



# **Universidad Nacional del Sur**

Departamento de Geografía y Turismo

**TESIS DE DOCTOR EN GEOGRAFÍA**

**ANÁLISIS DEL CLIMA LOCAL Y MICRO-LOCAL DE LA CIUDAD DE BAHÍA  
BLANCA**

**FEDERICO FERRELLI**

**BAHIA BLANCA, ARGENTINA**

**2016**

## **Prefacio**

Este trabajo se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido previamente presentado para la obtención de otro título en esta universidad u otra. La misma contiene los resultados de investigaciones realizadas en el ámbito del Departamento de Geografía y Turismo durante el período comprendido desde el 1 de abril de 2012 y el 1 de marzo de 2015, bajo la dirección de la Dra. María Cintia Piccolo.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el .../.../..., mereciendo la calificación de .....(.....).

*A mi familia*

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a las instituciones y a las personas que hicieron posible este logro. En primer lugar a mi directora María Cintia Piccolo por el acompañamiento y el apoyo durante todo el período de formación. A Raúl Rivas y Facundo Carmona por tener siempre una excelente predisposición al momento de contestar mis dudas. A Gerardo Perillo por ayudarme con las campañas y por darme consejos útiles para mi futuro. A Guillermo Ángeles por su esfuerzo y dedicación durante el primer año del doctorado. A Alejandro Vitale por diseñar el instrumental necesario para recolectar los datos que fueron esenciales para realizar esta tesis.

Por otro lado, quiero agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por haber financiado mi beca de posgrado. Al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) y a la Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo por haberme dado el espacio para desarrollar mis actividades.

Además quiero destacar la buena predisposición, atención, ayuda y generosidad de las personas que me permitieron colocar las estaciones meteorológicas en sus casas: Caty, Luján y Rodrigo, Andrea, Ana y Maxi, Adriana, Cintia y Gerardo, Vanina y su familia, Eugenia y Sebastián, al personal de la Secretaría de Posgrado de Colón 80 y al del CERZOS. Además y como siempre quiero agradecerle a mi amiga incondicional Vicky y a su familia por su ayuda en las campañas y su motivación constante.

A mis compañeros del IADO y de la UNS que me guiaron, me ayudaron y me aconsejaron durante estos 4 años: Ana Laura, Josefina, Belén, Vanina, Luján, Melisa, Vanesa B. y Clara.

Este logro no hubiese sido posible sin la colaboración de Ernesto Alberdi ya que me ayudó durante todo el período de formación y el procesamiento de datos, brindándome muy buena energía con su optimismo, profesionalidad, consejos, compañerismo y amistad. Desde donde estés, muchas gracias.

Finalmente quiero agradecerle a mi madre, mis hermanos, mis abuelos, a Andrés, Marta, Antonio y Alvarito por el acompañamiento incondicional y por apoyar siempre todas mis decisiones.

Federico Ferrelli

## RESUMEN

Los estudios climáticos se realizan en distintas escalas de análisis espacio-temporales. Se pueden estudiar procesos globales, regionales, locales y micro-locales. Los dos últimos hacen referencia a los espacios urbanos y generan variaciones climáticas en un territorio pequeño dado que sus características radiativas, térmicas, físicas y aerodinámicas difieren de las de su entorno natural.

El objetivo principal de esta investigación fue estudiar el clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca y comparar los resultados con estudios previos. De esta forma se pudieron evaluar los efectos de la variabilidad climática, del aumento de la población, etc. en el clima local.

A escala regional se estudió la variabilidad climática de Bahía Blanca a partir del análisis de 50 años de registros meteorológicos diarios. Se aplicaron distintas escalas temporales de análisis: decádica, interanual y estacional con el objetivo de caracterizar el comportamiento temporal de las variables de temperatura del aire, humedad relativa, precipitaciones y velocidad máxima del viento. La temperatura del aire se incrementó  $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la velocidad máxima del viento se redujo  $7,5\text{ km h}^{-1}$  y la humedad relativa presentó dos ciclos diferenciados, marcando períodos húmedos y secos. El análisis de las precipitaciones diferenció en el período de estudio dos eventos extremadamente secos y dos extremadamente húmedos.

Para estudiar la Isla de Calor Urbana se diseñaron instrumentales que registraron datos en alta frecuencia (2 Hz) basado en electrónica de código abierto. Este instrumental permitió monitorear el ambiente urbano con alta resolución espacial y temporal. Asimismo, permitió un aumento de la cobertura espacial y la disminución de los tiempos de medición en relación con los métodos tradicionales. Se comparó la distribución térmica urbana estival e invernal observados en 1985 y 2014. Durante este período, el crecimiento urbano de la ciudad de Bahía Blanca modificó la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa generando un aumento de las condiciones de desconfort en la población.

Se realizó por primera vez la caracterización térmica de la ciudad y su relación con las distintas coberturas del suelo urbano, el estudio de la expansión urbana y su relación con el Índice Normalizado de Vegetación a partir del procesamiento digital de imágenes satelitales. Se

calculó una expansión urbana de 110 % desde 1986 hasta 2014. Como consecuencia los valores de Temperatura de Superficie Terrestre (TST) y NDVI disminuyeron 0,6 °C y 0,32, respectivamente. La periferia y las áreas con escasa construcción fueron más cálidas que el centro de la ciudad (debido a que las imágenes satelitales son tomadas a la hora de la mañana, representando el estudio de la "Isla de frescor" o "Isla fría"). Las coberturas del suelo Periferia y Urbano Disperso fueron las que presentaron los mayores valores de TST y los menores fueron en el Centro y las Áreas Verdes.

Para el análisis a escala micro-local se diseñaron 10 estaciones de monitoreo de temperatura y humedad relativa. Se denominaron Estaciones Portátiles (EP) y registraron información en alta frecuencia (30 minutos) durante 408 días. Se localizaron en distintos sectores de la ciudad y permitieron analizar el comportamiento de las variables meteorológicas teniendo en cuenta las distintas condiciones de sitio. Las diferencias espaciales de temperatura en la ciudad de Bahía Blanca fueron mayores en el invierno. Las áreas más frías y húmedas fueron la costera, la periferia y las que tuvieron mayor densidad de vegetación urbana localizadas en el noreste. Los espacios construidos y con mayor densidad de edificación fueron cálidos y secos durante esta estación del año.

La información de las EP permitió analizar los cambios de la temperatura y la humedad relativa urbana durante distintos eventos meteorológicos tales como vientos fuertes del norte, del sur, olas de calor, olas de frío, tormentas, heladas y nieblas. Las olas de calor de verano incrementaron 8 °C la temperatura urbana. Los impactos fueron mayores en Villa Floresta, UOM, Villa Mitre y centro y menores en Patagonia y Noroeste. La ola de calor de invierno generó temperaturas más elevadas (3,6 °C) en Villa Floresta, CONICET y centro y menores en Patagonia e Ing. White. La ola de frío redujo la temperatura urbana en 4 °C. Los barrios más afectados fueron Cooperación II, UOM y Villa Floresta. Los vientos fuertes del norte aumentaron la 3,9 °C la temperatura de la ciudad afectando más intensamente los barrios de Bella Vista y Patagonia. Por otro lado los vientos fuertes del sur redujeron 4,1 °C la temperatura y tuvieron los mayores impactos sobre CONICET, Bella Vista y Cooperación II. Las heladas se presentaron en los barrios de CONICET, Cooperación II, UOM y Patagonia, mientras que las nieblas también se extendieron sobre Ing. White. Cabe señalar que durante todos los eventos analizados el centro fue más cálido que el resto de la ciudad.

El confort climático estival e invernal se analizó también con los datos adquiridos con las EP. Los espacios urbanos con alta densidad de edificaciones presentaron un 40 % de los días de verano con desconfort. Los espacios con mayor vegetación urbana y los cercanos al mar fueron los que tuvieron situaciones óptimas de confort.

Finalmente se aplicó el método DPSIR (por sus siglas en inglés *Driver-Pressure-State-Impact-Responses Framework*) y se diseñó un índice de estado actual de la ciudad de Bahía Blanca con el objetivo de realizar una propuesta de manejo urbano sostenible. Para llevarla a cabo se consideraron los datos climáticos y se incorporó un análisis la percepción de la población. Los impactos de las variables climáticas y sociales consideradas permitieron identificar 4 regiones urbanas bien diferenciadas entre sí. La participación de la población permitió enmarcar el trabajo en el paradigma de la Percepción Social del Cambio Climático.

## **ABSTRACT**

Climate studies are analyzed at different spatial and temporal scales and they might be studied in different global, regional, local and micro-local processes where the last two refer to urban spaces. The latter generates climate variations in a small territory due to its radiative, thermal, physical and aerodynamic characteristics which differ from those of their natural environment.

The main objective of this research was to study the local climate and the micro-climate of Bahia Blanca by comparing the results with previous studies. Therefore, the impact of climate variability, the increase of the population and the local climate were assessed.

In a regional scale, climate variability in Bahia Blanca was studied by analyzing 50 years of daily climate records. Different time scales of analysis were applied: decadal, interannual and seasonal in order to characterize the temporal behavior of air temperature, relative humidity, rainfall and maximum wind speed. It was observed that air temperature increased  $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the maximum wind speed was reduced in  $7.5\text{ km h}^{-1}$  and relative humidity presented two different cycles related to wet and dry periods. The analysis of rainfall differed in the study period in two extremely dry and two extremely wet events.

New electronic devices were designed to study the urban heat island which recorded data at high frequency (2 Hz) based on open code electronics. This instrument allowed monitoring the urban environment with high spatial and temporal resolution. It also facilitated the increase in spatial coverage and reduced measurement times which differ from traditional methods. It was compared summer and winter urban heat distribution observed in 1985 and 2014. During this period, the urban growth of the city of Bahia Blanca modified the spatial distribution of temperature and relative humidity causing an increase in disconformity in population.

For the first time, a thermal characterization of the city and its relationship with different coverage of urban land, urban expansion studies and their relationship with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from digital satellite image processing was performed. Urban expansion raised 110% from 1986 to 2014. As a result of this expansion values, Land Surface Temperature (LST) and NDVI area decreased  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  and 0.32, respectively. The periphery and areas with scarce buildings were warmer than the city center (due to images were registered in the morning). The land cover denominated Periphery and Urban Disperse were

those that showed the highest values of LST and the lowest were in the downtown and in the green areas.

For the analysis of a micro-local level, 10 monitoring temperature and relative humidity stations were designed. These stations were called Portable Station (PS) and recorded information during 408 days at high frequency (30 minutes). They were located in different areas of the city and they allowed analyzing the behavior of the meteorological variables by taking into account differences in site conditions. The spatial differences in temperature within the city of Bahia Blanca were higher in the winter. The cooler and wetter areas were the coastal periphery and those that had higher density of urban vegetation located in the northeast. Areas with buildings and greater density of buildings were warm and dry during this season.

Portables Stations' information permit to analyze the changes in temperature and relative humidity during different meteorological weather events such as strong winds from the north and south as well as, heat waves, cold waves, storms, frosts and fogs. The summer heat waves increased urban temperature in 8 ° C. The impacts were greater in Villa Floresta, UOM, Villa Mitre, the city center, and lower in Patagonia and Northwest. The winter heat wave generated higher temperatures (3.6 ° C) at Villa Floresta, CONICET, the city center and lower in Patagonia and Ing. White. The cold wave reduced the urban temperature in 4 ° C. The most affected districts were Cooperación II, UOM and Villa Floresta. Strong winds from the north increased in 3.9 ° C the temperature of the city by affecting neighborhoods such as Bella Vista and Patagonia. Conversely, strong winds from the south decreased in 4.1 °C and had the greatest impacts on CONICET, Bella Vista and Cooperación II. Frost occurred in the districts of CONICET, Cooperación II, UOM and Patagonia, while fogs also spread on Ing. White. It is fundamental to highlight that for all the events analyzed, the center was warmer than the rest of the city.

The summer and winter climate comfort was also studied with the data acquired by the PS. In addition, urban areas with high density of buildings showed 40% of summer days with discomfort. Places with more urban vegetation and those which are closer to the sea had optimal conditions of comfort.

Finally the DPSIR method was applied (Driver-Pressure-State-Impact-Responses Framework) and an index to observe the current state of the city of Bahia Blanca was designed. This allowed creating a sustainable urban management proposal. This proposal was carried out by considering climate data and a perception analysis of the population.

The impacts of climate and social variables identified four different urban regions. The participation of people permitted to frame this work in the paradigm of the Social Perception of Climate Change.

## **ÍNDICE GENERAL**

Prefacio	1
Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	4
Abstract	7

### **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

1. Introducción	14
1.1. Objetivos e hipótesis de trabajo	21
1.2. Área de estudio	24
1.2.1. El sudoeste de la provincia de Buenos Aires	24
1.2.2. La ciudad de Bahía Blanca	25

### **Capítulo 2. LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAHÍA BLANCA**

1. Introducción	28
2. Metodología	30
3. Resultados	32
3.1. La variabilidad climática en Bahía Blanca	32
3.1.1. Temperatura del aire	32
3.1.2. Precipitaciones	35
3.1.3. Velocidad máxima del viento	39
3.1.4. Humedad Relativa	41
4. Conclusiones	43

### **Capítulo 3. ISLA DE CALOR URBANA**

1. Introducción	44
2. Metodología	46
2.1. Diseño del instrumental	46
2.1.1. Calibración de los DICU	48
2.2. Análisis de la evolución de la ICU	51
3. Resultados	52
3.1. Condiciones atmosféricas de los días de medición de 2014	52
3.2. Modificaciones en la ICU	55

4. Conclusiones	62
-----------------	----

#### **Capítulo 4. EXPANSIÓN URBANA Y CAMBIOS EN EL CLIMA LOCAL**

1. Introducción	63
2. Metodología	64
3. Resultados	71
3.1. Expansión urbana y su relación con el NDVI y los parámetros meteorológicos	71
3.2. Impactos del crecimiento urbano sobre la TST	74
3.3. Análisis de la percepción climática de la población	76
4. Conclusiones	78

#### **Capítulo 5. RELACIÓN DE LAS COBERTURAS DEL SUELO CON LA DISTRIBUCIÓN TÉRMICA**

1. Introducción	81
2. Metodología	82
3. Resultados	88
4. Conclusiones	97

#### **Capítulo 6. EL CLIMA LOCAL Y MICRO-LOCAL DE LA CIUDAD**

1. Introducción	99
2. Metodología	100
2.1. Desarrollo de estaciones portátiles	101
2.2. Calibración de las EP	103
2.3. Instalación de las Estaciones Portátiles	105
2.4. Análisis estadístico	107
3. Resultados	108
3.1. Análisis anual	108
3.2. Análisis estacional	111
3.3. Análisis mensual	115
3.4. Análisis diario	118
3.5. Análisis diurno	119
3.6. Análisis nocturno	125
4. Conclusiones	131

## **Capítulo 7. EVENTOS METEOROLÓGICOS**

1. Introducción	134
2. Metodología	135
3. Resultados	138
3.1. Escala local	138
3.1.1. Vientos del norte y del sur	138
3.1.2. Olas de calor	142
3.1.3. Olas de frío	148
3.1.4. Tormentas	150
3.1.5. Heladas	152
3.1.6. Nieblas	154
3.2. Escala micro-local	156
4. Conclusiones	161

## **Capítulo 8. CONFORT CLIMÁTICO**

1. Introducción	164
2. Metodología	165
3. Resultados	167
3.1. Confort climático estival	167
3.2. Confort climático invernal	180
4. Conclusiones	184

## **Capítulo 9. PROPUESTA DE MANEJO URBANO SOSTENIBLE**

1. Introducción	186
2. Metodología	187
3. Resultados	193
3.1. Método DPSIR	193
3.1.1. Factores determinantes de los problemas ambientales de las ciudades costeras	193
3.1.2. Presiones sobre el ambiente urbano	195
3.1.3. Estado ambiental	196
3.1.4. Impactos que alteraron las condiciones del ambiente	197
3.2. Estado actual de la ciudad de Bahía Blanca	200
3.3. Propuesta de manejo urbano sostenible	204
3.3.1. Referidas al aumento y conservación de los espacios verdes	206

3.3.2. Referidas a la reducción de la contaminación sonora/acústica y del aire	208
3.3.3. Referidas a la reglamentación de las construcciones, re-pavimentación y control de desagües	209
3.3.4. Referidas a la capacitación social	211
4. Conclusiones	212
<b>Capítulo 10. CONCLUSIONES FINALES</b>	
Conclusiones finales	214
<b>Referencias</b>	218
<b>Anexos</b>	246
3.1. Cuestionario	247
5.1. Análisis diario de las Estaciones Portátiles	251
5.2. Densidad espectral de la temperatura y la humedad relativa de las Estaciones Portátiles	256
9.1. Pruebas de Normalidad de los datos de la EP-Centro	264

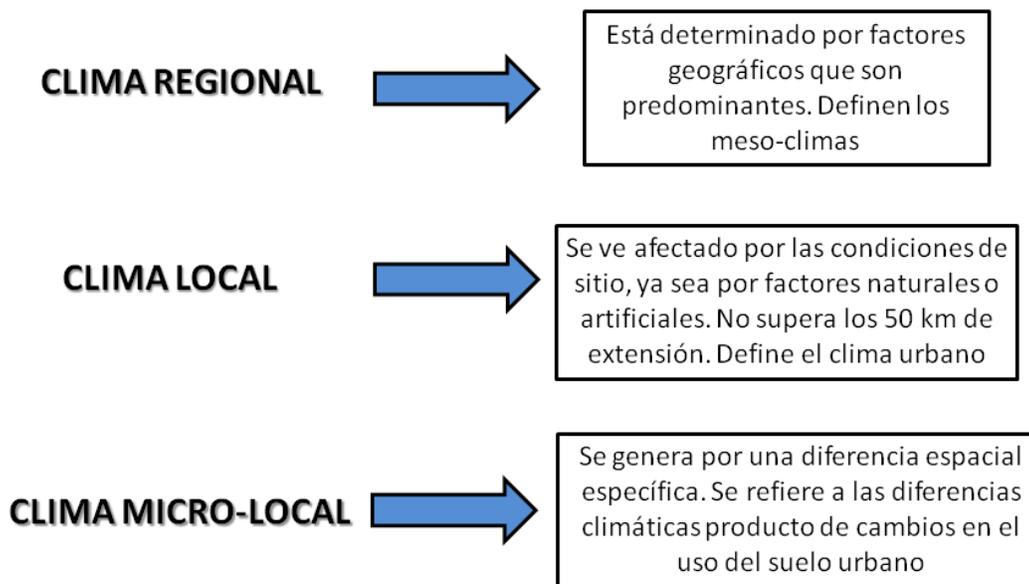
# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1. Introducción

Para llevar a cabo estudios climáticos en una región es importante considerar distintas escalas de análisis espaciales y temporales. Las mismas van a definir las variables meteorológicas dominantes a partir de sus distintos niveles de resolución espacial (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Las espaciales constituyen una de las herramientas más importantes para comprender las variaciones naturales del clima. Estas pueden observarse a niveles mundiales, regionales y locales. Mientras que las temporales permiten analizar los cambios originados desde los paleoclimas (millones de años) hasta las escalas atmosféricas que generan modificaciones en períodos de horas (Poveda, 2004). El estudio del clima y su variabilidad es importante por sus efectos sobre la población y sus actividades. Se destaca que la modificación de las precipitaciones adquieren, en este contexto, mayor relevancia ya que sus fluctuaciones pueden producir impactos socio-económicos y ambientales de grandes proporciones (Poveda, 2004).

Existen diversas escalas climáticas de análisis. Una de ellas es la de Pédelaborde (1970). Esta se caracteriza por presentar una escala zonal, donde predominan los efectos de la circulación planetaria; una regional, determinada por factores geográficos que afectan a los centros de acción; una local en donde se destacan las condiciones de sitio natural o artificial y una micro-local en donde se puede detallar las modificaciones generadas por los climas locales (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Otras clasificaciones se determinan según su extensión (Oke, 1992), según los procesos atmosféricos dominantes (Schneider, 1996), según los procesos que relacionan la biósfera, litósfera, hidrósfera y atmósfera (Strahler y Strahler, 1997), etc. considerando la clasificación adoptada para el análisis climático en esta tesis se presentan el clima regional, local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca (Figura 1.1).



**Figura 1.1.** Esquema de la escala climática de análisis espacial aplicada en este estudio. Modificada de Pédelaborde (1970); Oke (1992); Scheider (1996) y Strahler y Strahler (1997).

A escala global se pueden identificar grandes procesos que ocurren en la atmósfera que modifican la distribución de las precipitaciones. Esto se debe a cambios en la producción de vapor de agua, nubosidad y extensión de las capas de hielo que modulan el balance de radiación del planeta y generan variaciones climáticas relacionadas con la concentración de gases de efecto invernadero. De esta manera se generan impactos sobre la distribución espacial de la temperatura del aire pudiendo afectar los regímenes pluviométricos determinando períodos de sequías e inundaciones (Rivera-Arriaga *et al.*, 2010).

A escala local adquieren importancia los espacios urbanos. En ellos se producen variaciones climáticas espacio-temporales en un territorio pequeño. Esto se debe a la modificación en las condiciones atmosféricas locales que generan cambios en el comportamiento térmico. Los espacios urbanos actúan como modificadores de los climas regionales debido a la sustitución de

superficies naturales por espacios construidos. Con ello se alteran las propiedades físico-químicas y los procesos aerodinámicos, térmicos, hidrológicos y de intercambios de masa que ocurren en la atmósfera (García, 2009). Como resultado surge el denominado clima urbano (Lombardo, 1997). Este tipo de clima se genera a partir de la comparación de la ciudad con su entorno natural o área rural, a partir de las diferencias producidas por su funcionalidad y por el contexto de la ciudad, como también las características topográficas y de sitio y de aquellos contrastes producidos por la estructura urbana. La intensidad y características de estas modificaciones suelen ser distintas en función de los elementos que la componen (red vial, tipo y estructura de edificaciones, presencia de arbolado, etc.) (García, 2009).

La isla de calor urbana (ICU) es el ejemplo de la influencia del hombre sobre el clima de una ciudad. Las urbanizaciones generan una de las mayores alteraciones del clima regional. Estas se manifiestan en casi todas las ciudades del mundo por lo que ha sido uno de los procesos más estudiados (García, 2010). La ICU se define como el exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica (Cappelli de Steffens *et al.*, 2000; Capelli de Steffens *et al.*, 2001; Cappelli de Steffens *et al.*, 2005). El fenómeno consiste en el aumento de la temperatura de las zonas urbanas en relación a las zonas rurales de su entorno próximo. Esto se debe a que ambos espacios producen una respuesta diferencial a la radiación solar en función del albedo del suelo o de su cobertura, ya sean edificios, pavimentos o vegetación. Además el comportamiento de los parámetros meteorológicos presenta un comportamiento distinto en cada uno de estos espacios (viento, precipitación, temperatura, humedad relativa). La diferencia de temperatura entre la que se registra en la ciudad y la del entorno rural próximo se denomina Intensidad de la Isla de Calor (IICU) (Fernández García, 1995; Klysik y Fortuniak, 1999; Capelli de Steffens y Piccolo, 2000, entre otros).

La ICU ha sido motivo de numerosos estudios a nivel mundial en distintas ciudades. En ellas, se observaron intensidades medias de 2 a 4 °C e intensidades máximas comprendidas entre 7 y 14 °C dependiendo de las condiciones del sitio (Runnalls y Oke, 1978; Landsberg, 1981; Watanabe, 1990; Escourrou, 1991, Moreno García, 1993, Cuadrat Prats *et al.*, 1993; Bello Fuentes, 1995; Torok *et al.*, 2001; Alcoforado y Andrade, 2006; Kassomenos y Katsoulis, 2006; Carvalho *et al.*, 2007, Ferrelli *et al.*, 2016b, etc.). Por otra parte, las áreas urbanas también originan islas de sequedad y de humedad por procesos que retienen o liberan vapor de agua (Chandler 1967, Escourrou, 1991; Unger, 1999; Roth, 2002; Dorighello, 2002; Capelli de

Steffens, 2005, Bustos, 2011, Huamantínco Cisneros, 2012, Picone y Campo, 2014, etc.). En Argentina, se estudiaron ICU generadas en distintas ciudades observándose intensidades similares a las citadas para otras ciudades del mundo (Piccolo y Capelli de Steffens; 1985; Camilloni y Barros, 1995, 1997; Hernández 1997; Merlo y Piccolo, 1998; Figuerola y Mazzeo, 1998; García *et al.*, 1999; Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Picone y Campo, 2014, entre otros).

