comportamiento de la temperatura del aire y la humedad relativa del aire en los distintos barrios de la ciudad.

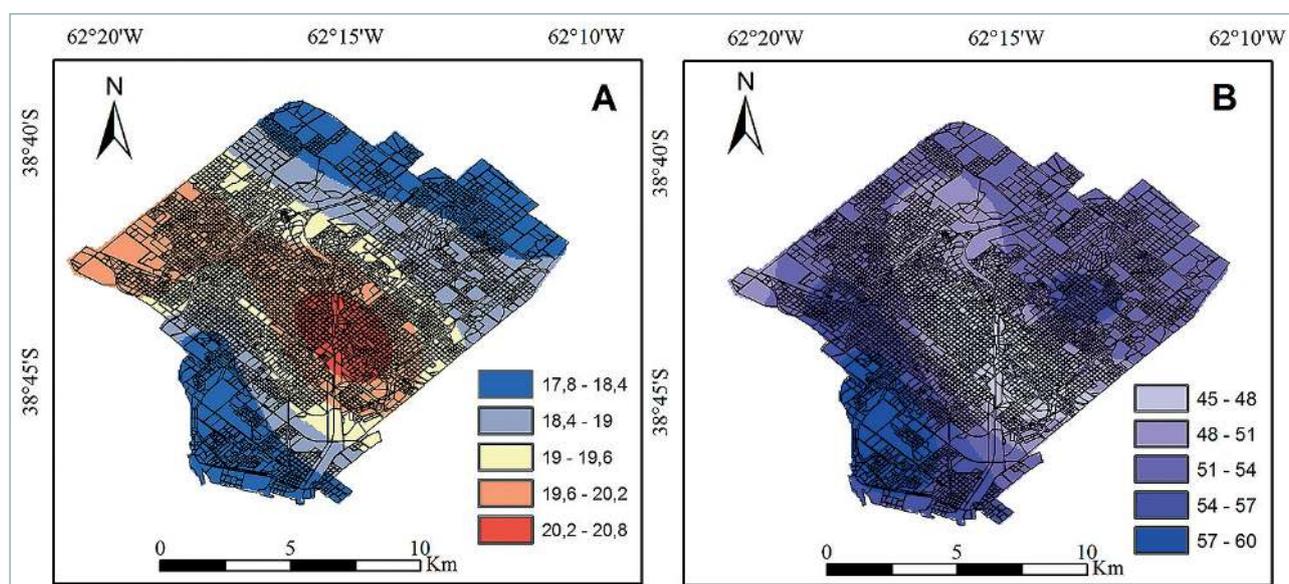


Figura 9 Distribución de la temperatura (°C) (A) y la humedad relativa (%) (B) nocturna media anual para el período de estudio.

Este conocimiento del clima microlocal puede ser utilizada para un mejor manejo del espacio urbano. Las diferencias espaciales de temperatura fueron mayores en el invierno debido a que el área costera, la periferia norte, los parques y barrio-parque presentaron temperaturas frías mientras que los espacios construidos y con mayor densidad de edificación mostraron temperaturas más cálidas. El comportamiento de la humedad relativa fue similar. En general fue mayor en el invierno, presentándose una zona céntrica seca y la zona del noreste y la costera más húmeda. En contraposición, las menores diferencias espaciales se encontraron en el verano.

Las temperaturas diurnas y nocturnas fueron mayores en el centro de la ciudad y menores en las zonas con vegetación y la costa. Esto pone de manifiesto que las edificaciones producen una fuente artificial de calor que hace que los habitantes del centro de la ciudad estén expuestos a temperaturas más elevadas tanto en el día como en la noche.