Las ciudades costeras se ven favorecidas por un mayor bienestar bioclimático durante el verano por la incidencia de las brisas marinas que modifican las condiciones locales de temperatura e inciden en la confortabilidad de sus habitantes. En estos climas urbano-costeros, la orientación de la costa y la topografía cercana son factores importantes, pues afectan las condiciones de exposición al viento, el campo térmico o la distribución de las precipitaciones, entre otras variables (Zaninovic y Matzarakis, 2002; Esteban Talaya *et al.*, 2005). Asimismo, se observan influencias climáticas sobre las edificaciones e infraestructuras turísticas, incidiendo en las modalidades de alojamiento, del acondicionamiento, arquitectura y diseño urbano, etc. La vulnerabilidad natural del litoral se incrementa año a año, a medida que progresa su grado de artificialización, por lo que debe ser tenido en cuenta por planificadores urbanos y proveedores de seguros, a los efectos de definir las estrategias de limitación y adaptación para combatir sus causas y minimizar sus efectos (Jenkins *et al.*, 2005; Esteban Talaya *et al.*, 2005; Chang *et al.*, 2006; IPCC, 2007, etc.).

En Argentina, los estudios sobre la intensidad de la isla de calor en las ciudades costeras turísticas son escasos. Las diferencias térmicas entre el área costera y el interior de la ciudad de Mar del Plata fueron estudiados por Giampietri y Piccolo (2000) observando una intensidad de la isla de calor de 2,6 °C. La isla de calor matinal de invierno en la misma ciudad (García y Piccolo, 2008) alcanzó una intensidad máxima de 6,5 °C. En la ciudad balnearia de Necochea se destacan los trabajos sobre isla de calor urbana de Garcia y Piccolo (2009). Las autoras demuestran que la influencia oceánica es importante sobre las variaciones térmicas de la ciudad. Los trabajos de Garcia y Piccolo (2008, 2009) muestran que las zonas urbanas cercanas al mar presentan un patrón térmico diferente a otros centros urbanos y entonces definen una intensidad de la isla de calor como las diferencias térmicas urbano-costera.

Sumado a lo anterior, en la revisión de la literatura especializada se encuentran múltiples trabajos sobre el ambiente urbano empleando indicadores temáticos derivados de imágenes de

sensores remotos. La mayoría de ellos, usando distintos productos (NOAA-AVHRR, Landsat TM y ETM, MODIS, ASTER), están enfocados principalmente a la determinación y caracterización de islas de calor urbano (Yuan y Bauer, 2007; Tran *et al.*, 2006; Santana, 2007; Chen *et al.*, 2006; Wong y Yu, 2005; Rosenzweig *et al.*, 2005). Sin embargo son muy escasos los trabajos de clima urbano realizados en nuestro país utilizando esta herramienta. En ellos se analizan las condiciones térmicas de los espacios verdes o infieren la temperatura del aire a partir del cálculo del NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Ripoll *et al.*, 2010; Cúnsulo *et al.*, 2012).

La teledetección permite obtener información a distancia de los objetos. La energía transmitida más utilizada es la radiación electromagnética, ésta es la que viaja a la velocidad de la luz en un modelo ondulatorio armónico. La onda está formada por un campo eléctrico vertical y un campo magnético horizontal, perpendiculares entre sí y transversales a la dirección de propagación (Pérez Guterrez y Muñoz Nieto, 2006). La aplicación de esta herramienta en estudios climáticos es importante pues se obtienen datos superficiales. La obtención y utilidad de los mismos va a estar determinada por la frecuencia temporal, escala espacial y la resolución espectral por lo que el tratamiento de estos datos requiere de una metodología particular. La aplicabilidad de la teledetección a la climatología se observa en los balances de radiación, estimación de la precipitación, estimación de flujos de aire, obtención de características superficiales del suelo, estudios de la distribución de la Temperatura de Superficie Terrestre (TST), etc. (Pérez Guterrez y Muñoz Nieto, 2006).

La utilización de imágenes del infrarrojo térmico para estudiar la ICU permitió establecer que, en general, en toda ciudad se distinguen tres tipos de unidades: las superficies asfaltadas, las edificaciones y los espacios verdes (Pérez Guterrez y Muñoz Nieto, 2006). Las primeras almacenan mucho calor durante el día y lo emiten lentamente durante la noche, por lo que el nivel de radiación es todavía muy alto al amanecer. Esta circunstancia determina que sea en estas zonas donde se localicen los colores más cálidos en las imágenes. En los edificios el fenómeno se atenúa debido a las diferencias entre los materiales que constituyen los muros y las cubiertas que presentan temperaturas no tan cálidas. Por último, las zonas verdes son espacios templados frescos o fríos debido a la presencia de la vegetación y su temperatura variará según las características de ésta (Pérez Guterrez y Muñoz Nieto, 2006).

Los centros urbanos están en constante crecimiento lo que modifica las condiciones atmosféricas locales debido al aumento de la emisión de los gases de efecto invernadero, causantes del incremento de las temperaturas o el calentamiento global. El calentamiento de las ciudades es heterogéneo y está determinado por la calidad y cantidad de la infraestructura urbana (Hardoy y Pandiella, 2007; Barton, 2009). En este contexto, los eventos meteorológicos extremos sobre las ciudades son importantes al momento de analizar los impactos de la variabilidad climática sobre la población. Los mismos afectan la calidad de vida, las actividades económicas y el acceso a bienes y servicios (Santiago Lastra *et al.*, 2008). Las olas de calor, las de frío, las lluvias intensas, heladas, etc. tienen impactos diversos sobre el ambiente urbano. Por ejemplo, los eventos extremos de temperatura afectan la salud de la población generando problemas respiratorios, cardiovasculares e incluso la muerte (Alberdi *et al.*, 1998; García Palomares y Alberdi, 2005; García-Pina *et al.*, 2008). Las lluvias intensas aumentan las áreas anegadas y las heladas manifiestan sus efectos principalmente sobre a la vegetación urbana. Como consecuencia de todos estos eventos se generan impactos sobre la infraestructura urbana (Cogliati *et al.*, 2006; Hardoy y Pandiella, 2007; Zapperi, 2012; Zapperi, 2014; Reguero *et al.*, 2015).

Como se mencionó, las diferencias en la ocupación del suelo en las ciudades generan una modificación del paisaje que afecta de distinta manera al comportamiento térmico y de la humedad relativa. La densidad de edificios, la presencia de espacios verdes, el tamaño y extensión de la ciudad, los materiales que la componen, la presencia de terrenos al descubierto, las diferencias en la capacidad de infiltración, el aumento del tránsito, etc. modifican los gradientes urbanos térmico y de la humedad relativa de distinta manera. Es en este contexto adquiere importancia el estudio del clima a escala micro-local (Oke, 1973; Szegedi y Kircsi, 2003; Kolokotsa *et al.*, 2009; Coronel *et al.*, 2014).

Por otro lado, dentro de las ciudades es importante destacar el rol de los actores sociales. Los mismos son los encargados del desarrollo local. Este ha surgido como un modelo de acción estratégico para mitigar los problemas que enfrenta la comunidad teniendo en cuenta los recursos propios del territorio. El mismo se basa en la búsqueda de soluciones para una sociedad local. El desarrollo local puede definirse como una identificación y caracterización de una situación actual de una ciudad considerando sus problemas más graves y urgentes que hagan referencia a la sociedad. Este proceso incluye las acciones destinadas a resolver problemas concretos que

mejoren la calidad de vida de los habitantes. En este contexto, el cambio climático requiere de planificaciones a largo plazo para mitigar las condiciones adversas que viven las sociedades urbanas (Informe sobre el desarrollo mundial, 2010).

En los últimos años se ha desarrollado de forma activa el estudio de la percepción climática y el estudio social del cambio climático (Owoeye y Ogunleye, 2015; Gharagozlo, 2015). Es importante destacar que el clima percibido puede diferir de los análisis objetivos. Aun así, la percepción climática es relevante dado que se basa en las vivencias y experiencias de vida de los actores sociales. La percepción del clima en las ciudades es un elemento fundamental para complementar los estudios urbanos dado que los habitantes están inmersos en un ambiente artificial que difiere muchas veces de las condiciones naturales. La topografía urbana genera una artificialización climática que afecta el confort de los ciudadanos (Martin Vide, 1990; Oltra-Carrió *et al.*, 2009).

Los actores sociales tanto públicos como privados intervienen por sus iniciativas y pueden modificar la dinámica espacial. La participación activa de ellos y su percepción aportan información necesaria para la replanificación de las ciudades a fin de mejorar las condiciones ambientales para su calidad de vida (Barton, 2009). En este contexto el modelo DPSIR (por sus siglas en inglés *Driver-Pressure-State-Impact-Responses Framework*) es una herramienta para modelar e interpretar los procesos ambientales en función del desarrollo de respuestas o propuestas de manejo apropiadas a un espacio concreto. El mismo fue desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente en 1999 y modificado por Jago-On *et al.*, 2009 y ha sido aplicado con éxito en el estudio de las problemáticas de ciudades costeras en varias ocasiones (Pelling, 2011; Sekovski *et al.*, 2012).

Por lo mencionado, se entiende que la transformación del medio natural por la acción humana alcanza su máxima expresión en las ciudades, donde afecta en modo especial las condiciones climáticas. En las últimas décadas la climatología urbana ha adquirido un notable desarrollo como respuesta a los problemas que acompañan al creciente proceso de urbanización en nuestro planeta. Las estimaciones prevén que para el año 2030, el 61 % de la población mundial habitará en ciudades (UNFPA, 2009). Por tal motivo, es necesario comprobar si el crecimiento del área urbana incide en una modificación del ambiente que sea perjudicial para sus habitantes.

En la ciudad de Bahía Blanca, área de estudio de esta tesis, se han realizado estudios sobre la identificación y análisis de la Isla de Calor Urbana durante el invierno y el verano en el año 1985 (Piccolo y Capelli de Steffens, 1985, 1987). Además se caracterizó el clima regional y la relación del clima local con la topografía de la ciudad en 1998 y 2002 (Cappelli de Steffens *et al.*, 2005). En este último estudio, se hicieron mediciones durante la primavera con tres estaciones localizadas en distintos sectores de la ciudad y se aplicó el método de transectas móviles con el objetivo de caracterizar la ICU durante la primavera. Sobre los datos recolectados se aplicaron distintos índices de confort. Se estudió la velocidad del viento en algunos sectores de la ciudad y su relación con el emplazamiento de edificios. Finalmente se relacionó el clima urbano con la mortalidad de la población durante 1991 como consecuencia de diferentes condiciones meteorológicas (Cappelli de Steffens *et al.*, 2005).

La presente tesis tiene como objetivo principal ampliar el conocimiento del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca relacionando los resultados obtenidos con los de investigaciones previas. Para estudiar el clima urbano a escala local se diseñaron y aplicaron por primera vez nuevos dispositivos de medición en alta frecuencia. Por un lado, los Dispositivos de medición de la Isla de Calor Urbana (DICU) permitieron comparar los cambios en la distribución espacial de la temperatura del aire, la humedad relativa y la ICU en los últimos 30 años (1985-2014). Por otro, las Estaciones Portátiles (EP) facilitaron el análisis del clima de la ciudad a escala micro-local pues registraron información meteorológica en distintos barrios. Además, se procesaron imágenes satelitales digital y visualmente. Con ellas se calculó la Temperatura de Superficie Terrestre (TST) y se caracterizó su relación con distintas coberturas del suelo. Se estimó la expansión urbana y sus impactos sobre los parámetros meteorológicos y la percepción de la población. Finalmente con la información adquirida se confeccionó una propuesta de desarrollo urbano sostenible con el método DPSIR a partir del conocimiento del estado actual de la ciudad.

### **1.1. Objetivos e hipótesis de trabajo**

En la actualidad la mayor parte de la población mundial habita en ciudades localizadas a menos de 100 km de las costas. Estos espacios tienden a hallar un equilibrio entre usos, actividades y/o funciones diversas que incluyen puertos, turismo, ocio y recreación, diversidad

productiva, etc. Por lo tanto, el estudio del clima urbano como recurso, como contexto y como amenaza es importante para el desarrollo de estas comunidades, a fin de conocer las aptitudes y restricciones climáticas con vista a futuras expansiones urbanas. Dentro de este contexto se plantean las siguientes **hipótesis de trabajo**:

1. El clima urbano de la ciudad de Bahía Blanca se ha modificado en los últimos 30 años debido al aumento de la población, de los edificios y como consecuencia de los cambios y diferencias en las coberturas del suelo.
2. El comportamiento térmico y de la humedad relativa en la ciudad de Bahía Blanca están relacionados a las diferencias del paisaje urbano y por lo tanto es distinto en cada barrio de la ciudad.
3. La percepción social del clima varía en los distintos sectores de la ciudad de acuerdo con las coberturas del suelo urbano (densidad de edificación, el número de espacios verdes, el tránsito vehicular, etc.).

Teniendo en cuenta que Bahía Blanca ha experimentado un notable crecimiento urbano en los últimos años debido al aumento de la población se plantearon los siguientes **objetivos generales**:

1. Estudiar el clima urbano de la ciudad de Bahía Blanca para identificar cambios producidos por la expansión urbana, el crecimiento poblacional y el aumento de la edificación.
2. Desarrollar e implementar sistemas de medición urbanos móviles y portátiles que mejoren los que actualmente se utilizan en los estudios de clima urbano para reducir el costo de operación, el personal requerido y el tiempo de mediciones en las ciudades.

Los **objetivos específicos** fueron:

- 1) Actualizar los conocimientos del clima regional de la ciudad de Bahía Blanca y determinar su variabilidad climática en los últimos cincuenta años (1950 -2014).
- 2) Comparar la intensidad de la isla de calor urbano en Bahía Blanca entre 1985 y 2014.
- 3) Analizar la percepción de la población de Bahía Blanca para poder integrar esta información con los análisis climáticos.

- 4) Elaborar modelos cartográficos de distribución espacial de la temperatura del aire y de la humedad a partir de la utilización de Sistemas de Información Geográfica.
- 5) Relacionar la temperatura de superficie terrestre calculada a partir del procesamiento digital de imágenes satelitales con las diferentes coberturas del suelo urbanas para estudiar su variación espacial.
- 6) Analizar la expansión urbana de Bahía Blanca y su relación con la modificación de los parámetros meteorológicos de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad máxima del viento.
- 7) Estudiar las condiciones de confort climático estival e invernal en distintos sectores de la ciudad con el objetivo de generar información útil para el desarrollo urbano (o planificación) y comparar con estudios previos.
- 8) Caracterizar la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa de la ciudad en diversos eventos meteorológicos (vientos del norte, del sur, olas de calor y de frío, tormentas, heladas y nieblas).
- 9) Aplicar el método DPSIR para generar una propuesta de manejo urbano sostenible para la ciudad de Bahía Blanca.

Para cumplir con estos objetivos y verificar las hipótesis de trabajo se dividió la tesis en 10 capítulos en los cuales:

En el *capítulo 1* se introduce el tema de estudio, los objetivos y las hipótesis del trabajo como así también la descripción del área de estudio;

En el *capítulo 2* se realiza un estudio de la variabilidad climática en distintas escalas temporales durante los últimos cincuenta años (1960-2014);

En el *capítulo 3* se estudia la Isla de Calor Urbana en la ciudad de Bahía Blanca. Se desarrolla un nuevo instrumental para registrar datos en alta frecuencia y se relacionan los resultados obtenidos en investigaciones previas (1985 y 2014);

En el *capítulo 4* se estudia la expansión urbana de la ciudad durante el período 1985-2014 y sus impactos sobre la biomasa (estimada a partir del índice normalizado de vegetación), la temperatura del aire, la temperatura de superficie terrestre, la humedad relativa, la velocidad máxima del viento y la percepción de la población;

En el *capítulo 5* se relacionan los datos de temperatura de superficie terrestre obtenidos mediante procesamiento digital de imágenes satelitales con las distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca;

En el *capítulo 6* se analizan datos adquiridos en alta frecuencia de 10 estaciones meteorológicas distribuidas en la ciudad durante 408 días. Las mismas tuvieron un intervalo de muestreo de 30 minutos. El desarrollo de este instrumental permitió realizar estudios a escala micro-local;

En el *capítulo 7* se estudian los efectos de distintos eventos meteorológicos sobre la temperatura y la humedad relativa urbanas a escala local y micro-local;

En el *capítulo 8* se desarrolla un análisis del confort climático estival e invernal mediante el cálculo de diversos índices y se determina el número de días con desconfort que hubo en los distintos barrios de la ciudad;

En el *capítulo 9*, se aplica el método DPSIR, con el fin de generar una propuesta de manejo urbano sostenible teniendo en cuenta la situación actual de la ciudad y la percepción de la población;

Finalmente en el *capítulo 10* se presentan las conclusiones finales del trabajo desarrollado.

## **1.2. Área de estudio**

### **1.2.1. El Sudoeste de la provincia de Buenos Aires**

En una escala macro-climática el área de estudio se enmarca dentro de los climas templados. Se observa una estacionalidad térmica marcada que permite la diferenciación de veranos e inviernos. El área de estudio se emplaza dentro de la región pampeana, Argentina. El clima regional se define como templado-húmedo. Las precipitaciones disminuyen de noreste (1385 mm año<sup>-1</sup>) al sudeste (377 mm año<sup>-1</sup>). Las temperaturas medias anuales decrecen en sentido norte-sur. El valor máximo es de 20,6 °C y el mínimo de 10,1 °C (Labraga *et al.*, 2010). Según sus precipitaciones, esta región, se encuentra dentro de los regímenes secos con una precipitación media anual de 620 mm (Ferrelli y Aliaga, 2015; Aliaga *et al.*, 2016).

La región en donde se localiza la ciudad de Bahía Blanca es la del Sudoeste Bonaerense, definido según la ley número 13.647 de la provincia de Buenos Aires. La misma permite la creación de la región del Sudoeste Bonaerense con el fin de implementar y dirigir las políticas públicas diferentes al resto de la provincia. Según la ley, la región tiene características edafo-

climáticas y productivas propias. Como consecuencia, la ley provincial considera a esta región como subhúmeda seca, semi-árida y árida. El fin principal de la misma es la de orientar las políticas públicas y las acciones necesarias para impulsar y promover el desarrollo de los sistemas productivos considerando la sustentabilidad climática y productiva.

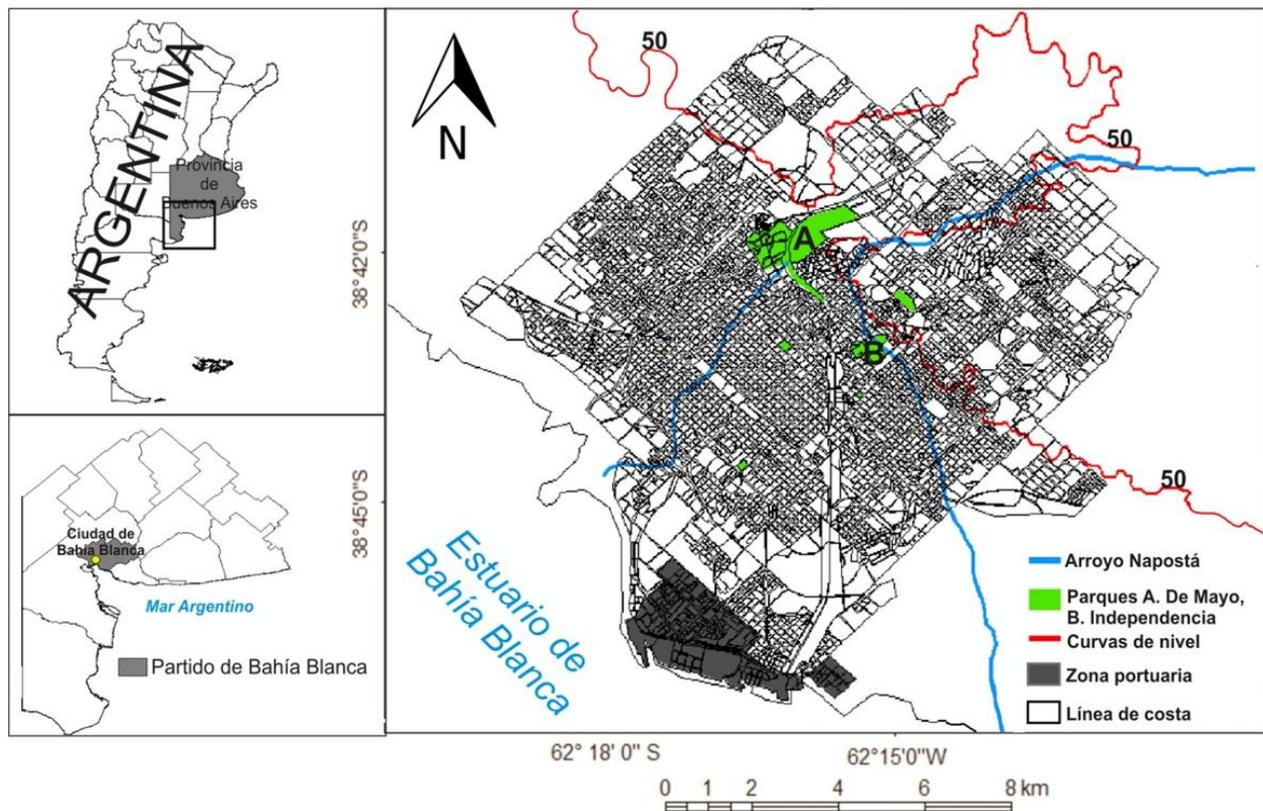
Según Campo de Ferreras *et al.* (2004), el sudoeste de la provincia de Buenos Aires presenta un clima templado. Las temperaturas medias se encuentran entre 14 °C y 20 °C y las precipitaciones oscilan entre 841,7 mm en Tres Arroyos (en el este de la Región) y 380 mm en Viedma (al sur de la región) (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Su clima puede denominarse: *templado subhúmedo* (debido a las escasas precipitaciones), *templado de transición* (por sus características de aridez y su transición hacia la región patagónica) o *frío sub-húmedo* (por su régimen pluviométrico y su temperatura media anual) y se encuentra bajo la influencia de diferentes masas de aire que modifican sus condiciones del tiempo (Chiozza, 1975; Chiozza y Figueira, 1981; Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994, Díaz y Marmoneo, 2002). Un elemento que afecta al clima y a los estados del tiempo del sudoeste de la provincia de Buenos Aires es el Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur que causa una circulación del norte cálida y húmeda en la región mesopotámica y norte de la provincia de Buenos Aires. Esto genera que se descarguen las últimas precipitaciones en la serranía de Ventania y luego retorne al océano. Por otro lado, la región está influenciada por el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur que genera temperaturas frías o frescas (Capelli de Steffens *et al.*, 2005).

### **1.2.2. La ciudad de Bahía Blanca**

Bahía Blanca está localizada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires en el partido homónimo (38° 35' Sur, 62° 13' Oeste) (Figura 1.2.). 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<sup>-1</sup> (Servicio Meteorológico Nacional, Argentina, 2014).

Se emplaza sobre un manto de tosca que obliga el empleo de perforaciones para el tendido de servicios públicos como las redes de gas natural y agua potable. Dentro del ejido urbano se extiende el Arroyo Napostá Grande. El sector norte se caracteriza por presentar áreas parquizadas en torno a su cauce y aguas abajo se lo ha entubado. También se emplaza el canal Maldonado que actúa como derivador de aguas en las épocas de crecidas del Napostá Grande y se extiende a cielo abierto a lo largo del sector occidental de la ciudad (Capelli de Steffens *et al.*, 2005).



**Figura 1.2.** Localización de la ciudad de Bahía Blanca.

El arbolado urbano es discontinuo y en ciertas arterias el mismo es inexistente. En la ciudad se localizan dos parques: el Parque Independencia y el Parque de Mayo, ambos con abundante vegetación de tipo arbórea. Las costas del estuario ubicado al sur de la ciudad, presenta suelos salinos con vegetación halófitas de escaso porte en donde no se desarrolla vegetación arbórea de origen natural. El principal parque industrial y el puerto de la ciudad se emplaza sobre la costa de este estuario lo que genera una intensa labor industrial y portuaria de importancia a nivel

nacional. El viento de la ciudad se ve modificado por la forma y orientación de los edificios observándose vórtices y torbellinos en ciertos sectores (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). La ausencia de vegetación 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). En lo que respecta a la población, Bahía Blanca e Ingeniero en el año 2010 tenían 301.531 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2010)). La ciudad es la más importante de la región debido a que es el segundo centro portuario más importante de la Argentina.

## CAPÍTULO 2

### LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAHÍA BLANCA

#### 1. Introducción

El clima del sudoeste de la provincia de Buenos Aires ha sido estudiado por distintos autores (Chiozza, 1975; Chiozza y Figueira, 1981; Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994, Díaz y Marmoneo, 2002; Campo de Ferreras *et al.*, 2004; Lagraga *et al.*, 2011; Huamantínco Cisneros, 2012; Ferrelli, 2012, Ferrelli *et al.*, 2012, Ferrelli y Aliaga, 2015, Ferrelli *et al.*, 2016a entre otros). Los mismos centraron su investigación en caracterizar las variaciones espaciales y el comportamiento estacional de la temperatura del aire, humedad relativa y precipitaciones (Cap. 1). Particularmente en lo que se refiere a la ciudad de Bahía Blanca se realizaron estudios orientados a caracterizar la Isla de Calor Urbana (Piccolo y Capelli de Steffens 1985 y 1987; Capelli de Steffens *et al.*, 2005) y el clima urbano de la ciudad (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). El estudio de la variabilidad climática de la ciudad para un período mayor a cincuenta años, no se ha realizado hasta el momento. Por ese motivo, en este capítulo se presenta un estudio temporal de las variables de temperatura del aire, humedad relativa, velocidades máximas del viento y precipitaciones.

El conocimiento de la variabilidad climática de un área es uno de los elementos clave para comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y su impacto sobre las actividades humanas. La misma se define como el conjunto de desviaciones de la tendencia climática general o de un estado estacionario. Se refiere a las variaciones del estado medio del clima (tales como la ocurrencia de eventos extremos) en todas las escalas temporales y espaciales. Se la considera como una fluctuación a corto plazo dentro de un cambio climático de mayor duración (Houghton, 2002). En este contexto, América del Sur es altamente influenciada por el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (en inglés, *El Niño Southern Oscillation*, ENSO), siendo un importante factor de variabilidad climática interanual (Aceituno, 1988; Grimm *et al.*, 2000). Numerosos estudios han demostrado que la provincia de Buenos Aires experimenta eventos lluviosos en períodos El Niño mientras que muestra eventos secos durante La Niña (Grimm *et al.*, 2000; Scian, 2002, 2006; Ferrelli y Aliaga, 2015). Hay evidencias que en la mitad de los casos estudiados, los eventos El Niño son precedidos por un evento La Niña (Delgado, 2013).

La variabilidad climática tiene efectos sobre las actividades agropecuarias y condiciona en muchas regiones las variables económicas ocasionando cambios en el uso de la tierra y afectando el rendimiento (Magrin *et al.*, 2007). Otro de los impactos de este fenómeno son las periódicas inundaciones que afectan a las zonas sembradas, la hacienda y las viviendas e impactan también sobre las ciudades. Esto genera graves consecuencias en la economía regional, a partir del impacto socioeconómico que causan (Taboada *et al.*, 2012). Entre los efectos sobre la población se destacan la accesibilidad a agua potable, la provisión de energía, el acceso a plantas medicinales, desplazamiento y desaparición de animales y recursos pesqueros (Houghton, 1993). Además, los cambios en el uso del suelo de un territorio también intensifican las consecuencias de esta variabilidad. El ejemplo más habitual es el de la deforestación la que, con fines meramente económicos, persigue beneficios que prevalecen por sobre los impactos ambientales que generan (Ferrelli, 2010; Ferrelli *et al.*, 2011; Ferrelli, 2012). En este contexto, las sequías e inundaciones son fenómenos complejos que modifican las condiciones hidrológicas, sociales y económicas, entre otras.

La región del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, donde se localiza la ciudad de Bahía Blanca, se caracteriza por presentar una amplia gama de condiciones geomorfológicas, físicas y socioeconómicas (Bustos *et al.*, 2016a). Las condiciones oceanográficas y climáticas de la región adquieren importancia dado que pueden modificar seriamente las condiciones de vida de sus habitantes debido a la fragilidad de los ambientes. Los recursos naturales costeros y oceánicos son cruciales para los habitantes, tanto para su economía como para su vida cotidiana. Además las actividades agropecuarias que se desarrollan en esta zona son sensibles a la variabilidad de las precipitaciones dado que se caracterizan por presentar mayoritariamente cultivos de secano (Ferrelli, 2010; Delgado, 2013).

La importancia de los ambientes costeros recae en que en ellos se concentra la mayor parte de la población mundial. En estos, el clima es un factor limitante para el desarrollo de la actividad turística y constituye una demanda al momento de la elección del destino por las actividades que se desee realizar (Bustos y Piccolo, 2011; Huamantínco Cisneros, 2012). Otro aspecto fundamental para los habitantes de las ciudades costeras es la actividad pesquera. Variables meteorológicas tales como el viento, la temperatura del aire y las precipitaciones son parámetros importantes para comprender el comportamiento del oleaje, la estratificación de la columna del agua, la temperatura superficial del mar, la salinidad y la turbidez. Sumado a ello, la

variabilidad de las condiciones hidrográficas afecta la vida marina, principalmente al plancton de manera directa o indirecta (Delgado, 2013).

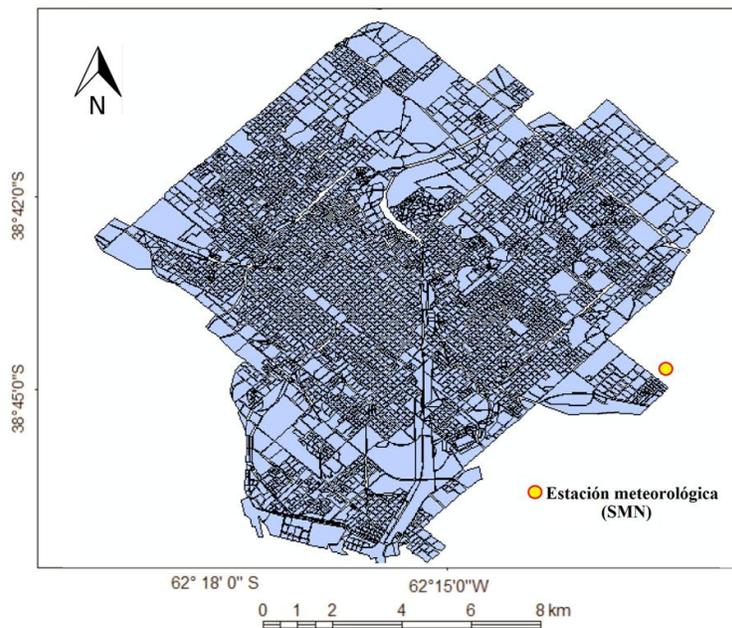
El efecto conjunto de la variabilidad del clima y la sobreexplotación de los recursos naturales sobre la región en la que se localiza la ciudad de Bahía Blanca podría estar teniendo efectos negativos importantes sobre el ambiente. En este contexto, el objetivo general del capítulo es analizar la variabilidad climática de la ciudad de Bahía Blanca. Los resultados obtenidos servirán como marco de referencia para interpretar los distintos conflictos sociales, la relación de los habitantes con el ambiente y los recursos turísticos, económicos y naturales con vistas a un manejo sostenible de los mismos.

## **2. Metodología**

Se analizaron datos diarios, mensuales y anuales de la estación de Bahía Blanca perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Figura 2.1). Los datos fueron diarios para las temperaturas máximas, mínimas y medias y las precipitaciones para el período 1960-2014, diarios para la velocidad máxima del viento para el período 1963-2010 y anuales para la humedad relativa del período 1960-2014. Sobre esta base de estos datos se efectuó un análisis de la variabilidad climática teniendo en cuenta distintas escalas temporales. Por un lado se estudió la escala estacional y semanal. La misma considera períodos que van desde los 10 días a los 90 días. La misma es importante para el planeamiento de las actividades que dependen del clima como la agricultura, el turismo y la pesca (Piccolo, 2013).

Por otro lado se realizó un estudio interanual. Esta escala considera las fluctuaciones que se generan desde un año hasta períodos más extensos. La misma permite un seguimiento de las precipitaciones y la determinación de períodos de sequías o inundaciones. Se relaciona principalmente con la precipitación y se asocia a fenómenos como El Niño, La Niña o El Niño Oscilación Sur (ENSO) (Piccolo, 2013). Dentro de este contexto, se analizaron las precipitaciones con el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP). Para ello se utilizó la serie histórica de precipitaciones mensuales para el período 1960-2014. La misma fue ajustada a la distribución teórica de probabilidad y se transformó en una distribución normal de manera tal que el valor 0 se correspondió con los valores medios. Una vez calculado el índice se caracterizaron los períodos en Extremadamente húmedos ( $> 2$ ), Muy húmedos (entre 1,5 y 2), Húmedos (entre 1 y 1,5) Normales (entre 1 y -1), Moderadamente secos (entre -1 y -1,5), Muy

secos (entre -1,5 y -2) y Extremadamente secos ( $< -2$ ) (Edwards y McKee, 1997). Las fluctuaciones de la precipitación se relacionaron con la intensidad del Índice Oceánico de El Niño, ONI (*Ocean Niño Index*). Este es el índice que la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, Estados Unidos) utiliza para identificar eventos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) en el Océano Pacífico Tropical. Se calcula teniendo en cuenta la media móvil de tres meses de la anomalía de la temperatura superficial del mar (National Weather Service, Climate Prediction Center. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>).



**Figura 2.1.** Localización de la estación meteorológica del SMN.

Los datos también fueron analizados en una escala decádica - interdecádica. Este tipo de estudios se realizan con largas series de tiempo. Se asocia a cambios producidos en las profundidades del océano (circulación de las termoclinas) y a los cambios originados en la criósfera. En este nivel, las variaciones climáticas se manifiestan en décadas. La amplitud de estas oscilaciones es menor (Piccolo, 2013). Para analizar la información, se utilizó el Software STATISTICA 7. El mismo permitió efectuar los cálculos de la estadística descriptiva (valores máximos, mínimos, desviación estándar, promedios, etc.). Para conocer los períodos donde se generan los mayores cambios en los elementos del clima se aplicó una Transformada Rápida de Fourier (TRF) a la serie de tiempo (Beigt y Piccolo, 2009).

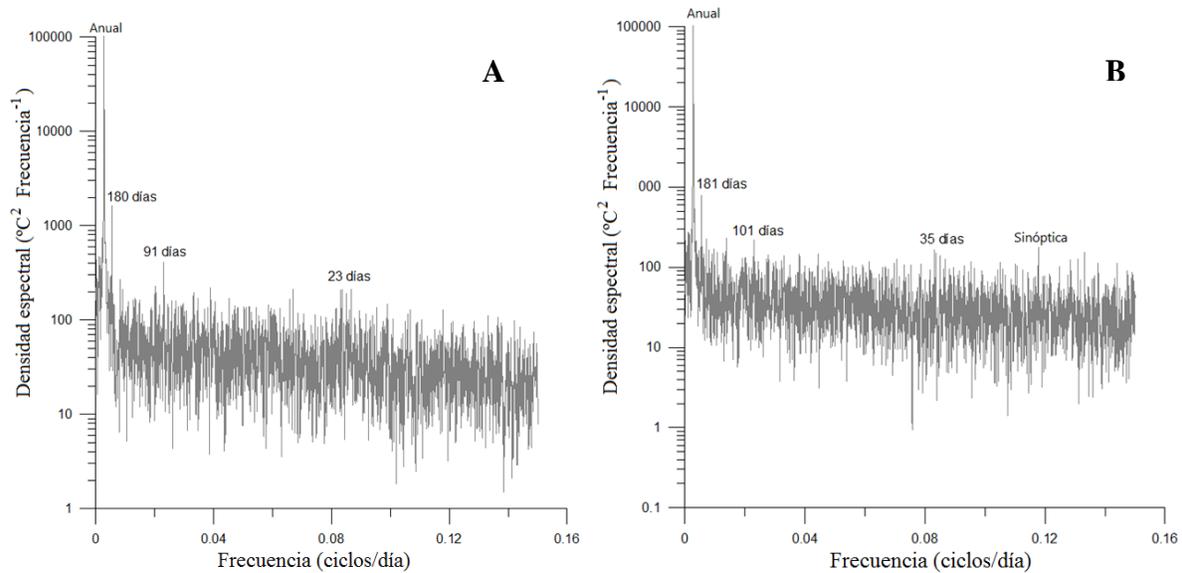
### 3. Resultados

#### 3.1. Variabilidad climática en Bahía Blanca

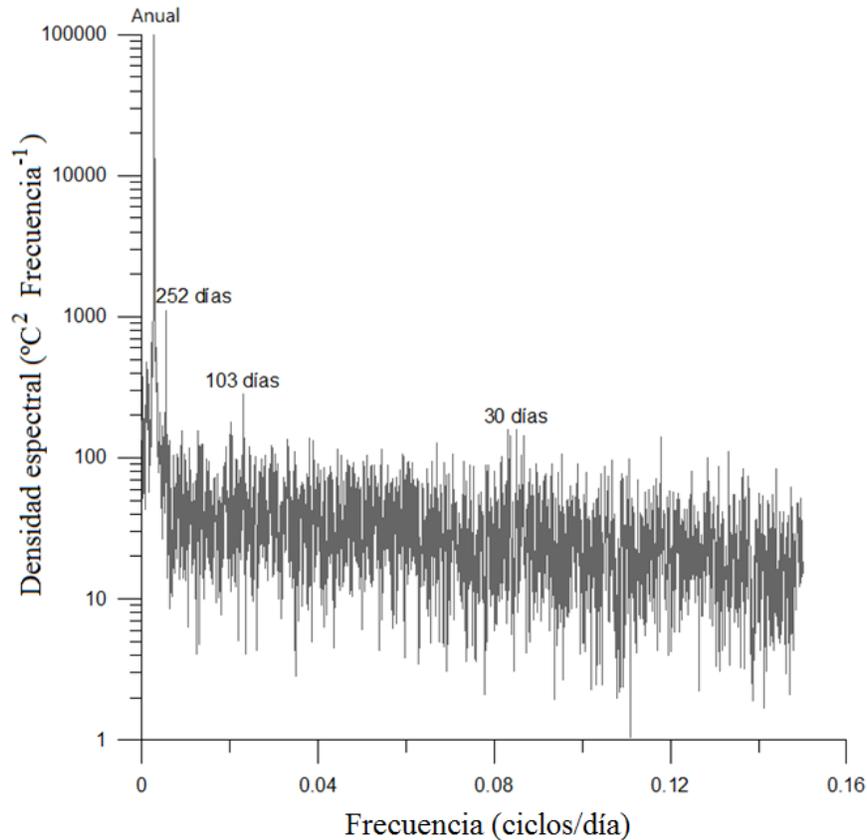
La variabilidad climática de la ciudad de Bahía Blanca se estudió teniendo en cuenta las distintas escalas temporales de análisis mencionadas previamente. A continuación se presentan por separado los resultados para cada uno de los parámetros meteorológicos analizados.

##### 3.1.1. Temperatura del aire

La transformada rápida de Fourier de la temperatura máxima presentó la mayor intensidad en la frecuencia anual (365 días). También se observaron señales de 180 días, 90 días y 23 días que se corresponden con cambios estacionales y mensuales. La temperatura mínima tuvo un patrón similar, encontrando picos de 364 días (anual) 181 días (inter-estacional), 101 días (estacional), 35 días (mensual) y el menor a los 10 días (Sinóptico, Figura 2.2). La temperatura media del aire, presentó una intensidad anual (368 días y 252 días), una estacional (103 días) y una mensual (30 días) (Figura 2.3).



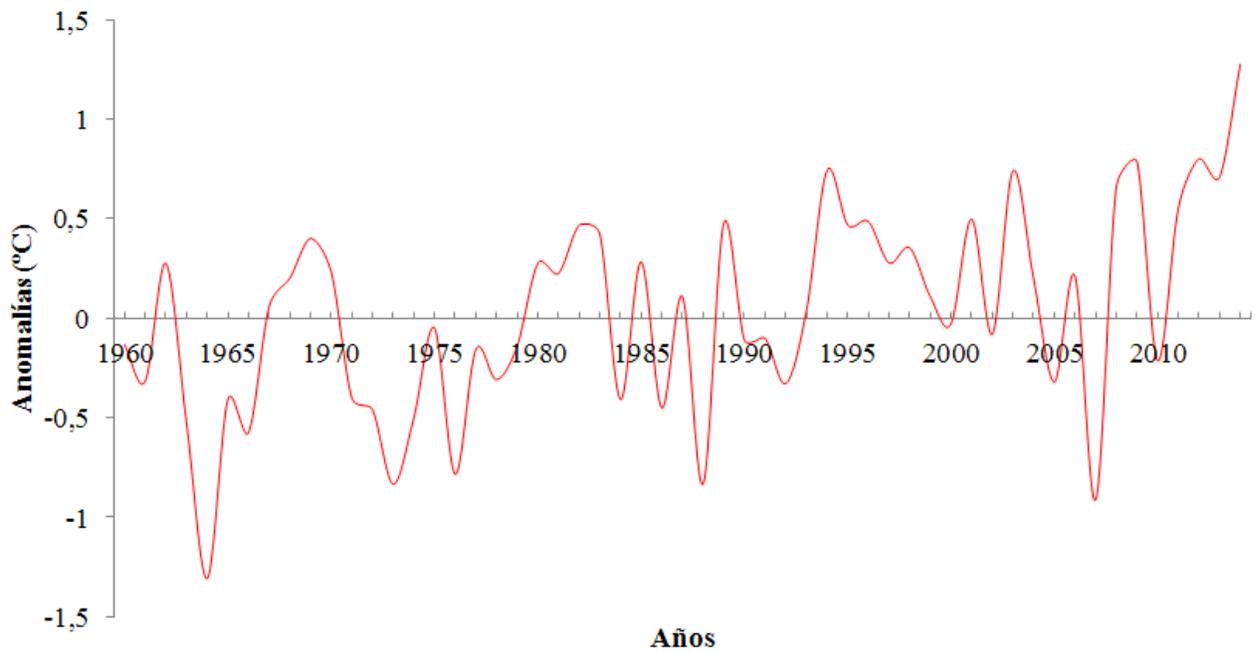
**Figura 2.2.** Densidad espectral de la temperatura **A.** máxima y **B.** mínima diaria del período 1960-2014.



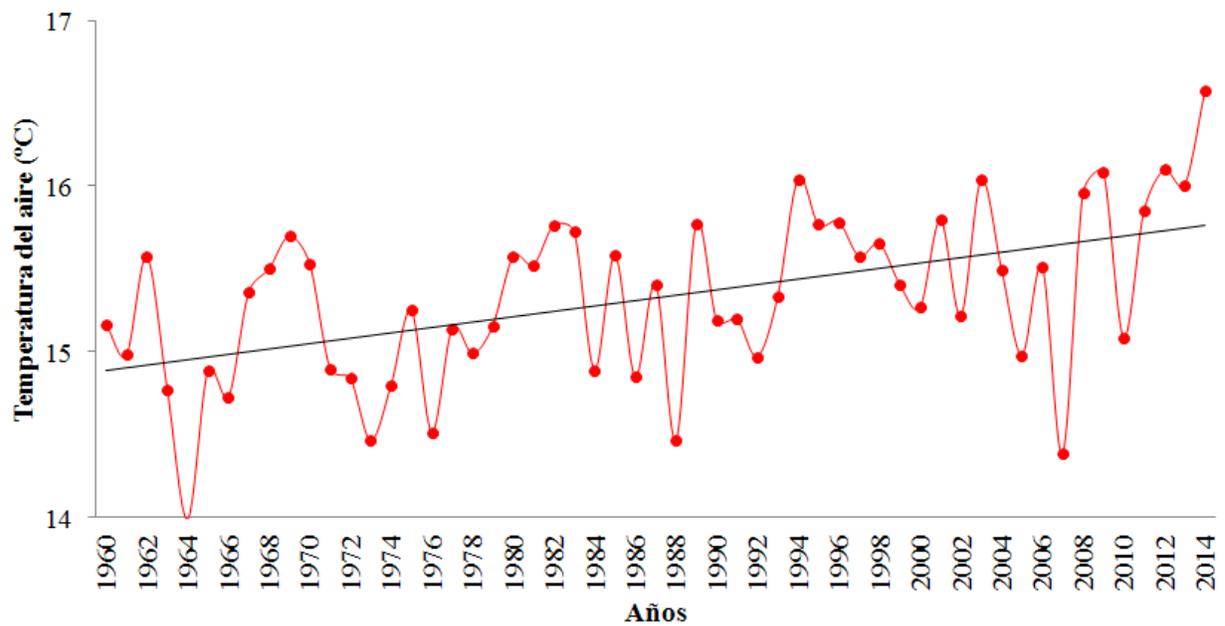
**Figura 2.3.** Densidad espectral de la temperatura media diaria del período 1960-2014.

El análisis decádico permitió establecer que las tres primeras décadas del período de estudio (1960-2014) registraron los menores valores de anomalías de temperatura media anual. Mientras que las décadas de 1990-2000 y 2000-2010 presentaron las mayores anomalías. La década 1970-1980 fue la más fría del período con una temperatura media decádica de 0,3 °C menor con respecto a la del período 1960-2014 (15,3 °C). La década 1980-1990 presentó el mismo valor que el medio y las más cálidas (1990-2000 y 2000-2010) manifestaron una media 0,3 °C mayor (Figura 2.4).

A escala inter-anual la temperatura media del aire aumentó durante todo el período de estudio 0,9 °C. El menor valor correspondió a 1964 con 14 °C y el mayor a 2014 con 16,6 °C. Se observaron períodos en los que la temperatura del aire fue menor a la media (15,3 °C) en 1960-1966, 1971-1979 y 2005-2007, mientras que los cálidos fueron 1980-1985, 1993-2001, 2008-2009, 2011-2014 (Figura 2.5).



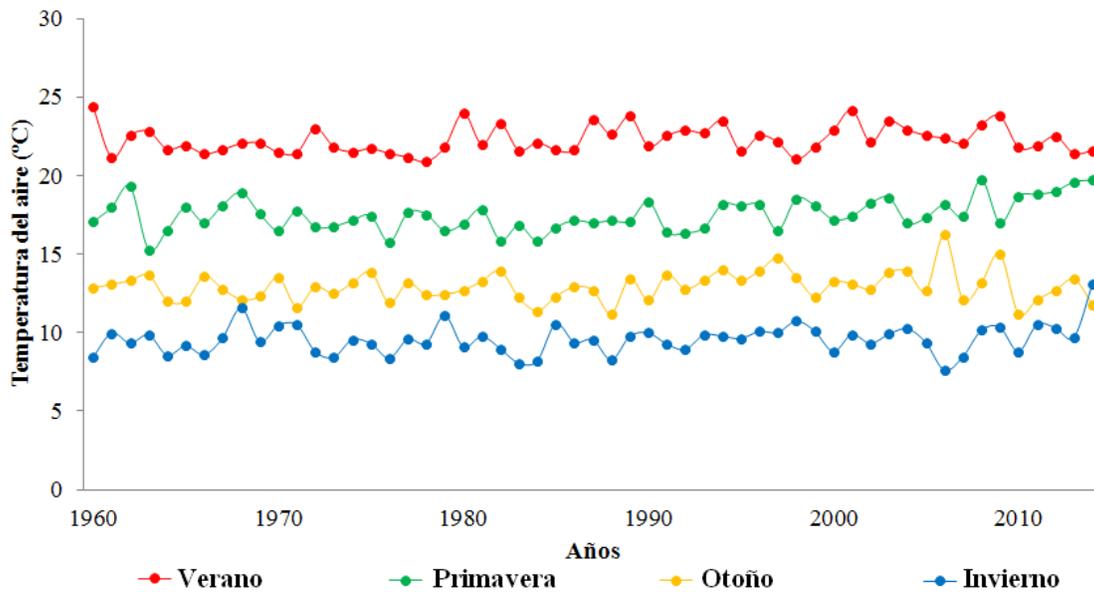
**Figura 2.4.** Anomalías de la temperatura media anual (°C) de Bahía Blanca durante el período 1960-2014.



**Figura 2.5.** Temperatura media anual del aire para el período 1960-2014.

La estacionalidad térmica en la región es importante, con amplitudes anuales significativas. La media estival es 22,3 °C. Los veranos de la década del 1970-1980 presentaron las menores temperaturas medias estacionales de todo el periodo considerado con valores que oscilaron entre los 21 y 22 °C. El verano de 1960 fue el más cálido con 24,4 °C y el más frío fue en 1978 con 20,9 °C (Figura 2.6).

La primavera presenta un valor medio de 17,5 °C. Los máximos se registraron en 2008 y 2014 con 19,8 y 19,7 °C, respectivamente. Por otro lado, el mínimo fue en 1963 con 15,3 °C. La temperatura media de otoño es 12,9 °C. El mayor valor se produjo en 2006 con 16,2 °C y el menor en 2010 con 11,2 °C. El otoño de 2014 fue el más frío de todas las estaciones de ese año, registrando 11,8 °C. Los inviernos tienen una media de 9,5 °C con un mínimo de 5,1 °C (2006) y un máximo de 13,1 °C (2014) (Figura 2.6).