Se pudieron identificar distintos patrones de comportamiento térmico al analizar la información a distintas escalas temporales. El centro de la ciudad fue siempre más cálido que el resto de la ciudad. Lo destacable es que al analizar los registros nocturnos, este espacio fue el único que presentó un valor estadísticamente distinto al resto de la ciudad. Por otro lado, los parques presentaron valores estadísticamente iguales a la costa al analizarlo a escala anual. Sin embargo, a escala estacional su comportamiento térmico fue semejante al de los barrios parque. Por otro lado, los barrios residenciales presentaron temperaturas medias estadísticamente iguales a aquellas registradas en el centro y los parque-barrio parque a una escala diurna y durante el verano y la primavera. La costa presentó (exceptuando en la escala anual) un comportamiento térmico propio lo que evidencia el efecto diferencial de la costa sobre las temperatura generando más sensaciones de confort al ser más fría. Otro espacio que tuvo un comportamiento térmico distinto al resto de la ciudad en la mayor parte de las escalas de análisis fue la periferia norte. Esto es así debido a que está afectada por vientos secos y cálidos provenientes del norte y es más continental. Este viento fue el más predominante durante el período de estudio.

Por otro lado, la humedad relativa presentó, en general, una relación con la abundancia del arbolado

urbano de los espacios considerados. De esta manera, se observaron valores medios estadísticamente iguales entre los barrio parque y los parques y entre estos últimos con la costa (debido a su cercanía al mar). Los espacios construidos fueron generalmente similares entre sí y la periferia norte fue, en general, más seca que el resto de la ciudad.

Por lo expuesto se concluye en que todos los espacios urbanos analizados tienen un comportamiento termo-higrométrico particular. El estudio de los mismos es relevante para definir áreas de riesgo a exposición por altas temperaturas, a situaciones de desconfort, etc. Las condiciones de sitio y la rugosidad del terreno generan que estos parámetros meteorológicos sean distintos entre espacios con diferentes características urbanas. Por ello, se considera que el análisis a esta escala micro-local adquiere importancia para el diseño y desarrollo de planes de manejo del territorio urbano con vistas a futuras expansiones urbanísticas y con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y turistas.

6 Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y a la Universidad Nacional del Sur por financiar la totalidad de la presente investigación.

7 Referencias

- Aliaga, V.S.; Ferrelli, F. & Piccolo, M. C. 2017. Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37: 1237-1247.
- Bello Fuentes, V. 1994. La isla de calor y los usos del suelo en Guadalajara. *Serie Geográfica*, 4: 83-97.
- Capelli de Steffens, A.; Piccolo, M.C. & Campo de Ferrera, A. 2005. *Clima urbano de Bahía Blanca*. Editorial Dunken, Buenos Aires, Argentina, 199 p.
- Correa, E.N., Flores Larsen, S. & Lesino, G. 2003. Isla de Calor Urbana: Efecto de los Pavimentos. Informe de Avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7(2): 11.25-11.30.
- Crawley, M. J. 2005. *Statistics. An introduction using R*. John Wiley and Sons, Ltd. Reino Unido, 331 pp.
- Dimoudi, A. & Nikopoulou, M. 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35: 69-76.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) 2015. Página web: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- Ferrelli, F.; Bustos, M.L.; Huamantínco Cisneros, M.A. & Piccolo, M.C. 2015. Utilización de imágenes satelitales para el estudio de la distribución térmica en distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca