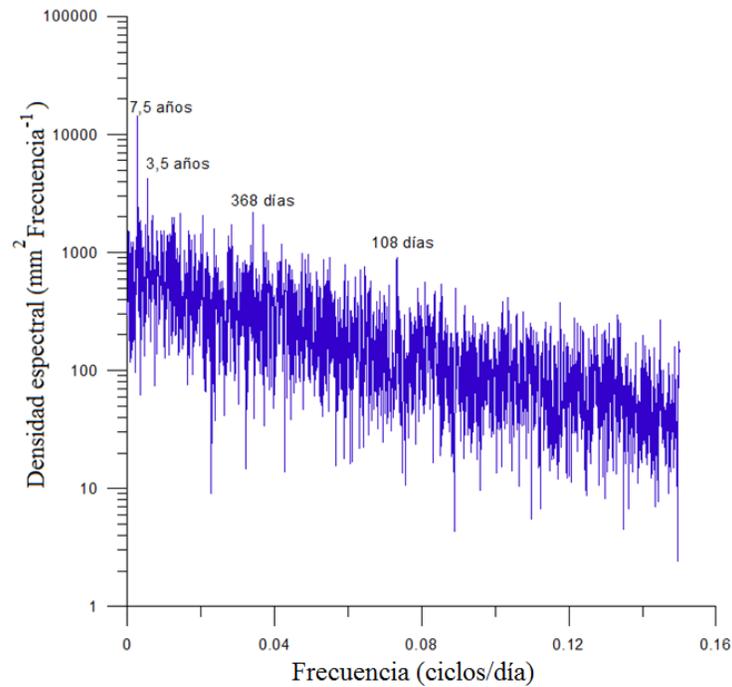


**Figura 2.6.** Temperatura media estacional del período 1960-2014.

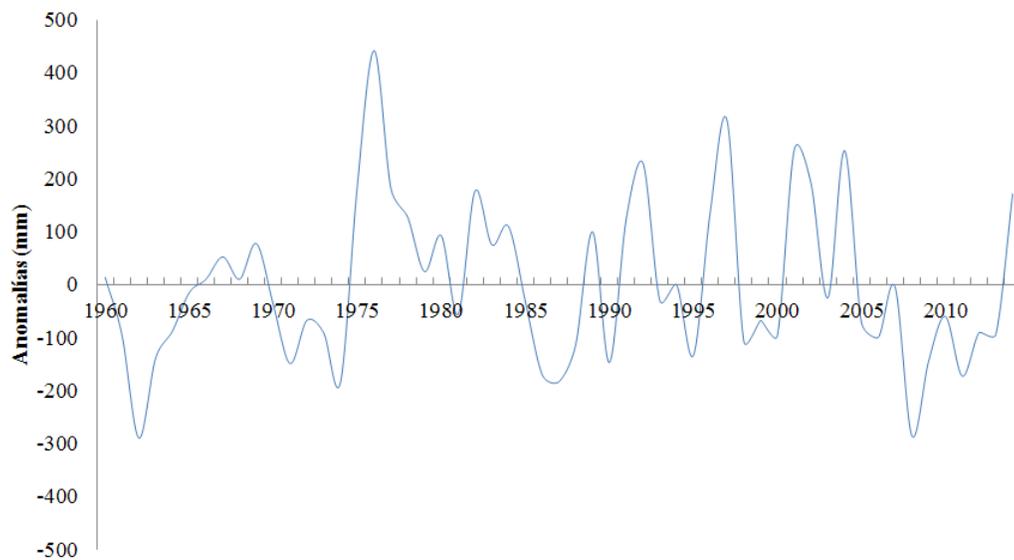
### 3.1.2. Precipitaciones

El análisis de Fourier aplicado a la precipitación anual mostró intensidades de señal en 7,5 años, relacionado con una variación inter-decádica, otro máximo en 3,5 años referida a una señal inter-anual. Los máximos anuales (368 días) y estacionales (108 días) fueron muy importantes (Figura 2.7). El valor medio anual para el período de estudio es 644,6 mm. Se observaron dos

décadas secas 2000-2010 y 1960-1970. El año con menor precipitación fue 1962 con 354,7 mm anuales. Por otro lado, las décadas más lluviosas fueron 1970-1980 y 1990-2000. Cabe señalar que a partir de los 1990 se observaron las mayores fluctuaciones entre períodos secos y húmedos (Figura 2.8).

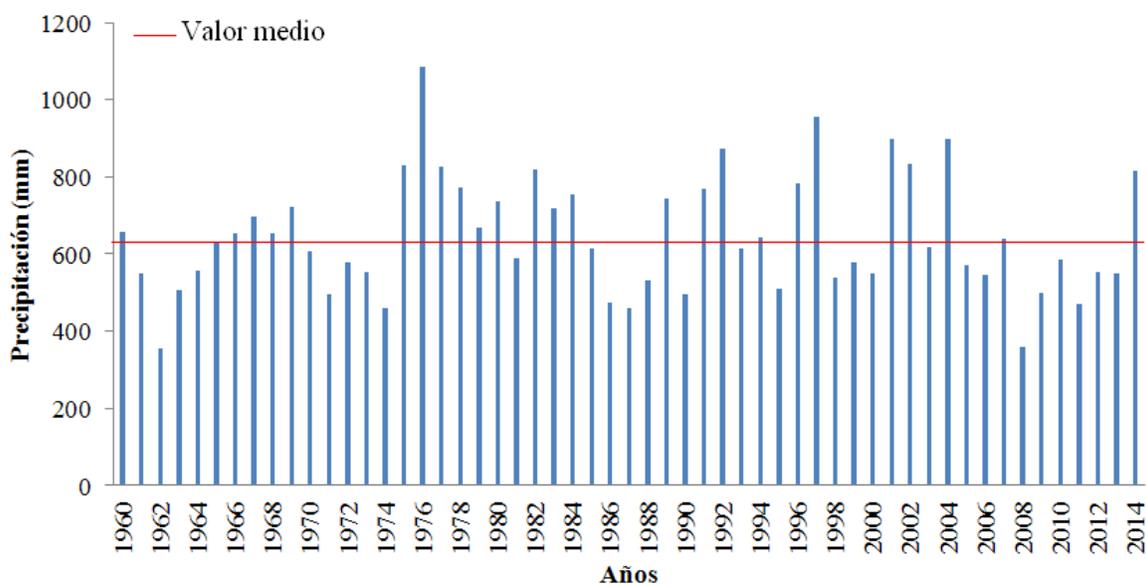


**Figura 2.7.** Densidad espectral de la precipitación diaria del período 1960-2014.



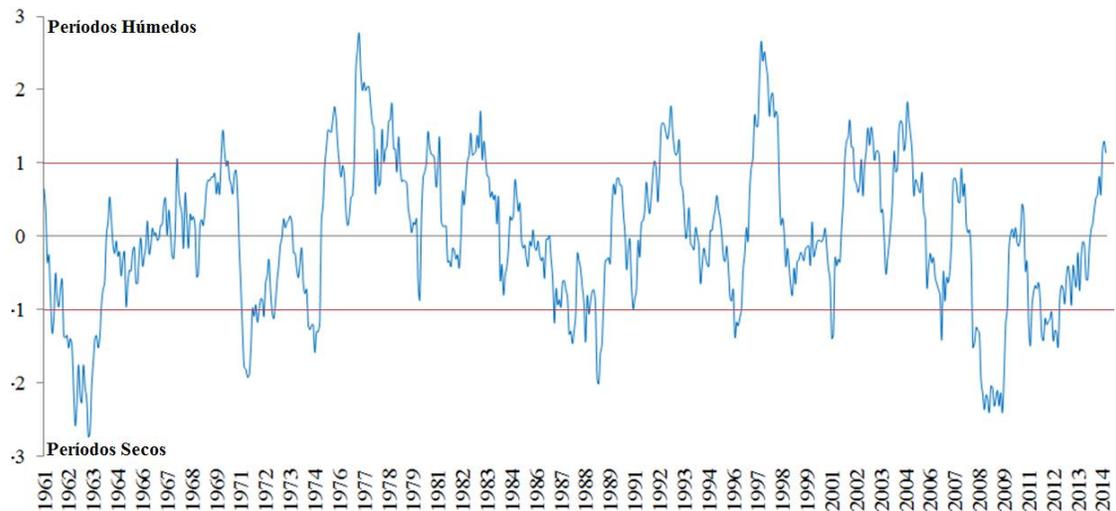
**Figura 2.8.** Anomalías de la precipitación media anual (mm) de Bahía Blanca durante el período 1960-2014.

El máximo valor del parámetro fue 1086,3 mm en 1976 y el mínimo 354,7 mm en 1962. Se observaron períodos en los que la precipitación no superó el valor medio en 1961-1964, 1970-1974, 1985-1988 y 2005-2013, mientras que los períodos en donde sí lo hicieron fueron 1966-1970, 1975-1980 y 2001-2004 (Figura 2.9).



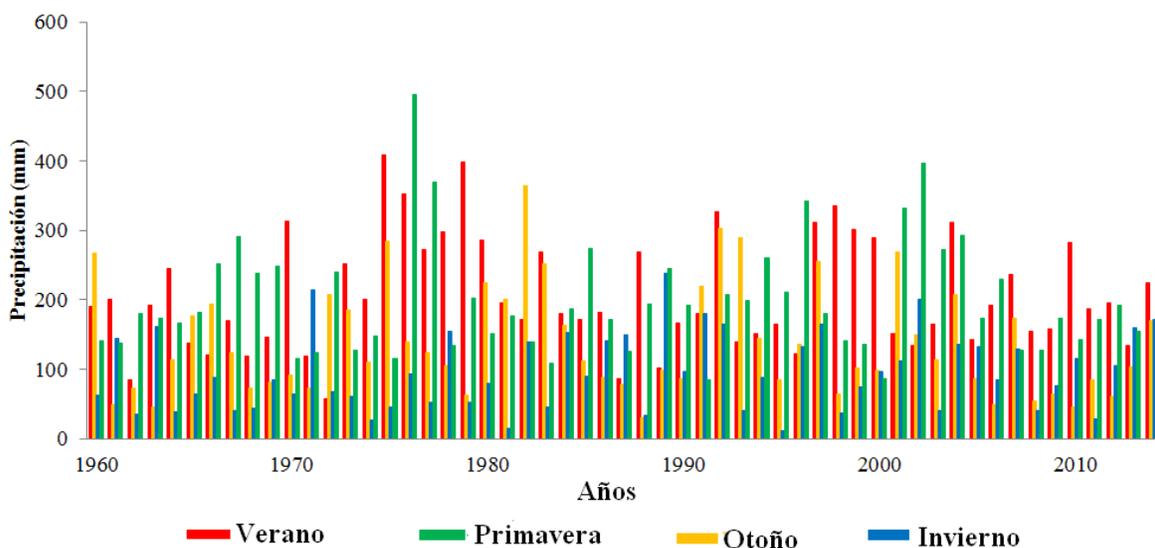
**Figura 2.9.** Precipitación anual para el período 1960-2014.

La concepción natural de las precipitaciones presentó relación con el índice ONI. Los períodos Extremadamente secos de 1962-1963 y 2008-2010 coincidieron con eventos La Niña débil y moderado, respectivamente. Los observados en 1970 y 1988 fueron La Niña moderado y 2010 La Niña débil. En contraposición, los períodos Extremadamente húmedos se presentaron en 1975-1977 (El Niño, débil) y 1997-1998 (El Niño, moderado), los Muy húmedos de 1978, 1979, 1992-1993 y 2004-2005 ocurrieron durante El Niño, débil mientras que el de 2002 durante un evento El Niño moderado. El resto de los períodos fueron Moderadamente húmedos. Los períodos Normales de precipitación se presentaron en 1966-1968 (El Niño, débil), 1984-1986 (La Niña, débil) y 1999-2001 (La Niña, débil) (Figura 2.10).



**Figura 2.10.** Índice Estandarizado de Precipitación para el período 1960-2014.

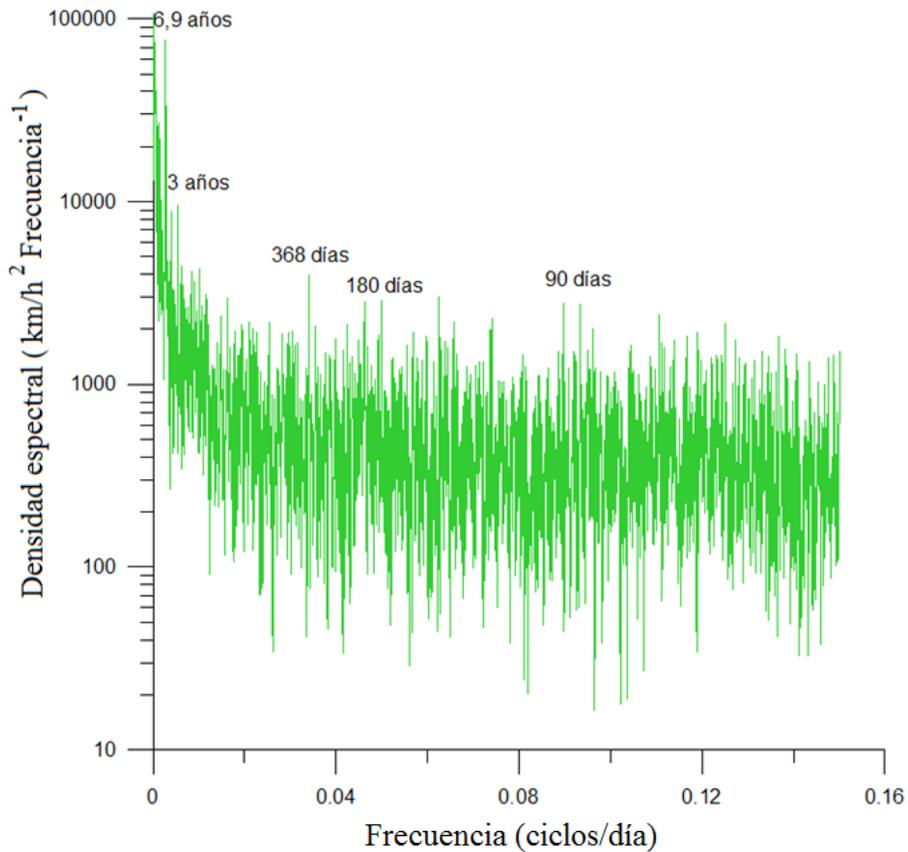
Al igual que la temperatura, la precipitación presentó diferencias notables a escala estacional. El verano es la estación más lluviosa con una media de 206,2 mm, presentando un máximo de 405 mm en 1985 y un mínimo de 56,5 mm en 1972. La media primaveral es 198,4 mm. El máximo se registró en 1976 con 496 mm y el mínimo en 1991 con 83,7 mm. El otoño presenta un valor medio de 138,1 mm oscilando entre 364,2 y 30,7 mm en 1982 y 1988, respectivamente. Finalmente, en el invierno el valor medio es 96,3 mm con un máximo de 238,5 mm en 1989 y un mínimo de 11,5 mm en 1995 (Figura 2.11).



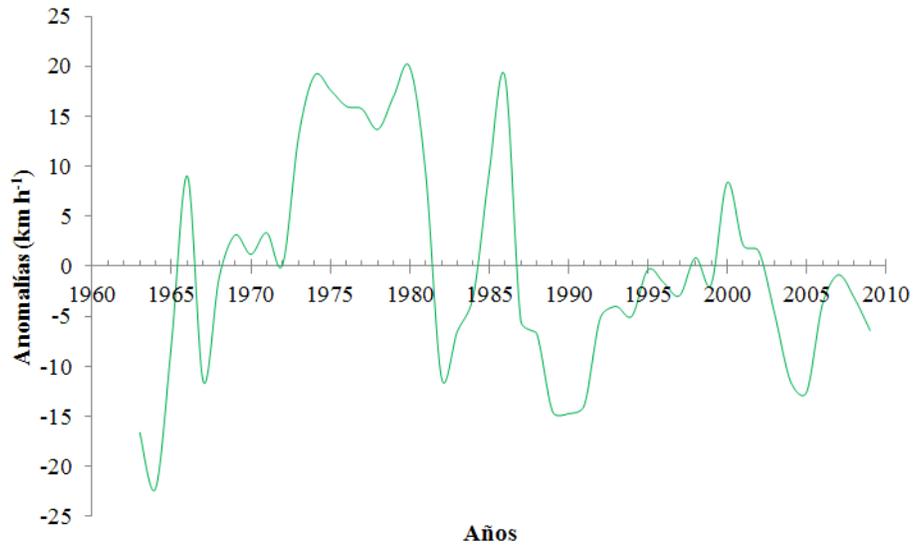
**Figura 2.11.** Precipitación estacional del período 1960-2014.

### 3.1.3. Velocidad máxima del viento

La velocidad máxima del viento presentó un comportamiento similar al observado en las precipitaciones al aplicar la Transformada Rápida de Fourier. Se encontraron máximas significativas cada 6,9 años, cada 3 años, 368 días, 180 días y 90 días (Figuras 2.12). Las máximas velocidades medias del viento se concentraron en la década de 1970-1980 con valores que superaron la media del período ( $50,3 \text{ km h}^{-1}$ ) registrando un valor de  $62 \text{ km h}^{-1}$ . La década del 1980-1990 tuvo un valor medio de  $51,4 \text{ km h}^{-1}$  y a partir de entonces la velocidad media disminuyó registrando velocidades de  $45,5 \text{ km h}^{-1}$  en la década de 1990-2000 y de  $47,2 \text{ km h}^{-1}$  en la de 2000-2010 (Figura 2.13).

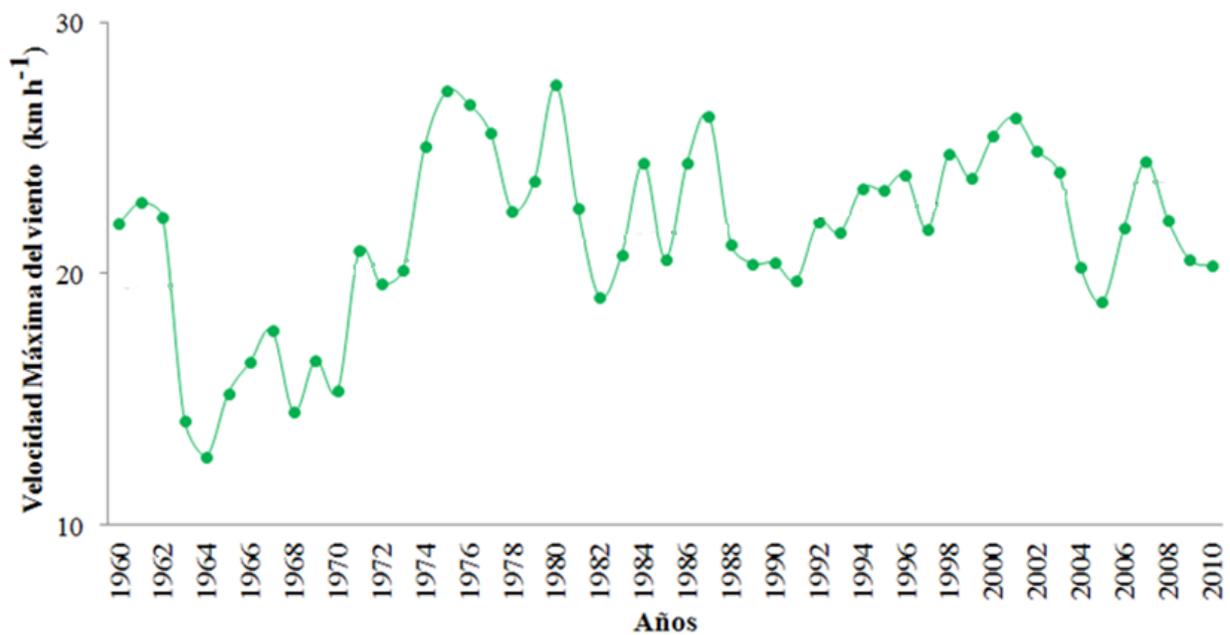


**Figura 2.12.** Densidad espectral de la velocidad máxima diaria del viento del período 1963-2010.



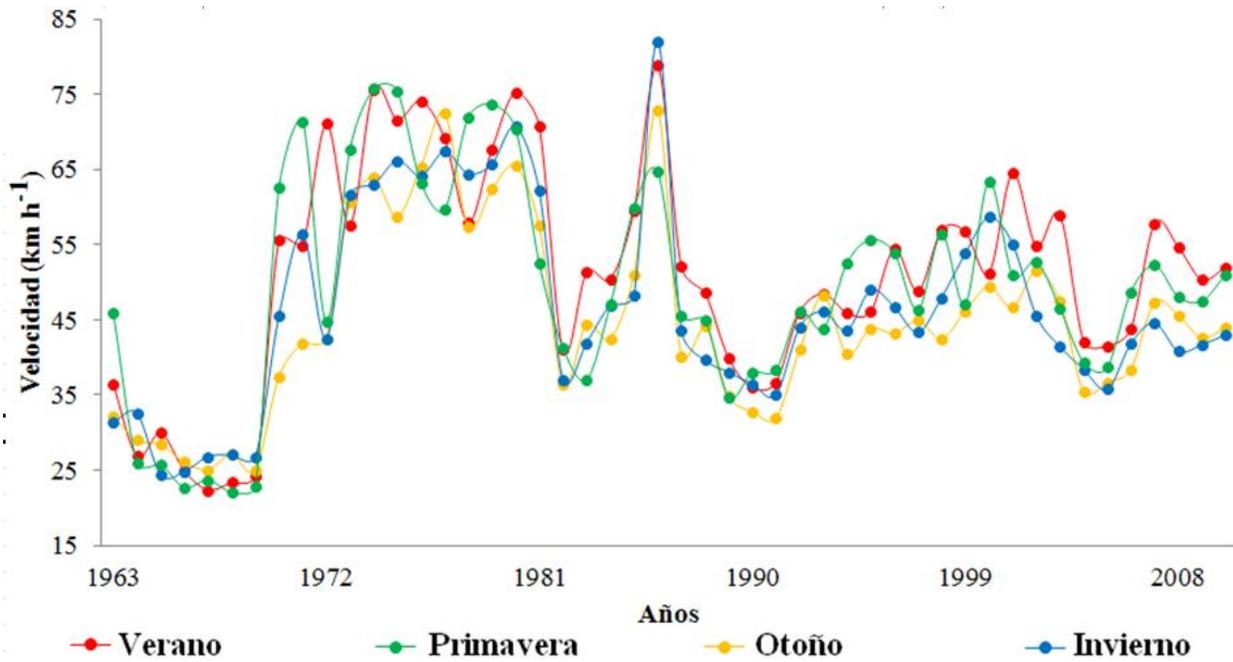
**Figura 2.13.** Anomalías de la velocidad máxima media del viento ( $\text{km h}^{-1}$ ) de Bahía Blanca durante el período 1960-2010.

Durante el período 1986-2010 la velocidad máxima del viento disminuyó  $7,5 \text{ km h}^{-1}$ . El mayor registro fue  $70,3 \text{ km h}^{-1}$  en 1980 y el menor  $28,2 \text{ km h}^{-1}$  en 1964. Los vientos máximos fueron mayores en el período 1973-1980 y 1984-1986. A partir de 2003 este parámetro evidenció una disminución de las velocidades medias máximas anuales (Figura 2.14).



**Figura 2.14.** Velocidad máxima media del viento para el período 1963-2010.

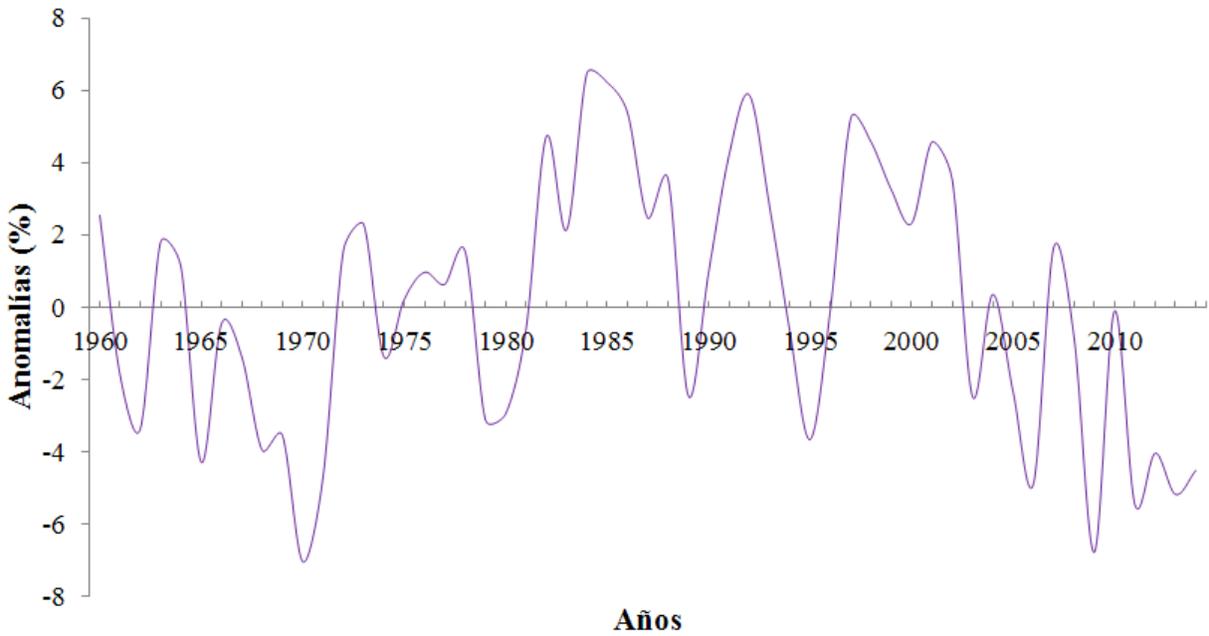
Este parámetro es mayor durante el verano ( $51,2 \text{ km h}^{-1}$ ) y menor en el otoño ( $44,7 \text{ km h}^{-1}$ ). La primavera presenta una velocidad máxima de  $49,4 \text{ km h}^{-1}$  y el invierno de  $46,5 \text{ km h}^{-1}$ . La mayor velocidad media se presentó en el invierno de 1986 con  $82 \text{ km h}^{-1}$  y la menor en la primavera de 1968 y en el verano de 1967 con  $22,1$  y  $22,4 \text{ km h}^{-1}$ , respectivamente (Figura 2.15).



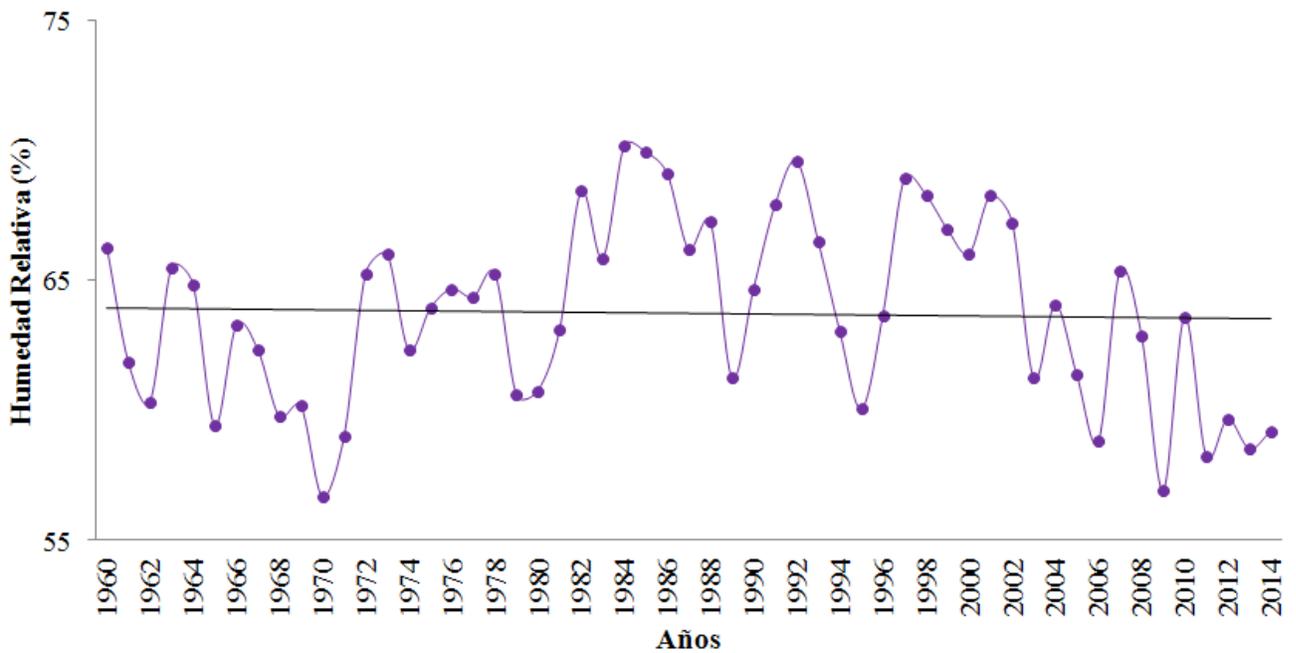
**Figura 2.15.** Velocidad máxima media del viento estacional del período 1960-2014.

### 3.1.4. Humedad Relativa

La humedad relativa presenta una media de 63,7 %. El análisis decádico presentó tres períodos secos y dos húmedos. La década más seca fue la de 2000-2010 con una anomalía de -2,9 %, seguido por la de 1960-1970 con -1,9 % y la de 1970-1980 con -0,5 %. La década más húmeda fue la de 1980-1990 con 3,6 % seguida por la de 1990-2000 con 1,8 % (Figura 2.16). La humedad relativa disminuyó 0,5 % en el período 1960-2014. El mayor valor medio se observó en 1984 con 70,2 % y los mínimos en 1970 con 56,7 % y en 2009 con 56,9 %. A partir de 2011, el parámetro mantuvo una tendencia decreciente (Figura 2.17).



**Figura 2.16.** Anomalías de la humedad relativa media anual (%) de Bahía Blanca durante el período 1960-2014.



**Figura 2.17.** Humedad relativa media anual para el período 1960-2014.

#### **4. Conclusiones**

Durante los últimos 50 años (1960-2014), la temperatura del aire de la ciudad de Bahía Blanca se incrementó 0,9 °C, la velocidad máxima del viento se redujo 7,5 km h<sup>-1</sup> y la humedad relativa presentó dos ciclos diferenciados, marcando períodos húmedos y secos. Las precipitaciones presentaron dos eventos extremos Extremadamente secos y dos Extremadamente húmedos. Los años secos y húmedos tuvieron una relación con el ONI ya que ocurrieron junto con años El Niño y La Niña débiles y moderados, mientras que los normales coincidieron en general con períodos Niño o Niña débiles. Los análisis de Fourier permitieron establecer que la precipitación presentó mayor energía en la intensidad decádica, inter-anual, anual y estacional. Un caso similar se observó en los vientos máximos. Las temperaturas máximas y mínimas mostraron un comportamiento similar al de las temperaturas medias, marcando una intensidad mayor en la señal anual, una estacional, mensual como así también sinóptica. Finalmente, se observó que el clima de la región presenta una marcada estacionalidad en todas las variables analizadas. Las temperaturas más elevadas, la mayor cantidad de precipitación y las velocidades máximas del viento son mayores en el verano y la primavera y menores en el invierno y el otoño.

## CAPÍTULO 3

### ISLA DE CALOR URBANA

#### 1. Introducción

La climatología urbana ha adquirido un notable desarrollo como respuesta a los problemas que acompañan al creciente proceso de urbanización. Las estimaciones prevén que en 2030, el 61 % de la población mundial habitará en ciudades (UNFPA, 2009). Es necesario entonces controlar si el efecto del crecimiento del área urbana incide en una modificación artificial del clima que pueda perjudicar a sus habitantes (Carfan *et al.*, 2012).

Uno de los efectos más conocidos ocasionados por el crecimiento de las ciudades es el aumento de la temperatura (Járegui, 2009). Las ciudades son generalmente más cálidas que su entorno rural próximo (Oke, 1973). La magnitud de estas diferencias térmicas es muy variable y dependen de múltiples factores, aunque el área edificada suele presentar una temperatura del aire más elevada. Este fenómeno se denomina Isla de Calor Urbana (ICU). La misma es el ejemplo más evidente de la influencia del hombre sobre el clima de una ciudad y ha sido estudiada en todo el mundo (Torok *et al.*, 2001; Dorighello, 2002; Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Alcoforado y Andrade, 2006; Kassomenos y Katsoulis, 2006).

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 modificación del espacio natural producto de las edificaciones (Jáugueri Ostos y Heres Pulido, 2008). Los nuevos materiales tienen propiedades radiativas y conductivas muy diferentes al medio original que aumentan la retención y generación del calor (Grimmond, 2007) e impactan sobre la distribución de las precipitaciones a escala local (Járegui, 2004).

Para el estudio de la ICU se han desarrollado e implementado diferentes metodologías. Por un lado, con la instalación de estaciones meteorológicas dispersas en la ciudad (centro, periférica, industrias, parques, etc), se registran datos de diversos parámetros meteorológicos (Comarazamy *et al.*, 2007; Sarricolea *et al.*, 2008; Romer *et al.*, 2008; Dávila *et al.*, 2011). Otro método empleado es el de los Recorridos Urbanos o Transectas. Para ello se necesitan estaciones

móviles que registren datos termo-higrométricos y vehículos para transportarse por la ciudad. Este tipo de mediciones se realiza a partir de la toma de datos en diversos puntos preseleccionados con una distancia aproximada de 100-200 m. Obtenidos los datos, se normalizan con registros proporcionados por una estación meteorológica permanente ubicada en la ciudad (Piccolo y Capelli de Steffens, 1987; Bello Fuentes, 1994, Bello Fuentes *et al.*, 1995; Flaño, *et al.*, 2008; García y Piccolo, 2009)

Es escaso el desarrollo de instrumentales que permitan registrar datos en movimiento. Puede nombrarse por un lado el caso de Wong y Yu (2005) quienes estudiaron la ICU en Singapur. Para su estudio utilizaron 4 estaciones móviles montadas en vehículos. Las mismas registraron datos de temperatura y humedad y les permitieron establecer relaciones entre las coberturas del suelo y las condiciones ambientales. Por otro lado Bertz *et al.* (2010) utilizaron una plataforma móvil para estudiar el estrés de la isla de calor en la ciudad de Rotterdam. Este instrumental se monta sobre una bicicleta que recorre la ciudad en diferentes transectas.

Actualmente, es de suma importancia el desarrollo de un instrumental de bajo costo que permita realizar mediciones constantes en las ciudades dado que en ellas se concentra más del 50 % de la población del mundo. El estudio del clima de estos ambientes muchas veces constituye un recurso importante para el desarrollo de las comunidades y permite conocer las aptitudes y restricciones climáticas con vista a futuras expansiones urbanísticas (Ferrelli *et al.*, 2016b). Por ello y debido a la inexistencia de la aplicación de nuevas metodologías para el estudio del clima urbano en la Argentina, en este capítulo, se presenta el desarrollo de un instrumental que permite realizar mediciones de temperatura y humedad relativa urbanas, en menor tiempo, con mayor precisión y en alta frecuencia de muestreo. Además, considerando que la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) experimentó un importante crecimiento poblacional, se han instalado nuevas industrias y se ha expandido el área edificada, se analizaron los cambios en la distribución de la Isla de Calor Urbana en los últimos treinta años (1985-2015).

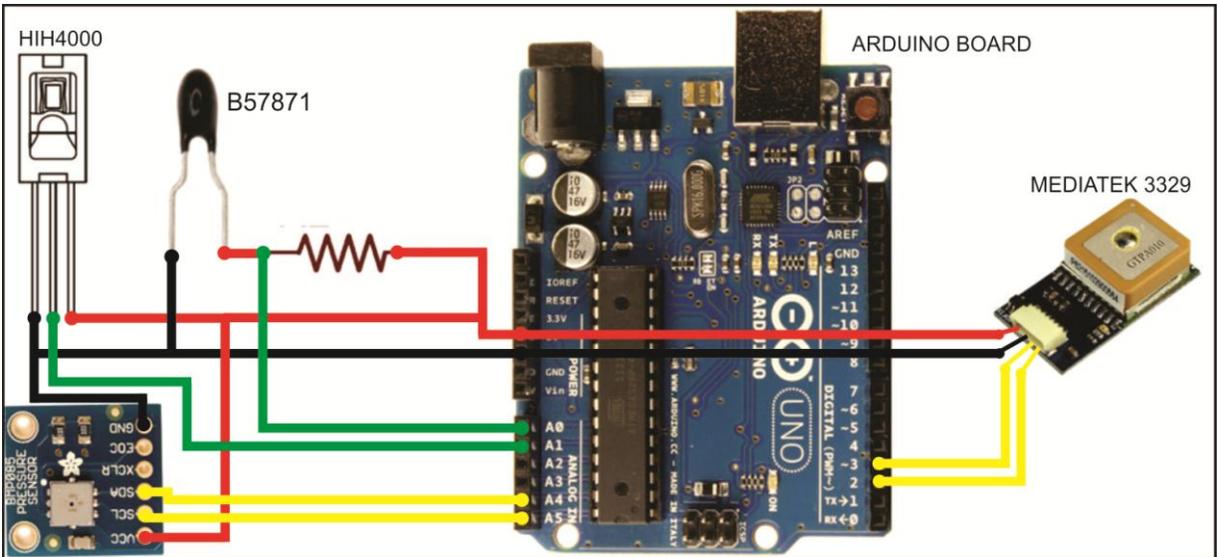
## **2. Metodología**

La metodología propuesta en este capítulo se basa en el diseño, calibración y aplicación de dos dispositivos de medición en alta frecuencia (Ferrelli *et al.*, 2015a). Posteriormente se analizaron los cambios en la distribución de la temperatura del aire y la humedad relativa comparando los resultados de mediciones realizadas en 1985 y 2014 (Ferrelli *et al.*, 2016b).

### **2.1. Diseño de instrumental**

Se desarrollaron dos dispositivos para obtener datos georeferenciados de variables meteorológicas. Los mismos fueron diseñados por el Ingeniero electrónico Dr. Alejandro Vitale (Instituto Argentino de Oceanografía, IADO-CONICET). Los dispositivos se utilizan para la medición de la Isla de Calor Urbano (de ahora en adelante DICU – Dispositivo de Isla de Calor Urbana). Se instalan en vehículos y permiten medir los parámetros en movimiento a una velocidad constante. Debido a que registran la información de forma continua el tiempo de medición se reduce con respecto a otros métodos encontrados en la literatura. Este instrumento permite estudiar la ICU en ciudades grandes. Estas características hacen que el DICU pueda integrarse con otros métodos como el presentado por Huang *et al.* (2010), donde se modela la conservación del suelo considerando el crecimiento urbano (Ferrelli *et al.*, 2015a).

Cada DICU está integrado por sensores que registran la información georeferenciada (GPS), temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento y altura sobre el nivel del mar (Tabla 3.1). Estos sensores se calibraron con una estación localizada en la ciudad para compensar las variaciones de los parámetros meteorológicos durante el tiempo de muestreo. Los mismos se integraron en una plataforma de código abierto basada en Software y Hardware flexibles y fáciles de usar (Arduino, Figura 3.1. <http://www.arduino.cc/>). Su característica principal es que la licencia es abierta y que la utilización de este tipo de herramientas de acceso libre reduce los costos de desarrollo de equipamiento científico y ayudan a generar redes para crear nuevos instrumentos (Ferrelli *et al.*, 2015a).



**Figura 3.1.** Conexiones del dispositivo DICU. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015a).

PARÁMETROS	SENSOR	ERROR
Temperatura	NTC10K (B57871)	+/- 0,1 °C
Humedad	HIH 4000	+/- 2 %
Presión barométrica	BMP 085	+/- 0,3 Hpa.
Altitud	BMP 085	+/- 1 m
GPS	MEDIATEK 3329	+/- 3 m

**Tabla 3.1.** Características de cada sensor.

Los registros se realizan en 2 Hz, logrando una alta frecuencia espacial y temporal. La información se tabula en la pantalla de una computadora, permitiendo que las capturas puedan visualizarse y realizarse con cualquier Hardware (Figura 3.2). El sistema puede utilizarse en módulo Bluetooth, lo que facilita su funcionamiento en cualquier dispositivo (Shield Bluetooth). El DICU puede conectarse con dispositivos móviles como Tablets o Smartphones (Ferrelli *et al.*, 2015a).

Además, los DICU son útiles para ser aplicados en estudios a micro-escala, ya que registra aproximadamente 10 muestras cada 100 m. Es poco el personal que se necesita para realizar las mediciones por lo tanto los costos de operación se reducen. Además, los datos georeferenciados permiten una fácil integración con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Date	GPS Time	Lat	Long	Vel. km/h	Dir. °	GPS	RH	AT	BP	Alt.
80613	14170782	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101399	0.42
80613	14170832	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.5	101396	0.42
80613	14170882	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.5	101389	0.75
80613	14170932	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101401	0.42
80613	14170982	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.7	101397	0.42
80613	14171032	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101395	0.25
80613	14171082	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101403	0.42
80613	14171132	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.7	101398	0.33
80613	14171182	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101398	0.83
80613	14171232	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.7	101397	0.67
80613	14171282	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.5	101395	0.83
80613	14171332	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.5	101398	0.83
80613	14171382	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.4	101399	0.67
80613	14171432	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101400	0.50
80613	14171482	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.7	101402	-0.17
80613	14171532	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.5	101399	0.00
80613	14171582	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.7	101398	0.83
80613	14171632	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.7	101398	0.50
80613	14171682	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.7	101400	0.75
80613	14171732	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101399	0.58
80613	14171782	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101400	0.58
80613	14171832	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101396	0.83
80613	14171882	-3869761	-6228109	0	0	XX	24	22.5	101395	0.58
80613	14171932	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101397	0.50
80613	14171982	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.5	101396	0.92
80613	14172032	-3869761	-6228109	0	0	XX	23	22.7	101392	0.08

**Figura 3.2.** Visualización de los datos en el Software diseñado. **Lat.** Latitud, **Long.** Longitud. **Vel.** Velocidad del viento en km h<sup>-1</sup>, **Dir. °.** Dirección del viento. **RH.** Humedad Relativa, **AT.** Temperatura del aire, **PB.** Presión atmosférica, **Alt.** Altura. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015a).

### 2.1.1. Calibración de los DICU

Se calibraron los dos DICU con datos *in situ* con el fin de demostrar la validez de los datos adquiridos. Para realizarlo se seleccionó un día de campaña (18 de julio de 2013) en el que se midió con ambos instrumentos simultáneamente. Ese día presentó cielo despejado, presión atmosférica normal y la velocidad del viento fue inferior a 10 km h<sup>-1</sup>. Se ubicaron ambos DICU

en el mismo vehículo y se realizó un muestreo que duró aproximadamente 4 horas (Figura 3.3). El mismo incorporó los dos recorridos urbanos presentados en la figura 3.4. Las variables a comparar fueron humedad relativa y temperatura del aire.



**Figura 3.3.** Instalación de los DICU. Fuente: Ferrelli *et al.* (2016b).

Se recolectaron un total de 50.550 datos, 25.275 por cada uno de los dispositivos. Los mismos fueron comparados a partir de métodos estadísticos. Se aplicó un análisis de regresión para analizar las relaciones entre los datos, se calcularon los índices de Pearson, Spearman, Concordancia y  $R^2$  para ambos parámetros. El tratamiento de la información se realizó con el Software Infostat.

La humedad relativa (HR) medida con el dispositivo 1 (D1) generó datos con un valor medio de 90,85 %. El Desvío Estándar (D. E.) fue 7,27, el Error Estándar (E.E.) 0,05, el mínimo 68 % y el máximo 100 %. Por otro lado, los del dispositivo 2 (D2) promediaron 91,02 % con un

D.E. de 7,15, un E.E. de 0,04. Al igual que el dispositivo 1, el valor mínimo fue de 68 % y el máximo 100 % (Tabla 3.2).

Variable	n	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
D1-HR	25275	90.85	7.27	0.05	68.00	100.00
D2-HR	25275	91.02	7.15	0.04	68.00	100.00

**Tabla 3.2.** Valores medios, desvíos estándar, error estándar, mínimo y máximo para la humedad relativa obtenida con cada uno de los dispositivos diseñados. **n:** número de datos de la muestra.

**D.E.** Desvío Estándar. **E.E.** Error Estándar. **Mín.** Valor mínimo. **Máx.** Valor máximo.

Para la temperatura del aire se calcularon las mismas medidas de resumen que en la humedad relativa. De esta manera, el D1 registró un valor medio de 5,5 °C, un D.E. de 1,84, un E.E. de 0,01. El valor mínimo fue 1,9 °C y el máximo 10,4 °C. Por otro lado el D2 tuvo una media de 5,31 °C, un D.E. de 1,8, un E.E. de 0,01. El mínimo valor obtenido fue de 2 °C y el máximo de 10,1 °C (Tabla 3.3).

Variable	n	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
D1-temperatura	25275	5.50	1.84	0.01	1.90	10.40
D2-Temperatura	25275	5.31	1.80	0.01	2.00	10.10

**Tabla 3.3.** Valores medios, desvíos estándar, error estándar, mínimo y máximo para la temperatura del aire obtenida con cada uno de los dispositivos diseñados. **n:** número de datos de la muestra. **D.E.** Desvío Estándar. **E.E.** Error Estándar. **Mín.** Valor mínimo. **Máx.** Valor máximo.

La temperatura del aire presentó una correlación alta entre los datos obtenidos por ambos dispositivos ( $R^2 = 0.99$ ). Mientras que la humedad relativa presentó un valor de 0.98 para los índices de Pearson, Spearman y Concordancia y el  $R^2$  de 0.97 (Tabla 3.4).

	Pearson	Spearman	Concordancia	$R^2$
Temperatura	0.99	0.99	0.99	0.99
Humedad	0.98	0.98	0.98	0.97

**Tabla 3.4.** Coeficientes de correlación para la temperatura del aire realizados con los valores obtenidos entre los dos dispositivos.

## 2.2. Análisis de la evolución de la ICU

Se compararon las mediciones de la ICU efectuadas el 20 de febrero y el 20 de agosto de 1985 (Piccolo y Capelli de Steffens, 1985, 1987) con las realizadas el 20 de febrero y el 14 de agosto de 2014. Las condiciones atmosféricas de los días de las mediciones fueron similares para ambos años. La presencia de un centro de alta presión generó cielo claro y despejado con vientos leves del sector norte.

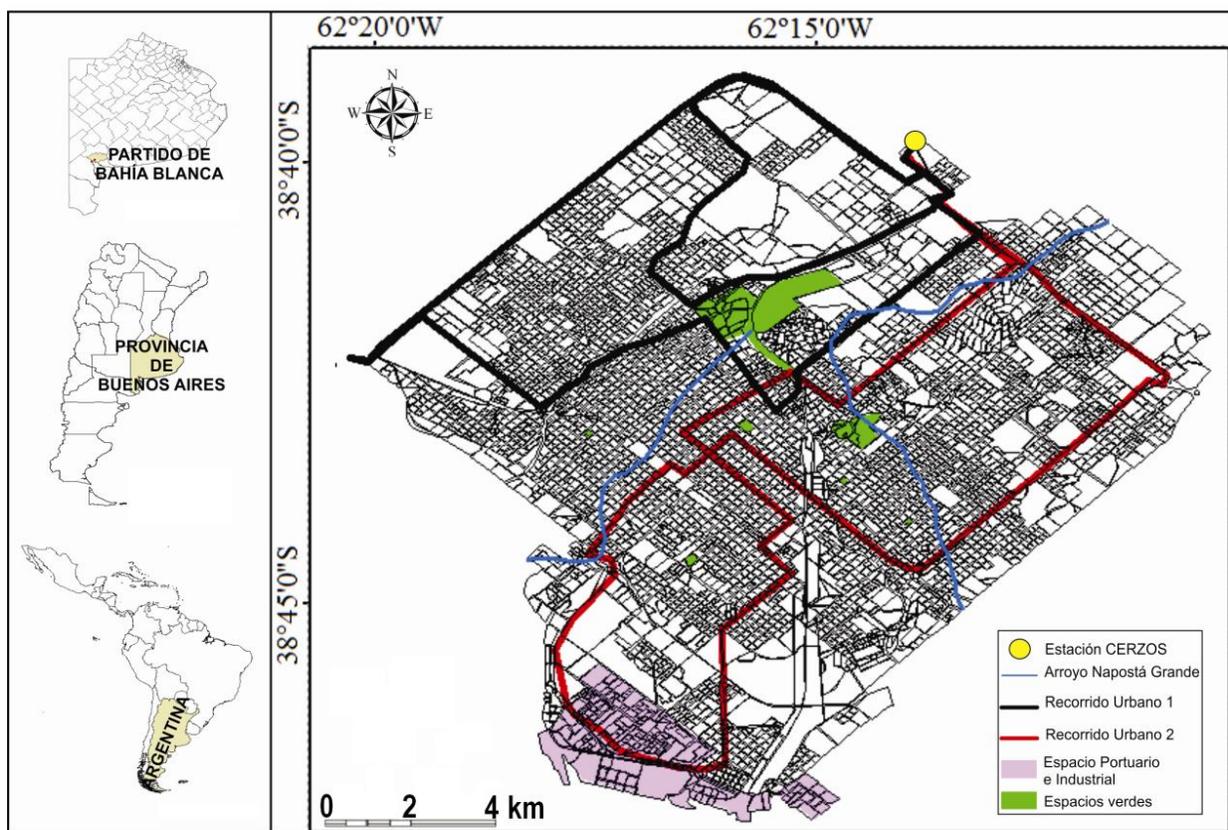
Durante 1985, se utilizaron dos autos que recorrieron la ciudad a una velocidad constante de 35 km h<sup>-1</sup> durante 120 minutos para abarcar toda el área urbana. Las mediciones se realizaron mediante termohigrómetros convencionales en dos momentos del día, el diurno (14:30 hs) (coincidente con la máxima temperatura) y el nocturno (20 hs). En 2014 se utilizaron los DICU en dos recorridos que atravesaron la ciudad (Figura 3.4), abarcando su periferia, centro, espacios verdes, zona portuaria y utilizando dos vehículos. Las mediciones se extendieron por 90 minutos, lo que manifestó las ventajas del dispositivo diseñado dado que, a pesar de registrarse un crecimiento urbano significativo, el período de medición para cubrir el área urbana fue menor que en los estudios previos.