- (Argentina). *Revista de Teledetección*, 44: 31-42.
- Ferrelli, F. 2016a. Análisis del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Revista Geográfica Digital*, 13(26): 1-6.
- Ferrelli, F. 2016b. *Análisis del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca*. Tesis de Doctor en Geografía. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, Bahía Blanca, Argentina, 267 pp.
- Ferrelli, F. & Piccolo, M.C. 2017. Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 3: 91-100.
- Ferrelli, F., Bustos, M.L. & Piccolo, M.C. 2017. Variabilidad climática y sus efectos: aportes para el ordenamiento territorial de la costa norte del estuario de Bahía Blanca (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 26(1): 79-96.
- Fuentes Pérez, C.A. 2014. Islas de Calor Urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova Scientia*, 7: 495-515.
- Grimmond, S. 2007. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173: 83-88.
- Grimmond, S. & Oke, T. 1998. Heat storage in urban areas: Local scale observation and evaluation of a simple model. *Journal of Applied Meteorology*, 38: 922 – 940.
- Goetz, S. J., Prince, S. D. & Small, J. 2000. *Advances in Satellite Remote Sensing of Environmental Variables for Epidemiological Applications*. *Adv Parasitol*, 47: 289-307.
- Higueras, E. 1998. Estudio de las variables. Página web: http://habitat.aq.upm.es/ub/a003_1.html
- Jáuregui Ostos, E. & Heres Pulido, M.E. 2008. El clima/ Bioclima de un parque periurbano de la ciudad de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 67: 101-112.
- Jáuregui, E. 2009. The heat spells of Mexico city. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 70: 71-76.
- Kolokotsa, D.; Psomas, A. & Karapidakis, E. 2009. Urban heat island in southern Europe: the case study of Hania, Crete. *Solar Energy*, 83: 1871-1883.
- López Gómez A.; Moreno Jiménez, A.; Fernández García, F. & Palou, F. 1990. La temperatura diurna en la Aglomeración de Madrid, mediante imágenes remotas. *Revista de Estudios Geográficos*, 201: 705-732.
- Luber, G. & McGeehing, M. 2008. Climate change and Extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine*, 35: 429-435.
- Martínez-López, Y.; Fernández-Concepción, R.R.; Álvarez-Lazo, D.A.; García-González, M. & Martínez-Rodríguez, E. 2014. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de madera plástica producidos en Cuba respecto a los tableros convencionales. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(3): 227 – 236.
- Montávez, J.; Rodríguez, A. & Jimenez, J. 2000. A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20: 899-911.
- Oke, T. R. 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7: 769–779.
- Oltra-Carrio, R., Sobrino, J. A., Gutiérrez-Angonese, J., Gioia, A, Paolini, L. & Malizia, A.. 2010. Estudio del crecimiento urbano, de la estructura de la vegetación y de la temperatura de la superficie del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina. *Revista de Teledetección*, 34: 69-76.
- Paparelli, A.; Kurban, A. & Consulo, M. 2011. Isla de calor y ocupación espacial urbana en San Juan: Análisis evolutivo. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 4(7): 110 – 120.
- Piccolo, M. C.; Capelli de Steffens, A. & Campo de Ferreras, A. 1994. Efecto del viento en complejos edificios bahienses. *Revista Geofísica*, 41: 5-19
- Quattrochi, D.A. & Ridd, M.K. 1998. Analysis of vegetation within a semi-arid urban environment using high spatial resolution airborne thermal infrared remote sensing data. *Atmospheric Environment*, 32: 19-33.
- Santos, V.B.; Castilhos, D.D.; Castilhos, R.M.V.; Pauletto, E.A.; Gomes, A.S. & Silva, D.G. da. 2004. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociência*, 10: 333-338.
- Sarricolea, P. & Romero Aravena, H. 2006. Cambios de uso y coberturas en el suelo entre 1998 y 2004 y sus efectos sobre la configuración de la isla de calor de urbana de superficie de Santiago. *Repositorio Académico de la Universidad de Chile*, p. 1-4.
- Sepulveda Moreno, O. 2006. Problemas ambientales de Santiago: Isla de calor y edificios de vidrios. *Boletín de Geografía*, 24: 45-55.
- Szegedi, S. & Kircsi, A. 2003. *The development of the urban heat island under various weather conditions in Debrecen, Hungary*. University of Debrecen, Hungary.
- Vilani, M. & Sanchez, L. 2013. Análise de Fourier e Wavelets aplicada à temperatura do ar em diferentes tipologias de ocupação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (12): 1340–1346.
- Vilanova, S.R.F. & Maitelli, G.T.A. 2009. importância da Conservação de áreas verdes remanescentes no Centro Político Administrativo de Cuiabá-MT. *UNICiência*, 13: 55-71.
- Weng, Q.; Lu, D. & Shubring, J. 2004. Estimation of land surface temperature - vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89: 467-483.