Los datos registrados en 2014 fueron normalizados siguiendo la metodología de Piccolo y Capelli (1985, 1987) para llevarlos a una hora común (14:30 y 20:00 hs). Para ello se utilizó la información meteorológica registrada por una estación fija perteneciente al Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS-CONICET, Argentina) (Figura 3.4). Las comparaciones de la humedad relativa se realizaron sólo para el verano dado que no se pudieron obtener los datos para ambas estaciones.

El tratamiento de los datos se llevó a cabo con un Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.3. Se interpoló la información utilizando el método Kriging Ordinario con el modelo esférico. La intensidad de la ICU se calculó realizando la diferencia entre la temperatura máxima del área urbana y la correspondiente al área límite de la ciudad (Suburbana) (estación meteorológica del CERZOS) (Figura 3.4). Se calculó la velocidad crítica ( $V_c$ ) del viento mediante la fórmula [1] considerando el número de habitantes ( $P$ ). La misma es aquella en la cual ya no se forma la isla de calor (Oke y Hannell, 1970):

$$V_c = 11,6 + 3,4 \log P \quad [1]$$

La  $V_c$  de Bahía Blanca en 2014 fue de 30,2 km h<sup>-1</sup>, mientras que en 1985 era de 24 km h<sup>-1</sup>.



**Figura 3.4.** Localización de los recorridos urbanos, los espacios verdes, el espacio portuario, el arroyo Napostá Grande y la estación meteorológica del CERZOS. Fuente: Ferrelli *et al.* (2016b).

### 3. Resultados

#### 3.1. Condiciones atmosféricas de los días de medición de 2014

Las condiciones meteorológicas del 20 de febrero de 2014 presentaron el cielo despejado y condiciones de presión normal (1014 hPa) (Figura 3.5). La temperatura media del día fue 21,8 °C y la humedad relativa 57,1 %. El mínimo valor de temperatura fue 13,4 °C a las 1:00 hs y el máximo 30,3 °C a las 17 hs. Por otro lado, la humedad relativa fue mayor a las 3:00 (86 %) y menor a las 15:30 (23 %) (Figura 3.6).

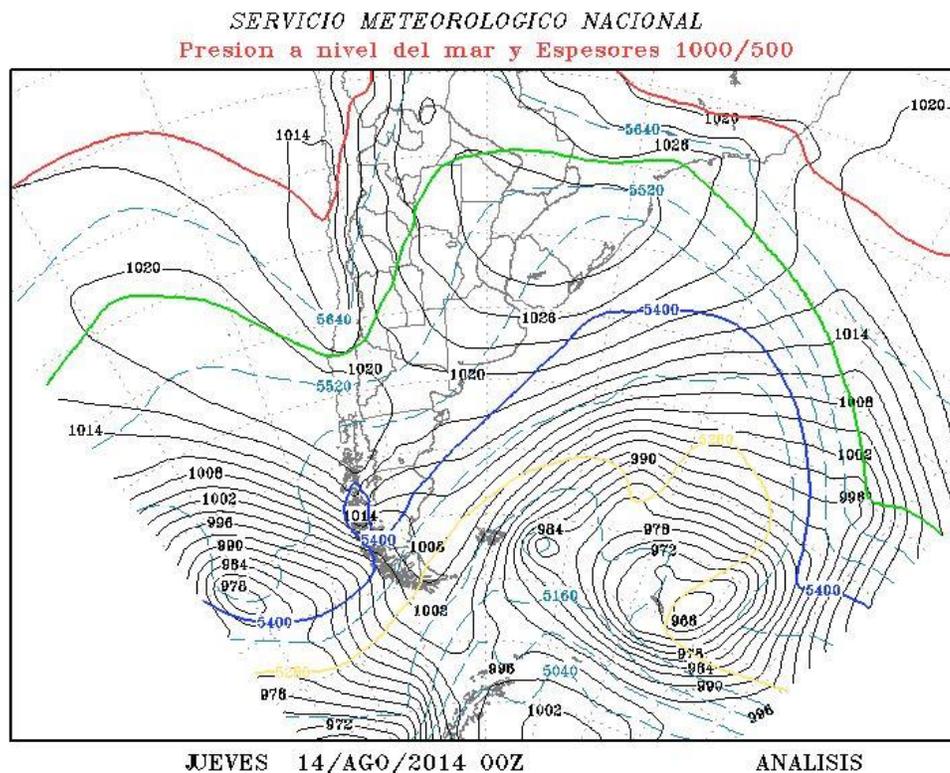


caracterizaron como Brisa Moderada y el 39,6 % en Brisa Débil según la escala de Beaufort. El mayor valor fue 24,9 km h<sup>-1</sup> (Brisa moderada) registrado a las 00:30 hs y el menor 17,4 km h<sup>-1</sup> a las 19:30 hs (Tabla 3.5).

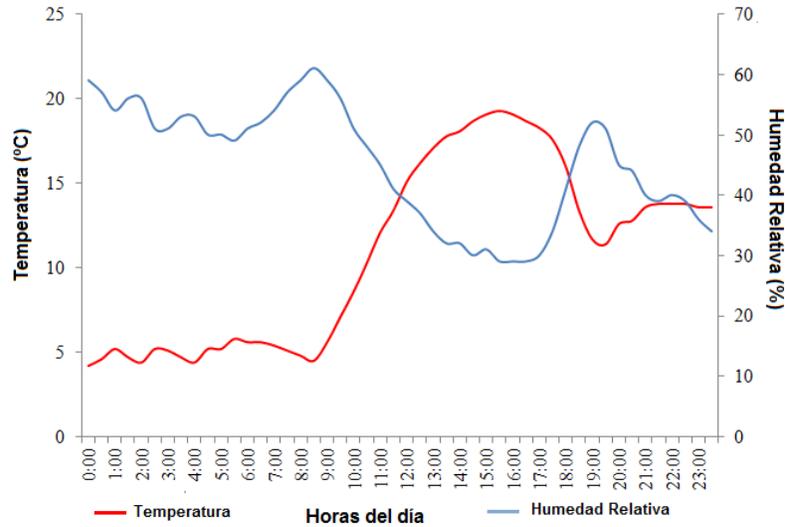
Escala (km h <sup>-1</sup> )	%	Horas
Brisa Débil (12 a 20)	39.6	9.5
Brisa Moderada (20 a 29)	60.4	14.5
<b>Total</b>	100	24

**Tabla 3.5.** Intensidad del viento de acuerdo a las escala de Beaufort (km h<sup>-1</sup>).

El 14 de agosto de 2014 presentó cielo descubierto con alta presión (1020 hPa) (Figura 3.7). La temperatura media diaria fue 10,9 °C y la humedad relativa 45,2 %. El mínimo valor de temperatura fue 4,2 °C a las 00:00 hs y el máximo 19.3 °C a las 15:30 hs. Por otro lado, la humedad relativa fue mayor a las 8:30 con 61 % y el menor a las 16:00 hs (29 %) (Figura 3.8).



**Figura 3.7.** Mapa sinóptico del 14 de agosto de 2014. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional



**Figura 3.8.** Distribución de la temperatura del aire y la humedad relativa del 14 de agosto de 2014.

Por otro lado, el viento tuvo una velocidad media de  $10 \text{ km h}^{-1}$ . La dirección predominante fue del sector norte. Las calmas se presentaron sólo en el 6,2 % y el 53,3 % se encuadraron dentro de Brisa Muy Débil según la escala de Beaufort. El mayor valor fue  $14,5 \text{ km h}^{-1}$  (Brisa débil) registrado a las 14:00 hs (Tabla 3.6).

<b>Escala (<math>\text{km h}^{-1}</math>)</b>	<b>%</b>	<b>Horas</b>
Calma (< 2)	6.2	1.5
Ventolina (2 a 6)	6.2	1.5
Brisa muy débil (6 a 12)	56.2	13.5
Brisa débil (12 a 20)	31.4	7.5
<b>Total</b>	100	24

**Tabla 3.6.** Intensidad del viento de acuerdo a las escala de Beaufort ( $\text{km h}^{-1}$ ).

### 3.2. Modificaciones en la ICU

La ICU estival se modificó como consecuencia de la expansión urbana de Bahía Blanca (analizada en el Cap. 4). En la medición diurna de 1985, el viento sopló del noroeste a una velocidad de  $12 \text{ km h}^{-1}$ . Las temperaturas más elevadas se registraron en el sector periférico y las menores en el centro, sur y sudoeste de la ciudad (Piccolo y Capelli, 1985). Las zonas portuarias fueron más frescas debido a la interacción entre el agua y el aire. Durante las horas del día, la

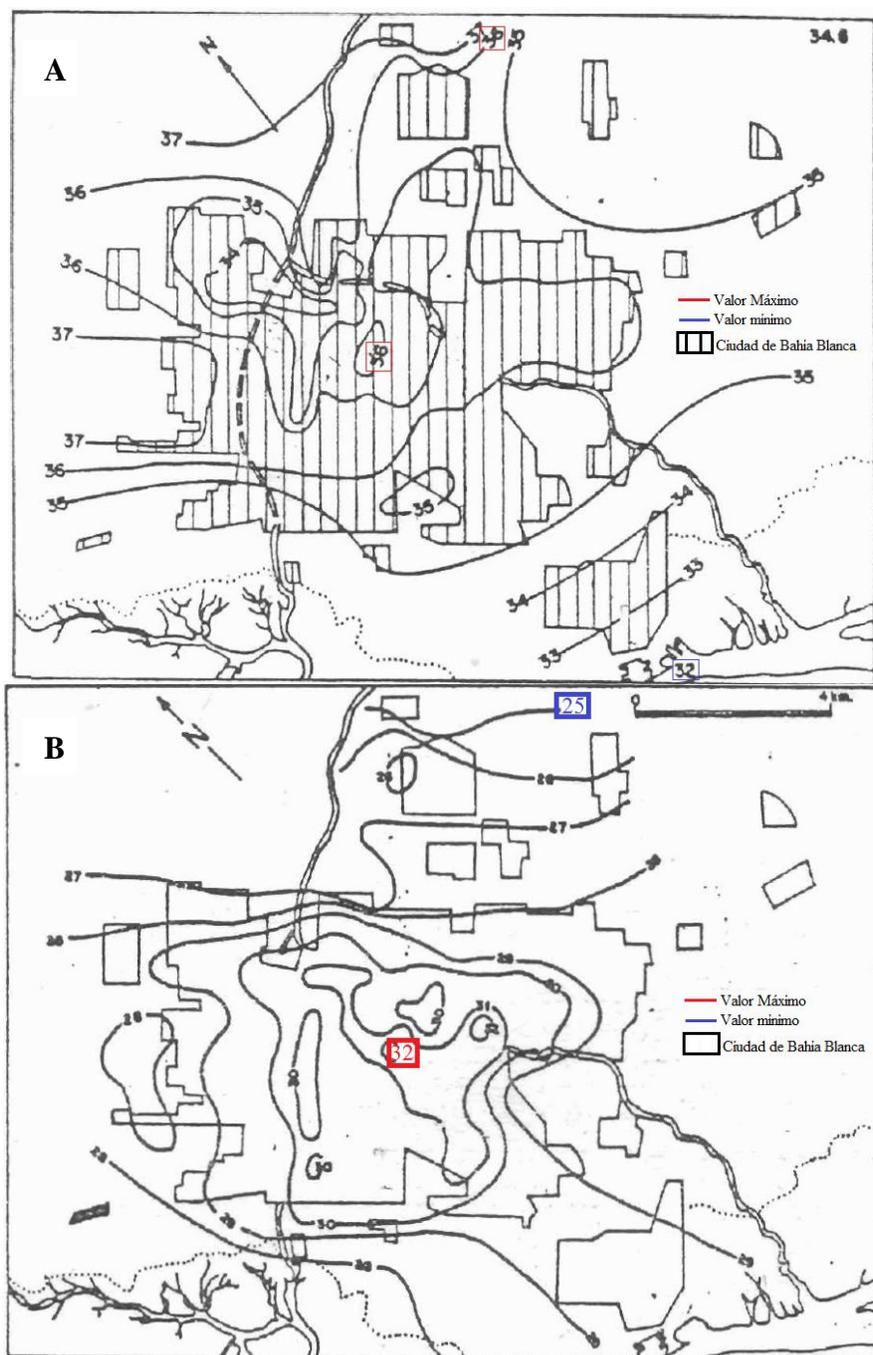
ciudad se presentó más fresca que su entorno, generando islas frías. Las mayores temperaturas (37 °C) se localizaron en el norte y noroeste de la ciudad. La ICU registrada fue de 4 °C (Figura 3.9). En cambio, las mediciones diurnas de 2014 presentaron el centro y el oeste de la ciudad más cálidos. En las zonas de parques las temperaturas fueron más frías en 2014 registrando 32,1 °C (-1,9 °C con respecto a 1985). La máxima temperatura fue 36,6 °C y la mínima 30,3 °C, marcando una amplitud de 6,3 °C. El centro de la ciudad registró el mayor valor de temperatura (36,6 °C) (Figura 3.10).

La ICU nocturna de 1985 fue 7 °C. El centro de la ciudad fue más cálido. La máxima temperatura (30,4 °C) se localizó en el microcentro, producto de la densidad edilicia. El noroeste registró las temperaturas más bajas (23,4 °C), coincidiendo con la mayor cantidad de vegetación y con la dirección del viento (Figura 3.9). Por otro lado, en 2014, la ICU nocturna fue 9,7 °C, es decir, 2,7 °C mayor que en 1985. Las mínimas temperaturas (22,5 °C) se presentaron en las zonas arboladas de la ciudad. Estas coincidieron con los parques, los barrios parque y la zona con menor cantidad de edificios. El valor máximo se presentó en el sur, con un valor de 32,2 °C (Figura 3.10 y Tabla 3.7). La humedad relativa en 2014 presentó al centro y a la zona costera de la ciudad más seca, durante la hora de la máxima temperatura. Los mayores registros se presentaron en el oeste y sudoeste.

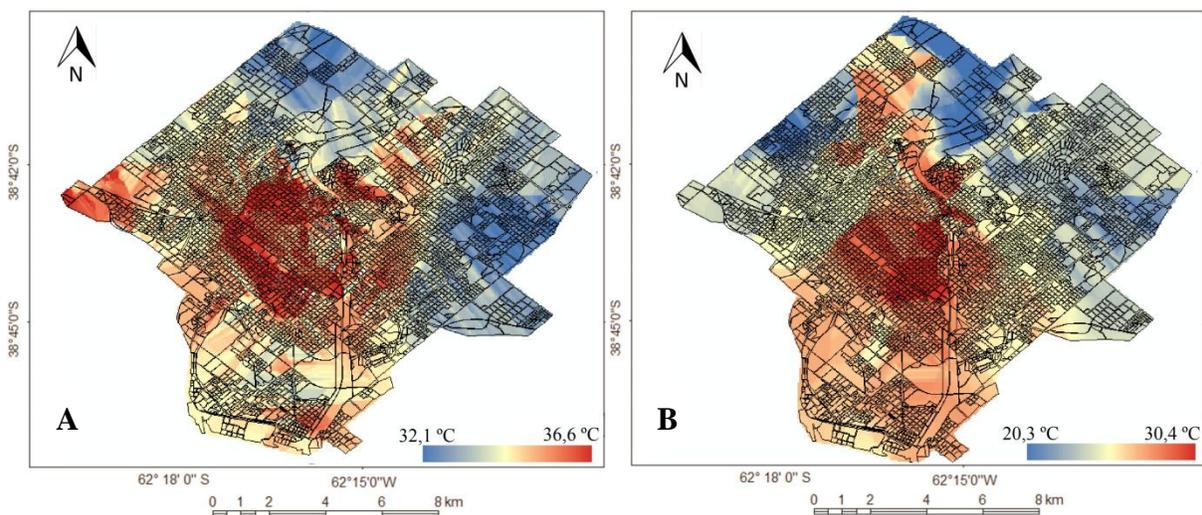
En las mediciones de verano de 1985 y durante el día la ciudad fue más seca que su entorno rural próximo en un 10 %. Al igual que en las mediciones de 2014, los menores valores coincidieron con los flujos de aire caliente. En 2014, el máximo valor se registró en los parques y en los barrios parque de la ciudad y los menores en el centro urbano (60 %). La zona costera fue la más húmeda (92 %). En este año, la ciudad fue 10 % más húmeda que su entorno rural próximo (Figura 3.10).

Las mediciones nocturnas de 1985 presentaron a la ciudad seca, con una diferencia del 20 % menor en relación a su periferia. Los máximos valores se registraron en los parques y los barrios parque. La zona costera presentó valores que oscilaron entre 42 y 45 % (Figura 3.11). En 2014, en cambio, se registraron las mayores diferencias en la humedad relativa. El menor valor fue de 23 % y se localizó en el centro, mientras que el mayor fue de 70 % localizado en los parques y hacia el W. La ciudad fue un 23 % más húmeda que su entorno (Figura 3.12). Los cambios observados se deben a que el aumento de la edificación genera un cambio en la velocidad del viento y un incremento de las turbulencias afectando la distribución de la temperatura y la

humedad relativa (Sepulveda Moreno, 2006). Por otro lado, según Luber y McGeehin (2008), la ausencia de vegetación o la disminución de la misma afectan el comportamiento de la humedad relativa.



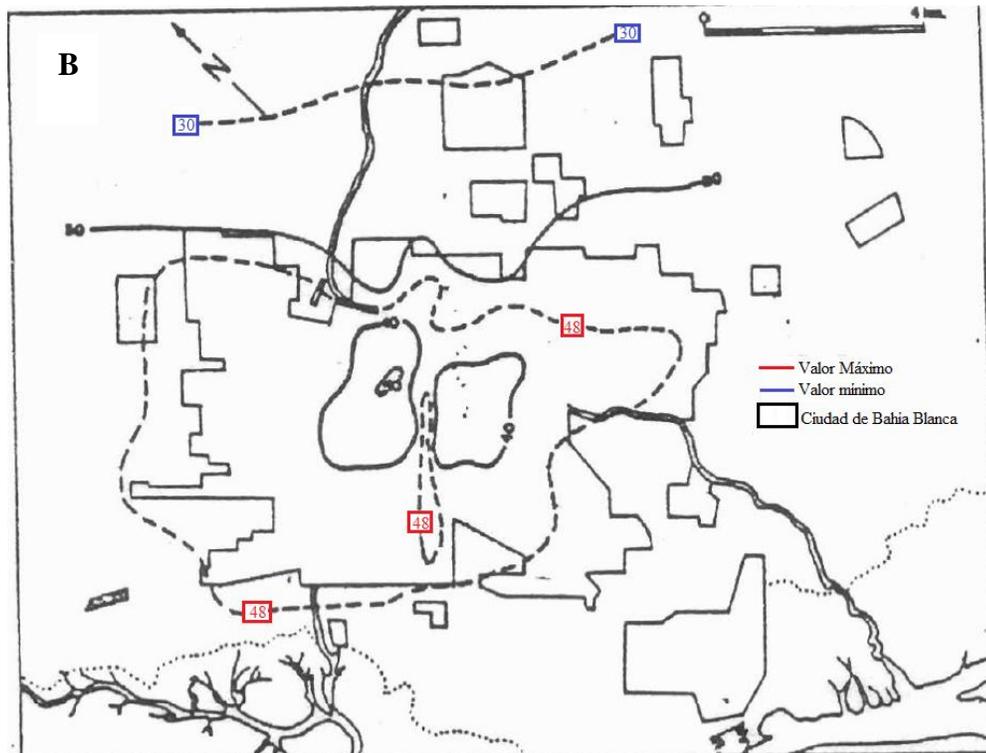
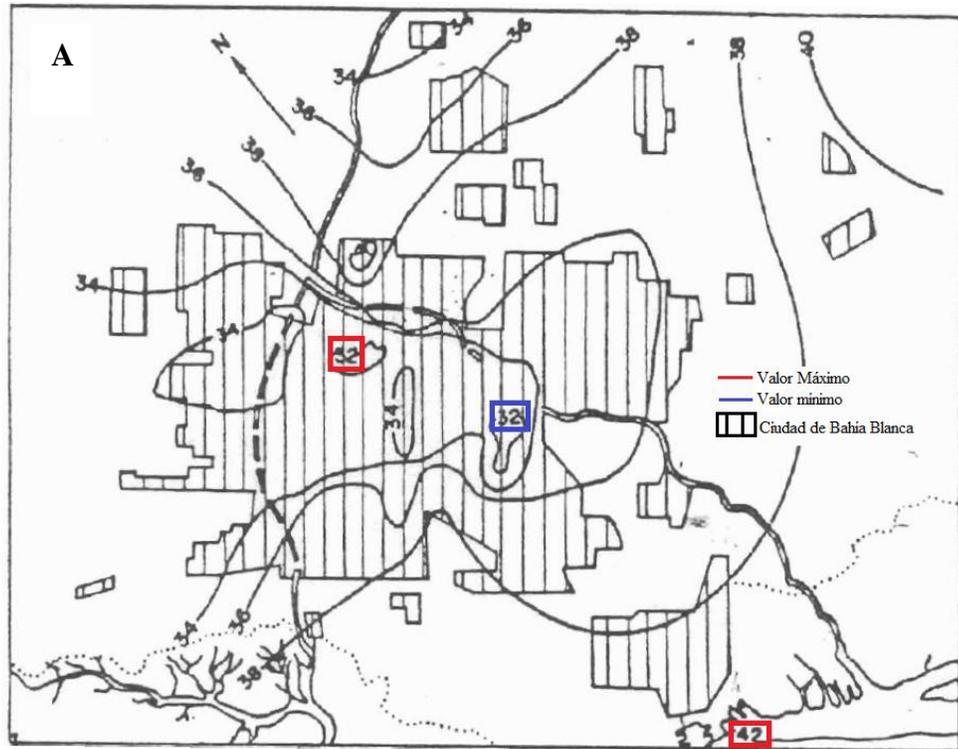
**Figura 3.9.** Distribución diurna (A) y nocturna (B) de la temperatura el 20 de febrero de 1985. Modificado de Piccolo y Capelli de Steffens (1985).



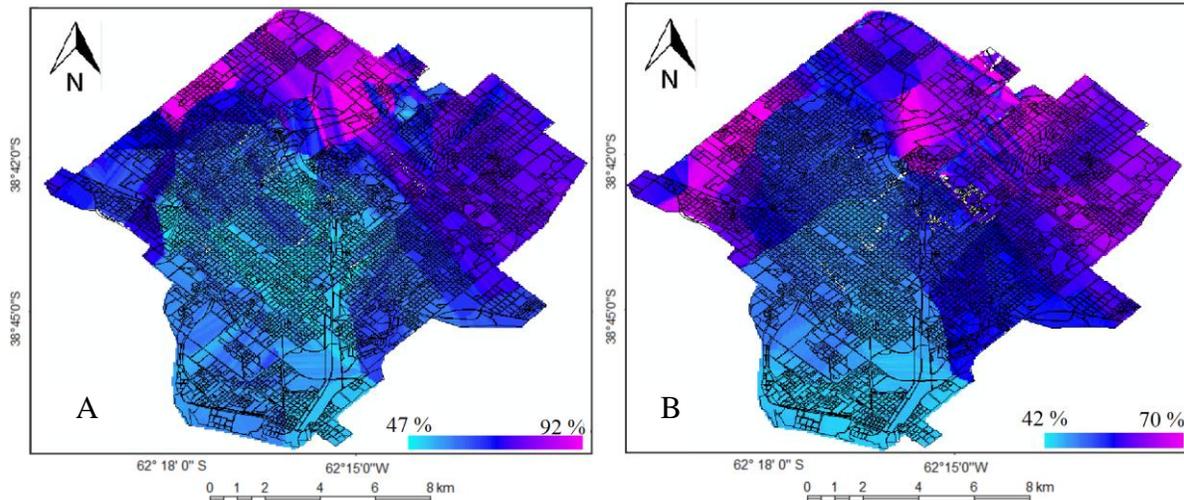
**Figura 3.10.** Distribución espacial de la temperatura del aire en el verano de 2014. **A.** Diurna, **B.** Nocturna. Fuente: Ferrelli *et al.* (2016b).

	1985			2014			1985 y 2014
	Máximo (° C)	Mínimo (° C)	ICU (° C)	Máximo (° C)	Mínimo (° C)	ICU (° C)	Diferencia de ICU (° C)
<b>Verano</b>							
ICU diurna	37	33	4	36,6	30,3	6,3	2,3
ICU nocturna	30,4	23,4	7	32,2	22,5	9,7	2,7
<b>Invierno</b>							
ICU diurna	12	11	1	21,6	16,8	4,8	3,8
ICU nocturna	10	4	6	18,5	11,7	6,8	0,8

**Tabla 3.7.** Máximos, mínimos e Intensidad de la isla de calor urbana de la ciudad de Bahía Blanca para las mediciones estivales e invernales de 1985 y 2014. Fuente: Ferrelli *et al.* (2016b).



**Figura 3.11.** Distribución diurna (A) y nocturna (B) de la humedad relativa el 20 de febrero de 1985. Modificado de Piccolo y Capelli de Steffens (1985).

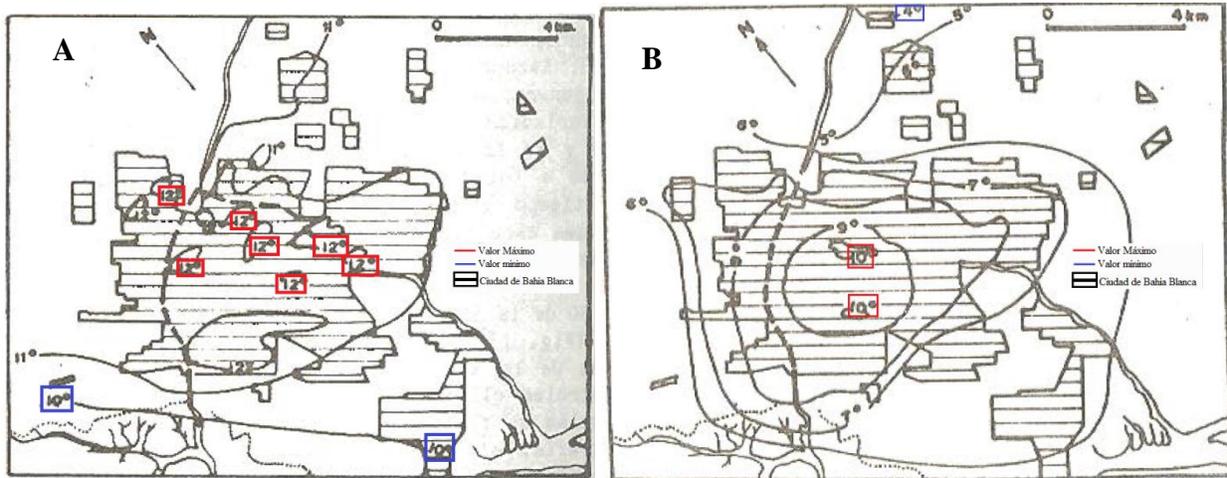


**Figura 3.12.** Distribución espacial de la humedad relativa en el invierno de 2014. **A.** Diurna, **B.** Nocturna. Fuente: Ferrelli *et al.* (2016b).

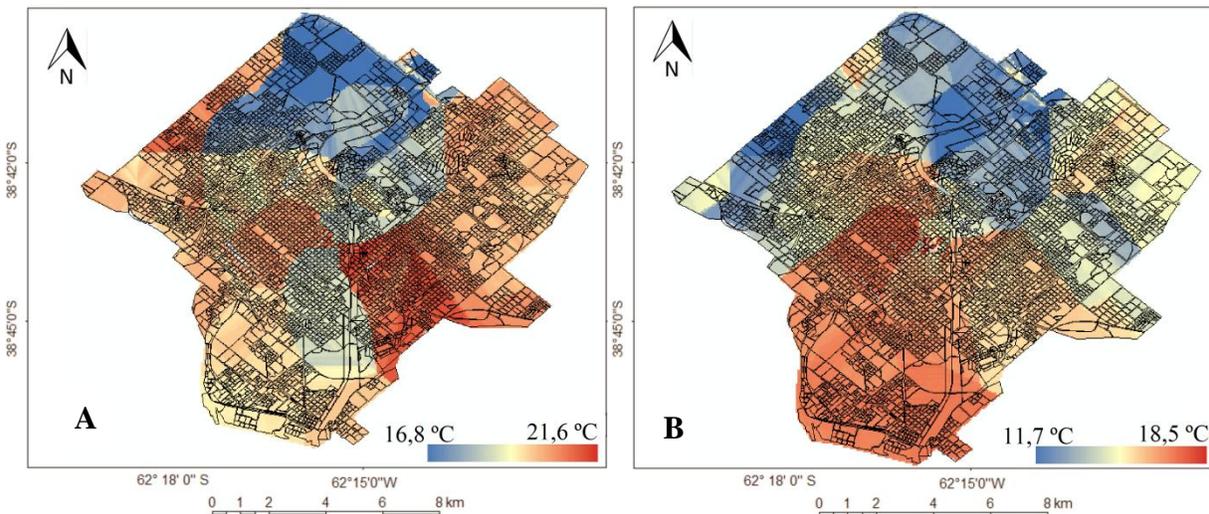
La ICU invernal presentó en 1985 diferencias espaciales de temperatura mínimas. Durante la mañana el área urbana se presentó 1 °C más caliente que su periferia. La ciudad estuvo en su totalidad dentro de la isoterma de 11 °C, con la presencia de pequeños islotes de 12 °C diseminados por el centro de la ciudad. La temperatura media de la ciudad fue 11,6 °C (Figura 3.13). En las mediciones diurnas de 2014 el área urbana presentó un valor medio de 19,3 °C. El máximo valor fue 21,6 °C, localizado en el microcentro y el menor de 16,8 °C en la periferia (Figura 3.14). La ICU fue de 4,8 °C, es decir, 3,8 °C mayor que en 1985.

Durante la noche, las diferencias térmicas fueron mayores. En 1985, la mayor parte de la ciudad se encontró bajo la isoterma de 9 °C. Dentro de ella, se observaron dos máximos de 10 °C localizados en el microcentro y en el sudoeste. El valor mínimo se presentó en la periferia con 4 °C. En este horario la ICU fue 6 °C, su magnitud fue comparable con la máxima encontrada para el verano del mismo año (7 °C) (Figura 3.13). En 2014, durante la noche, la temperatura media de la ciudad fue 15,4 °C, el máximo valor registrado fue 18,5 °C, en la zona portuaria se presentó el menor valor (11,7 °C), registrando una intensidad de ICU de 6,8 °C, es decir, 0,8 °C mayor que en 1985 (Figura 3.14 y Tabla 3.7).

En la estación estival, durante el día, los edificios absorben la radiación y la presencia de islas térmicas se deben fundamentalmente al calor antrópico. Durante la noche, la ICU es más intensa porque los edificios emiten y transfieren la energía absorbida durante el día, haciendo que la ciudad se presente más cálida que su periferia (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). La energía emitida por los edificios ocasiona una fuente artificial de calor que da como resultado la formación de islas de calor (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Por este motivo la ICU nocturna presentó amplitudes más marcadas que la diurna.



**Figura 3.13.** Distribución diurna (A) y nocturna (B) de la temperatura el 20 de agosto de 1985. Modificado de Piccolo y Capelli de Steffens, 1987.



**Figura 3.14.** Distribución espacial de la temperatura del aire en el invierno de 2014. **A.** Diurna, **B.** Nocturna. Fuente: Ferrelli *et al.* (2016b).

#### **4. Conclusiones**

La construcción de un instrumental destinado al estudio de la isla de calor urbana, basado en una electrónica y software de código abierto permitió estudiar la distribución urbana de la temperatura y la humedad relativa recorriendo las grandes distancias que actualmente caracterizan la ciudad. Este permite un monitoreo de alta resolución espacial y temporal. Asimismo, posibilita una mayor variabilidad de información, el aumento de la cobertura espacial y la disminución de tiempos de operación, en comparación a métodos tradicionales. Por medio de la utilización de este instrumento se logra una reducción de costos de adquisición, dada la simpleza de construcción, como el bajo requerimiento en su operación. Los Sistemas de Información Geográfica permitieron una representación más detallada de los datos. Los mapas de 1985 no pudieron incorporarse a la base de datos de los SIG debido a que no presentaron referencias espaciales, por lo que se modificaron los documentos originales.

El aumento del área urbana de la ciudad de Bahía Blanca (analizado en el capítulo 4) modificó la distribución de la temperatura y la humedad relativa. En el verano de 1985, el centro de la ciudad fue más cálido que las zonas periféricas. La zona más comfortable fue la costera y las diferencias de temperatura dentro de la ciudad no superaron los 5 °C durante las mediciones diurnas. En 2014 las diferencias en la distribución térmica fueron más marcadas. En el centro de la ciudad se presentaron las temperaturas más altas y las zonas más confortables fueron las periféricas y los parques. Evidentemente el crecimiento de las edificaciones y el incremento de la población de Bahía Blanca durante los últimos 30 años generaron cambios en la atmósfera urbana. Los mismos modificaron la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa.

## CAPÍTULO 4

### EXPANSIÓN URBANA Y CAMBIOS EN EL CLIMA LOCAL

#### 1. Introducción

Los cambios ambientales tales como el aumento de los gases de efecto invernadero, la deforestación, la desertificación o la pérdida de biodiversidad son producto del rápido aumento de la población. La mayor parte de los habitantes se asientan en ciudades. Por lo tanto, estos espacios y sus residentes son los factores claves para estudiar el cambio ambiental global (Grimmond, 2007).

Existen varios factores que actúan como condicionantes del clima urbano: el clima regional, el tiempo atmosférico, la topografía, tamaño y morfología de la ciudad, el reemplazo de un espacio natural por otro, las diferencias en las constantes físicas de los materiales urbanos, la impermeabilización de la superficie natural, la falta o escasez de superficies evaporativas, la composición del aire urbano, el crecimiento de la ciudad, etc. (Pérez González *et al.*, 2003; Rosenzweig *et al.*, 2005; Wong y Yu 2005; Chen *et al.*, 2006; Yuan y Bauer, 2007; Santana, 2007).

Por otro lado, las ciudades intervienen en el calentamiento global e impactan sobre el balance de calor debido a que son las principales emisoras de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (actividad industrial, tránsito, entre otros) (Velasco y Roth, 2010). El crecimiento de estas modifica la distribución de la Temperatura de Superficie Terrestre (TST) y resalta la importancia de incluir espacios verdes. El aumento de áreas arboladas reduce el impacto ambiental que genera el proceso de urbanización regulando la temperatura, conservando energía, agua y mejorando la calidad del aire (Wong y Yu, 2005; Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Por ello, la vegetación está relacionada con la TST y la temperatura del aire ya que cuando se modifica la cobertura vegetal hay una reducción de la mitigación del calor solar (Dimoudi y Nikolopoulou, 2003; Oltra-Carrió *et al.*, 2010; Bustos *et al.*, 2016b). El Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) se toma como un indicador de la variación y el cambio que la TST presenta durante un período de tiempo (Goetz *et al.*, 2000).

La expansión urbana produce cambios en la temperatura del aire que pueden afectar el confort de los residentes (Deosthali, 1999; Bustos y Piccolo, 2011). Esto genera la necesidad de disponer

de información social para conocer el impacto de la variabilidad climática sobre la población y su espacio. Los estudios actuales se enfocan en analizar la actitud de las personas frente a la variabilidad climática y sus estrategias de adaptación ya que son fundamentales para el desarrollo de políticas públicas. La percepción climática y el estudio social del cambio climático se ha desarrollado ampliamente en los últimos años (Owoeye y Ogunleye, 2015; Gharagozlo, 2015). De esta manera se pueden citar quienes proponen métodos descriptivos (Malone y Reyner, 2001; Pardo, 2007), quienes estudian la resiliencia social (Dietz *et al.*, 2003), las formas de organizarse (Berkhout *et al.*, 2006) y el capital social (Adger, 2003). Los ciudadanos son los actores sociales que intervienen sobre el espacio generando modificaciones para adaptarse a los cambios climáticos (Oltra *et al.*, 2009).

El estudio del clima urbano permite conocer las aptitudes y restricciones climáticas destinadas a favorecer las futuras expansiones urbanas. Además, es necesario comprender las problemáticas de los habitantes producto de estos cambios con el fin de orientar la toma de decisiones hacia la mejora de la calidad de vida. Por tal motivo, el objetivo de este capítulo fue analizar la evolución de la expansión urbana y sus impactos sobre la TST, la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad máxima del viento, la biomasa y la percepción de la población de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) frente a estos cambios durante el período 1986-2014.

## **2. Metodología**

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 TM, 7 ETM + y 8 OLI-TIRS correspondientes al período 1986-2014. Las mismas presentan una resolución espacial de 30 m para las bandas del visible y 120 m en las bandas del térmico del LANDSAT 5 TM y 7 ETM + y 100 m para el 8 OLI-TIRS. A la latitud en la que se ubica el área de estudio este satélite registró información a las 10:43 hora local, por lo que permitió el estudio de la isla de frescor diurna.

Estas imágenes fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina y el United States Geological Survey (USGS) de Estados Unidos. La representación de los resultados se realizó dividiendo el período de estudio (28 años) en 4 rangos de 8 años cada uno (1986-1992, 1993-1999, 2000-2006, 2007-2014).

La expansión urbana se estimó a partir de interpretación visual. Con las imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ se realizó una combinación de colores RGB (*Red-Green-Blue*) 7-4-2, mientras que con las del Landsat 8 OLI-TIRS, la misma fue RGB 7-6-4. Estos falsos colores permitieron observar el área urbana de color magenta, haciendo que los espacios construidos tengan contraste con su entorno. El estudio del crecimiento urbano se relacionó con el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI). El mismo permitió analizar los cambios en la biomasa del interior de la ciudad. Para ambos cálculos se utilizaron las imágenes correspondientes a los meses de primavera del hemisferio sur (septiembre, octubre y noviembre). Según lo expresado por Lo y Quattrochi (2003) la primavera es el momento en el que la vegetación comienza a crecer y, por ende, el período más adecuado para estudiarla con imágenes Landsat. Las que fueron seleccionadas para este apartado se presentan en la tabla 4.1. Cabe señalar que las pertenecientes al Landsat 7 ETM + fueron corregidas debido al error de escaneo aplicando la técnica de interpolación SLC-Off (Scan Line Corrector) (Pringle *et al.*, 2009).

La TST se define como la energía de onda larga que es emitida por la superficie terrestre. Los valores de este parámetro dependen de la composición de la superficie, de la humedad relativa, la rugosidad y el tamaño de los elementos (Valor y Caselles, 1996; Rivas y Caselles, 2004). En este sentido, se consideró a este parámetro como un estimador del aumento de los edificios en altura, dado que la rugosidad que generan los mismos hace que se produzcan más sombras y con ello afecten sus valores. Teniendo en cuenta lo mencionado, se analizaron las variaciones de la distribución espacial de la TST con imágenes satelitales correspondientes a días representativos de primavera, verano, otoño e invierno para 1986 y 2014. Los criterios adoptados para la selección de las fechas fueron: libre de nubosidad, presión atmosférica estable, velocidad del viento inferiores a  $10 \text{ km h}^{-1}$ , temperatura y humedad relativa similar para ambos años. Las mismas permitieron analizar la Isla de frescor superficial de la mañana y los cambios en el parámetro producto de la expansión urbana. Las imágenes seleccionadas para este estudio se presentan en la tabla 4.2 (Ferrelli *et al.*, 2017).

Satélite	Fecha	Fuente	Path-Row
L5 TM	24 de septiembre de 1986	USGS	226-087
L5 TM	27 de septiembre de 1987	USGS	226-087
L5 TM	16 de octubre de 1988	USGS	226-087
L5 TM	18 de octubre de 1989	USGS	226-087
L5 TM	21 de octubre de 1990	USGS	226-087
L5 TM	8 de octubre de 1991	CONAE	226-087
L5 TM	26 de octubre de 1992	USGS	226-087
L5 TM	11 de septiembre de 1993	USGS	226-087
L5 TM	17 de noviembre de 1994	USGS	226-087
L5 TM	8 de septiembre de 1995	USGS	226-087
L5 TM	19 de septiembre de 1996	CONAE	226-087
L5 TM	9 de noviembre de 1997	USGS	226-087
L5 TM	27 de octubre de 1998	USGS	226-087
L5 TM	28 de octubre de 1999	CONAE	226-087
L7 ETM +	3 de noviembre de 2000	CONAE	226-087
L7 ETM +	20 de noviembre de 2001	CONAE	226-087
L7 ETM +	30 de octubre de 2002	USGS	226-087
L7 ETM +	2 de noviembre de 2002	USGS	226-087
L5 TM	26 de noviembre de 2003	USGS	226-087
L5 TM	9 de septiembre de 2004	USGS	226-087
L5 TM	12 de septiembre de 2005	USGS	226-087
L5 TM	15 de septiembre de 2006	USGS	226-087
L5 TM	2 de septiembre de 2007	USGS	226-087
L5 TM	6 de octubre de 2008	USGS	226-087
L5 TM	23 de septiembre de 2009	USGS	226-087
L5 TM	12 de octubre de 2010	USGS	226-087
L5 TM	29 de octubre de 2011	USGS	226-087
L7 ETM +	10 de noviembre de 2012	USGS	226-087
L8 OLI-TIRS	20 de octubre de 2013	USGS	226-087
L7 ETM +	13 de septiembre de 2014	USGS	226-087

**Tabla 4.1.** Imágenes satelitales utilizadas para el análisis de la expansión urbana y el NDVI.

Fuente Ferrelli *et al.* (2017).

	1986 (L5 TM)	2014 (L8 OLI - TIRS)
<b>Verano</b>	27 de enero	8 de enero
<b>Invierno</b>	22 de julio	19 de julio
<b>Otoño</b>	16 de marzo	14 de abril
<b>Primavera</b>	24 de septiembre	13 de septiembre (L7 ETM+)

**Tabla 4.2.** Imágenes satelitales seleccionadas para el estudio de la variación estacional de la TST en la ciudad de Bahía Blanca durante 1986 y 2014. Ferrelli *et al.* (2017).

Se calculó la TST a partir del método Monocanal. La base teórica para los algoritmos de estimación de la TST fue la Ecuación de Transferencia Radiativa (ETR) (Jiménez-Muñoz *et al.*, 2009):

$$L_{sen} = [\varepsilon B(T_s + (1 - \varepsilon)L_d)\tau + L_u] \quad [1]$$

donde:

$L_{sen}$ : es la radiancia medida por el sensor ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ )

$\varepsilon$ : emisividad de la superficie.

B: Parámetro derivado de la Ley de Planck calculado a partir de la ecuación [2]

$T_s$ : temperatura de la superficie terrestre ( $^{\circ}K$ )

$L_d$ : radiancia atmosférica decendente ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ )

$\tau$ : transmisividad atmosférica

$L_u$ : radiancia atmosférica ascendente ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ )

Para obtener la temperatura de la superficie terrestre se calcula la inversión directa de la ETR (Jimenez-Muñoz *et al.* 2009):

$$B(T_s) = \frac{(L_{sen} - L_u - \tau(1 - \varepsilon)L_d)}{\tau\varepsilon} \quad [2]$$

Finalmente la TST se obtiene aplicando la inversa de la ley de Planck. Esta ecuación supone que la energía no se emite de forma continua. Para obtener los parámetros necesarios para resolver la ecuación [1], se comenzó con una calibración radiométrica sobre la banda del térmico. Este tipo de corrección es la que se le aplica a las imágenes para convertir los valores digitales o números digitales almacenados y llevarlos a valores de radiancia ( $L_{sat}$ ) por medio de:

$$L_{\lambda sat} = G_{\lambda}ND_{\lambda} + B_{\lambda} \quad [3]$$

donde el subíndice  $\lambda$  indica el número de la banda y  $G_\lambda$  (Gain) y  $B_\lambda$  (Biase) son los coeficientes de transformación de niveles digitales a valores de radiancia. El efecto de la emisividad radica en la modificación de la emisión térmica de superficie y en la reflexión de la emisión atmosférica. Por otra parte, el efecto atmosférico se relaciona principalmente con la absorción de los gases de la atmósfera.

Cuando se observa una superficie heterogénea desde un satélite, se puede definir la emisividad efectiva de la superficie a partir de las emisividades del suelo y la vegetación. Para ello es necesario contar con modelos físicos que contemplen y estructuren estas variables. De este modo se asume que: la superficie es heterogénea tanto en temperatura como en emisividad. El error que se alcanza es de 0,1 °C. Se supone la aceptación de un sistema lambertiano y que las diferencias entre la temperatura y las diferentes partes del sistema no son muy extensas (Valor y Caselles 1996).

Para el cálculo de la emisividad, el algoritmo utilizado fue:

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) \quad [4]$$

donde  $\varepsilon_v$  y  $\varepsilon_p$  corresponden a los valores de emisividad de la vegetación y el suelo respectivamente.  $P_v$  es la proporción de vegetación y se calcula en base a la función de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Para estimar el NDVI fue necesaria la aplicación de correcciones en el espectro solar (en las bandas del visible) dado que este cálculo requiere de la utilización de las bandas 3 y 4.

Los valores calculados con la ecuación [3] para la banda 1, 2, 3 y 4 representan los de radiancia. Los  $L_{\lambda_{sat}}$  se convierten a valores de reflectividad al tope de la atmósfera sin considerar los efectos de la atmósfera y considerando una superficie lambertiana bajo condiciones libres de nubes (Carmona *et al.* 2011):

$$\rho_{\lambda TOA} = \frac{(\pi L_{\lambda sat})}{(E_{\lambda 0} d^{-2} \cos \theta_z)} \quad [5]$$

donde  $\pi$  representa la hipótesis de superficie Lambertiana,

$d$  es la distancia Tierra-Sol medida en unidades astronómicas (ua),

$E_{\lambda 0}$  es la irradiancia solar espectral exoatmosférica ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ ) y,

$\theta_z$  es el ángulo cenital solar.

Para las regiones del espectro electromagnético donde se encuentran las bandas 5 y 7 de los sensores Landsat 5 y 7, la atmósfera no introduce efectos significativos por lo que puede

estimarse la reflectividad a partir de la ecuación [3] (Carmona *et al.* 2011). Para las bandas del visible e infrarrojo cercano (bandas 1-4), los efectos atmosféricos de dispersión no pueden despreciarse y por ello se estima la reflectividad considerando una superficie uniforme Lambertiana y con condiciones libres de nubes teniendo en cuenta la siguiente ecuación (Schroeder *et al.* 2006):

$$\rho_{\lambda s} = \frac{[\pi(L_{\lambda sat} - L_{\lambda p})]}{(T_{\lambda v}(E_{\lambda 0}d^{-2}\cos\theta_z T_{\lambda z} + E_{down}))} \quad [6]$$

donde  $L_{\lambda p}$  ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ) es la radiancia registrada como resultado de la interacción entre la radiación electromagnética y los componentes atmosféricos,

$T_{\lambda v}$  es la trasmisividad atmosférica desde la superficie hacia el sensor,

$T_{\lambda z}$  es la trasmisividad atmosférica en la dirección de la iluminación solar y,

$E_{down}$  es la irradiancia difusa del cielo hacia abajo ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ ).

Para calcular los parámetros ( $L_{\lambda p}$ ,  $T_{\lambda v}$ ,  $T_{\lambda z}$  y  $E_{down}$ ) se aplicó el método de Resta de Superficies Oscuras (Song *et al.* 2001). El mismo supone que en la imagen se encuentran ciertos píxeles con una reflectividad cercana a cero (zonas oscuras) como lo son las aguas claras o profundas, zonas altamente forestadas o regiones de sombras. En estos píxeles es posible observar los efectos de la atmósfera (Carmona *et al.* 2011).

De esta manera, es necesario sustraerle a cada  $L_{\lambda sat}$  el valor de  $L_{\lambda p}$  introducido por la atmósfera, para ello se aplica la siguiente expresión (Schroeder *et al.* 2006):

$$L_{\lambda p} = ND_{\lambda dark} G_{\lambda} + B_{\lambda} - 0.01 \frac{(E_{\lambda 0} \cos\theta_z T_{\lambda z} T_{\lambda v})}{(d^2 \pi)} \quad [7]$$

Donde  $ND_{\lambda dark}$  es el  $ND_{\lambda}$  mínimo en cada banda espectral para cada sector de interés (de al menos 1000 píxeles) seleccionado. El método supone una atmósfera Rayleigh sin aerosoles y una reflectividad en superficie del 1 % para el objeto oscuro (Carmona *et al.* 2011).

$T_{\lambda v}$  y  $T_{\lambda z}$  se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones:

$$T_{\lambda v} = \exp\left(\frac{-\tau_{\lambda s}}{\cos\theta_v}\right) \quad [8]$$

$$T_{\lambda z} = \exp\left(\frac{-\tau_{\lambda r}}{\cos\theta_z}\right) \quad [9]$$

Siendo  $\tau_{\lambda r}$  el espesor óptico para la dispersión Rayleigh obtenido por medio de la siguiente ecuación (Carmona *et al.* 2011):

$$T_{\lambda r} = \frac{0.008569}{(\lambda_m^4 (1 + 0.0113\lambda_m^2 + 0.0013\lambda_m^4))} \quad [10]$$

donde  $\lambda_m$  (en  $\mu\text{m}$ ) es la longitud de onda de cada banda. Por otro lado  $E_{\lambda_{down}}$  es considerado un parámetro nulo debido a que su contribución es insignificante (Song *et al.* 2001).

Una vez realizadas las correcciones en las bandas del visible, se calculó el NDVI a partir de la ecuación:

$$NDVI = \frac{R-IR}{R+IR} \quad [11]$$

donde R corresponde a la banda 3 (Rojo) de Landsat 5 y 7 (Rojo) e IR a la banda 4 (Infrarrojo cercano) de ambos satélites (Infrarrojo cercano).

Luego se obtiene el Pv (Proporción de vegetación) mediante la siguiente fórmula:

$$P_v = \left[ \frac{(NDVI-NDVI_{min})}{(NDVI_{max}-NDVI_{min})} \right]^2 \quad [12]$$

siendo  $NDVI_{min}$  los valores de NDVI del suelo desnudo y  $NDVI_{max}$  los valores correspondientes a una cobertura completa por vegetación (Carslon y Ripley 1997). Estos valores se calcularon a partir de la función *2D ScatterPlot* del Software ENVI 4.5.

Obtenidos cada uno de los parámetros precedentes se utilizaron los datos de radiosondeo vía online (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>). Para ello, fueron necesarios datos de hora de la imagen, fecha, presión, altura, temperatura del aire y humedad relativa. Como resultado se obtuvieron  $L_u$ ,  $L_d$  y  $\tau$ , necesarios para completar la fórmula [1]. Al resultado de este cálculo, se le aplicó nuevamente la ecuación [4] y se obtuvieron los datos corregidos de TST.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) proporcionó datos meteorológicos diarios para el análisis de los parámetros de temperatura del aire y humedad relativa del período 1984-2014. Los datos de la velocidad máxima del viento se analizaron para el período 1984-2009. Se utilizaron técnicas estadísticas estándar. Con los mismos se estimaron las anomalías anuales y se calculó la tendencia de los parámetros para el período de estudio (Cap. 2).

Finalmente y con el objetivo de analizar la percepción del habitante de diferentes vecindarios de la ciudad y su relación con el análisis climático realizado, se efectuaron 177 cuestionarios analíticos. El mismo incluyó preguntas cerradas y abiertas (anexo 3.1). Se aplicaron en áreas distribuidas en toda la ciudad seleccionadas al azar utilizando la técnica de muestreo aleatorio simple. Este permitió conocer la percepción de la población sobre el estado ambiental actual de la ciudad y sobre los efectos de la variabilidad climática. Estuvieron comprendidos por 17 preguntas abiertas y cerradas. Se indagó en el por qué de las respuestas

para obtener datos sobre percepción de los habitantes. En general los cuestionados fueron personas adultas, residentes transitorios o habitantes. En total fueron dirigidos a 101 mujeres y 76 hombres.

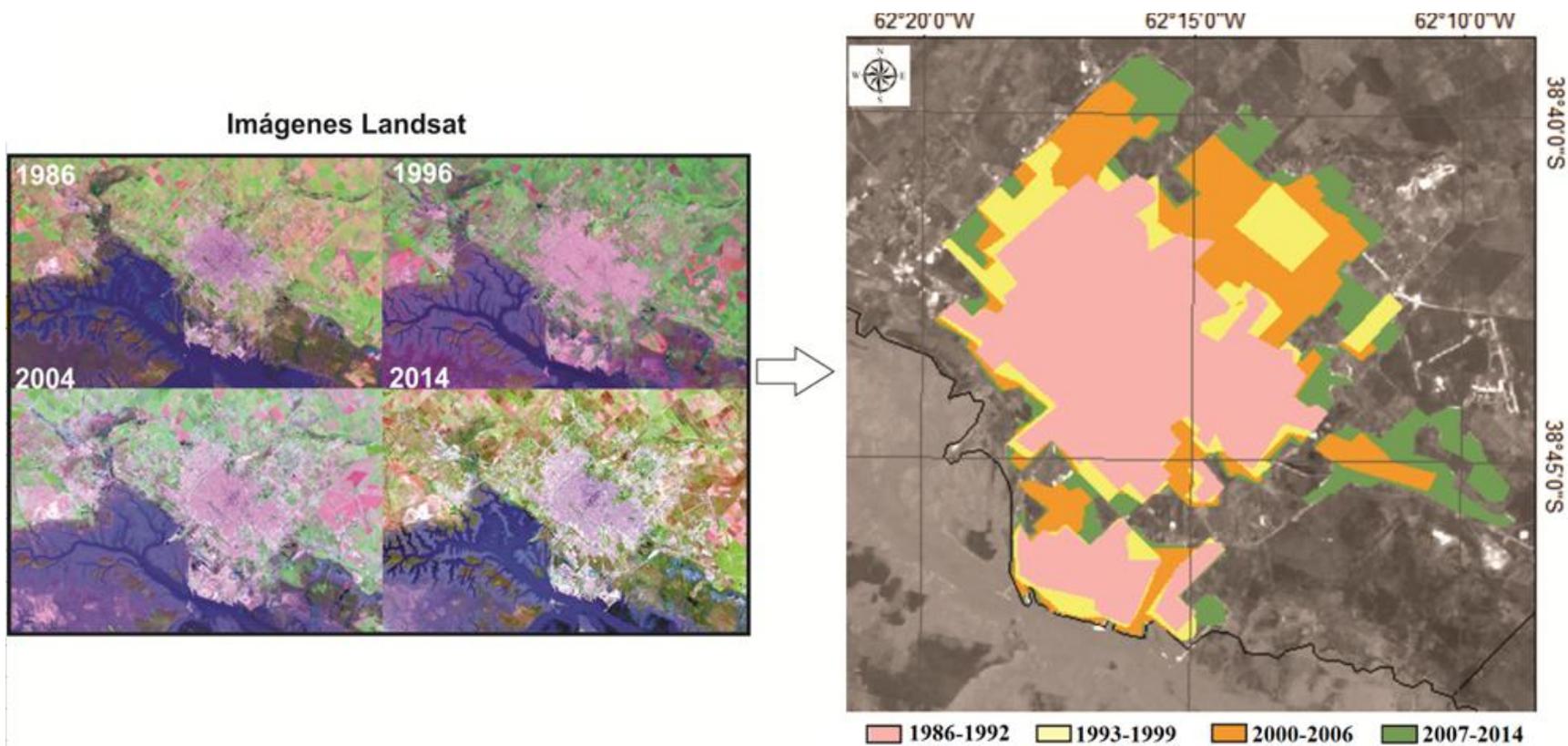
### **3. Resultados**

#### **3.1. Expansión urbana y su relación con el NDVI y los parámetros meteorológicos**

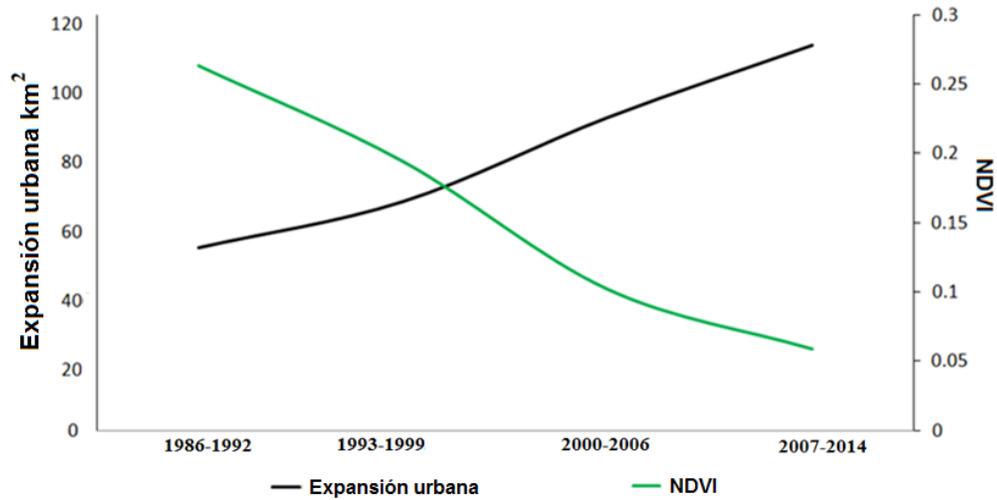
El crecimiento del área urbana de la ciudad fue constante durante el período analizado. En 1986, la ciudad tenía una extensión de 52,8 km<sup>2</sup>. En 1993-1999, se observó una expansión del área construida con respecto a 1986-1992. La ciudad se extendió hacia el noreste y este. En 2000-2006, se identificó una mayor expansión del área urbanizada hacia el norte, noreste y sudeste. Finalmente, en 2007-2014 se edificó en sentido sudeste, norte y noreste (Figura 4.1). Entre los períodos 1986-1992 y 1993-1999 el área urbana creció un 36,6 %, siendo el mayor incremento de todo el período. El menor se registró entre 2000-2006 y 2007-2014 con un 23 %. El año 2014 registró 111,1 km<sup>2</sup> (un incremento del 110 %), por lo que el aumento medio anual fue 2 km<sup>2</sup>.

El NDVI permitió analizar la disponibilidad y el estado de la biomasa en el interior de la ciudad. Los valores del índice fueron menores en la zona urbana que en su periferia. Esto podría relacionarse con el aumento de las sombras, con las propiedades físicas de los materiales de las construcciones, con el volumen del área construida y con la reducción de la cobertura natural y el arbolado urbano (Figura 4.2).

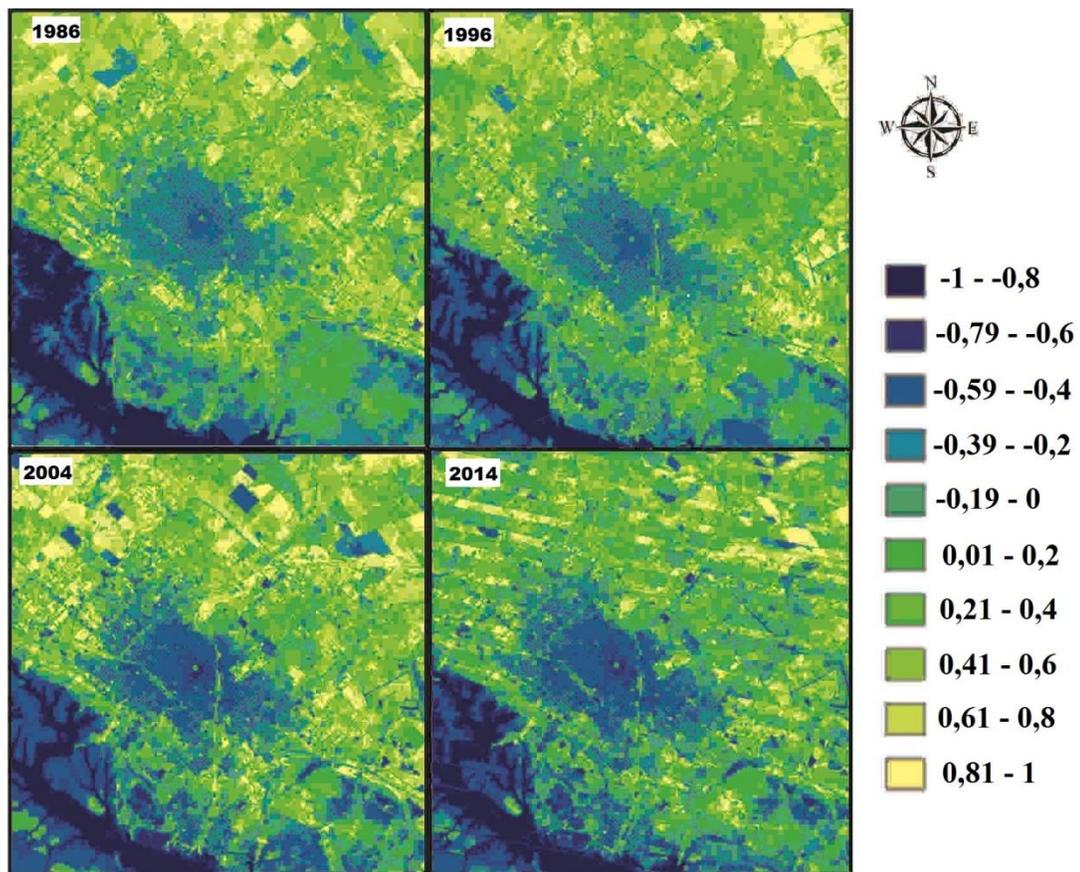
El NDVI decreció en sentido norte y sudeste, coincidente con el aumento del espacio construido. Durante los dos primeros períodos analizados (1986-1992 y 1993-1999) el comportamiento del índice fue homogéneo y presentó valores positivos. A partir de 2004 y hasta 2014 este índice presentó valores negativos en el centro de la ciudad (Figura 4.3). Tal como afirman Luber y McGeehin (2008), el cambio de las coberturas vegetales a suelos pavimentados provoca una modificación en la capacidad de almacenamiento térmico, de la que resulta una alteración que puede ser significativa para el área urbana en relación a su entorno. La ausencia de vegetación altera la distribución espacial de la humedad relativa y la energía que se desprende de los edificios durante la noche ocasionan una fuente artificial de calor que da lugar a la formación de islas de calor (Capelli de Steffens *et al.*, 2005).



**Figura 4.1.** Expansión urbana de la ciudad de Bahía Blanca durante el período 1986-2014. Fuente: modificado de Ferrelli *et al.* (2017).



**Figura 4.2.** Evolución de la zona construida y del valor medio del NDVI en la ciudad de Bahía Blanca para el período 1986-2014. Fuente: modificado de Ferrelli *et al.* (2017).



**Figura 4.3.** Distribución espacial del NDVI en distintos años para la ciudad de Bahía Blanca.

Fuente: Ferrelli *et al.* (2017).

Las anomalías de temperatura urbana analizadas en el capítulo 2, permitieron comprobar un aumento de 0,9 °C. Esta modificación se relaciona también con la reducción de la biomasa en el interior de la ciudad. Las zonas verdes urbanas 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 y Nikolopoulou, 2003). La humedad relativa fue 6 % inferior en 2014 en relación con la media anual de 1986.

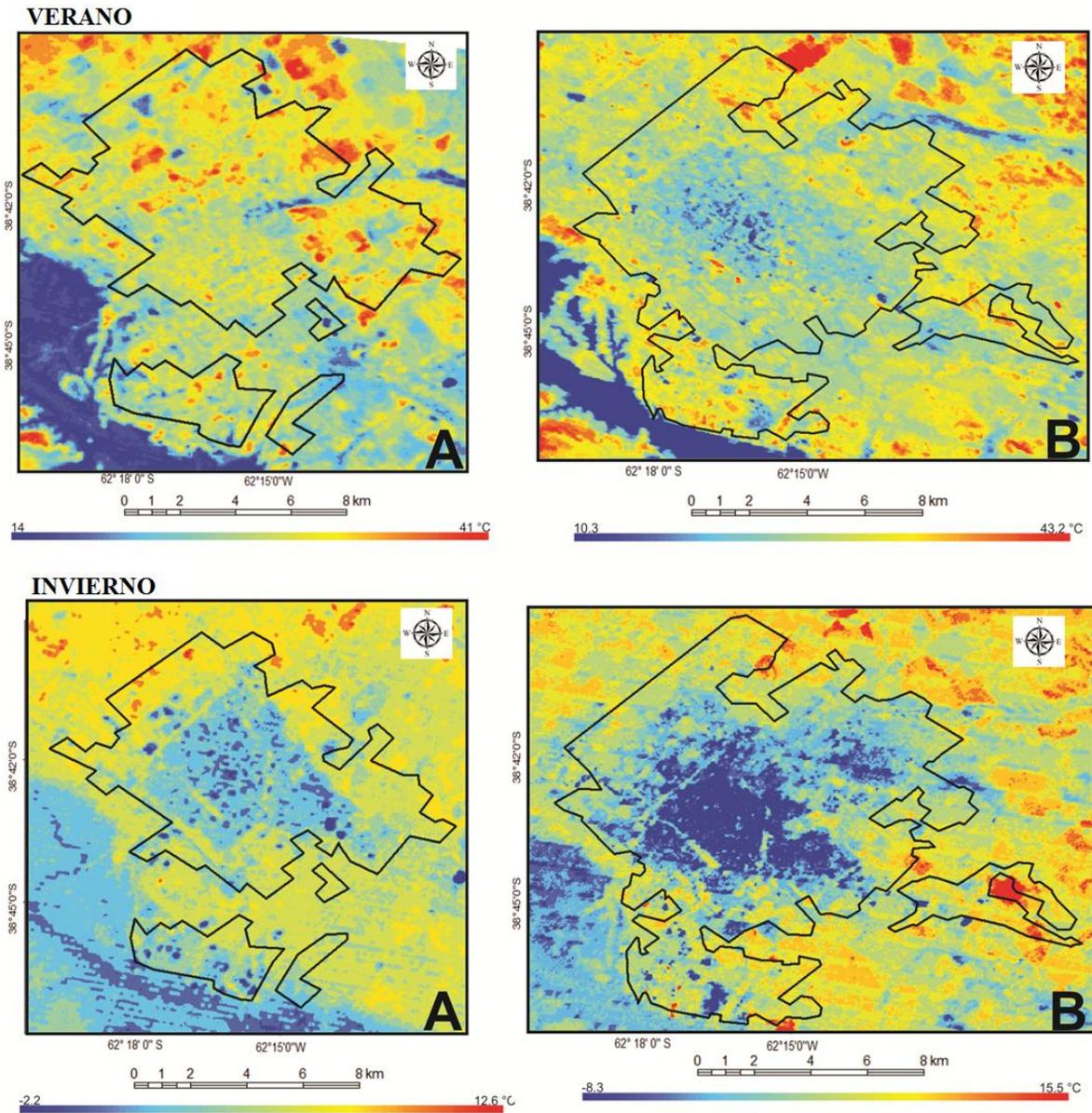
Por otro lado, como se mencionó anteriormente, la disminución media de la velocidad máxima del viento fue 7,5 km h<sup>-1</sup>. La dirección y velocidad del viento en la ciudad de Bahía Blanca se modificó por el crecimiento de los edificios. La forma y orientación de ellos originan vórtices y torbellinos en ciertos sectores de la ciudad (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Estos cambios en los parámetros meteorológicos estarían relacionados con el aumento del tránsito y la sustitución de suelo natural por edificaciones que modifican el albedo urbano e impactan sobre el clima de la ciudad (Sepulveda Moreno, 2006).

### **3.2. Impactos del crecimiento urbano sobre la TST**

Las mayores variaciones primaverales de la TST se observaron en los meses en los que el ángulo de elevación solar fue mayor (fines de octubre y noviembre) ya que de esta depende el tamaño de las sombras generadas. En el año 2001, por ejemplo, el día 20 de noviembre registró una amplitud térmica de 24,4 °C y la elevación solar fue la mayor, con 54,6 °.

El valor medio de las amplitudes térmicas fue 14,6 °C. El mismo sólo fue superado en 10 de las fechas analizadas. El mínimo valor fue 5,8 °C en 1986 y el mayor fue 23,5 °C en 2000. A la hora del paso del satélite por la ciudad de Bahía Blanca se encontró que las áreas rurales fueron más cálidas que las urbanas, es decir que la periferia presentó mayores temperaturas que el centro de la ciudad. Esto se debe a que por la mañana la estructura de las calles y de los edificios provocaron que el centro de la urbe se mantenga a la sombra mientras que los alrededores de la ciudad ya están siendo calentados por el sol (Valor *et al.*, 2000). El diferente trazado y morfología de ambos espacios tiene un rol fundamental. Es importante destacar que el comportamiento de la TST está influenciado por las condiciones micro-climáticas relacionadas con la estructura urbana, el uso del suelo, la morfología y su orientación (López Gómez *et al.*, 1990). Las áreas sin vegetación presentaron valores altos de la TST como la de superficies iluminadas por el sol (suelo desnudo o pavimentado, Weng *et al.*, 2004).

A pesar de que la tendencia de la TST fue siempre la misma, con un centro frío y la periferia más cálida, sus variaciones dependieron de la densidad de las edificaciones. Entre 1986 y 2014 se acentuaron las diferencias de la TST entre las áreas construidas y la periferia (Figura 4.4). Las zonas más edificadas presentaron temperaturas más bajas respecto de las zonas periféricas donde la temperatura fue más alta y homogénea. En general, entre los años mencionados, se presentó una tendencia decreciente de 0,6 °C. Lo mismo ocurrió con los valores mínimos (-2 °C). Sin embargo, los valores máximos se incrementaron 2,7 °C en todo el período.



**Figura 4.4.** Distribución espacial de la TST en invierno y verano para los años A) 1986 y B) 2014. Fuente: Ferrelli *et al.* (2017).

La distribución estacional de la TST entre los años 1986 y 2014 fue diferente. En el verano de 1986 el centro de la ciudad y la periferia manifestaron valores similares. En el invierno, la mayor parte de la ciudad junto con la zona costera registraron los menores valores de temperatura. Las diferencias fueron más notables entre el centro de la ciudad y la periferia en todas las estaciones del año 2014. El mayor contraste fue en el invierno y los menores en verano y otoño. En el invierno, las sombras producidas por las edificaciones generaron un centro más frío que la periferia. Esto se debió a un aumento de las edificaciones en altura que presentaron más sombras generando un centro más frío. A modo de ejemplo se presenta en la Figura 4.4 la distribución espacial de invierno y verano para ambos años. Las diferencias estacionales de los valores de TST están determinadas por la latitud, el período de insolación diferente según la estación del año y a la diferencia estacional de la radiación incidente (López Gómez, *et al.*, 1990).

### **3.3. Análisis de la percepción climática de la población**

La población de la ciudad se incrementó en los últimos años (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INDEC, Argentina). En 1980 Bahía Blanca tenía 234.047 habitantes y en 2010, 301.531. El aumento registrado entre 1980 y 2010 fue de 67.484 habitantes. El mayor crecimiento inter-censal se observó entre 1980 y 1991 con 16 % (272.191 habitantes). En los dos últimos censos (2001 y 2010) el aumento fue inferior al 6 %. El incremento medio fue de 2.250 habitantes por año.

Estos ciudadanos consideraron que el estado ambiental de la ciudad es mayoritariamente Regular (58 %), en menor medida Malo y Muy Malo (31 %) y una minoría lo pensó como Bueno (11 %). En general, consideraron que la degradación ambiental se relaciona con las actividades industriales (63 %) y humanas como el aumento del tránsito vehicular (15 %), basurales a cielo abierto (8 %), actividades portuarias (3 %), expansión urbana (3 %), etc. (Tabla 4.3).

En lo referente a los espacios verdes y a la biomasa de la ciudad, los ciudadanos consideraron que los espacios verdes son de gran importancia para la ciudad (98 %), mientras que un 2 % los consideró como espacios de rechazo. Las principales razones positivas que le atribuyeron a los espacios verdes fueron que purifican el aire (43 %) y que favorecen a las actividades recreativas (31 %). En algunos casos, mencionaron que permiten la infiltración en el suelo durante lluvias,

generan sombras, mejoran la confortabilidad, regulan la temperatura del aire y mejoran la calidad ambiental (Tabla 4.3).

<b>VARIABLES</b>			
<b>1. Género</b>			
Masculino	78	46%	
Femenino	92	54%	
<b>2. Estado ambiental</b>			
Regular		58%	
Malo		20%	
Muy Malo		11%	
Bueno		11%	
<b>3. Causas de la degradación ambiental</b>			
Actividades industriales		63%	
Aumento del tránsito		15%	
Basurales a cielo abierto		8%	
Actividades portuarias		3%	
Expansión urbana		3%	
Contaminación Sonora		2%	
Poda de árboles		1%	
<b>4. Aumento del tránsito vehicular</b>			
Si		72%	
No		28%	
<b>5. Aumento del consumo energético por cambios climáticos</b>			
Si		75%	
No		25%	
<b>6. Cambios en la temperatura urbana</b>			
Si	78%	Aumento significativo	62%
		Aumento moderado	33%
		Aumento leve	4%
		disminución	1%
No	22%		
<b>7. Aumento de los eventos extremos</b>			
Precipitaciones		38%	
Olas de calor		35%	
Aumento del viento		13%	
Olas de frío		10%	
Sequías e inundaciones		3%	
tormentas eléctricas y granizos		1%	

**Tabla 4.3.** Variables consideradas para el análisis de la percepción climática de Bahía Blanca.

Fuente: Ferrelli *et al.* (2017).

El 71,8 % de los encuestados consideró que el tránsito vehicular aumentó en la ciudad de Bahía Blanca, ocasionando con ello un impacto negativo sobre el ambiente, remarcando el aumento de la contaminación del aire y sonora. Se registró también que el 75 % percibió un aumento en el consumo energético como consecuencia de los cambios climáticos principalmente por el aumento del uso de artefactos de aire acondicionado y de calefacción durante los veranos e inviernos, respectivamente (Tabla 4.3).

Por otro lado, los habitantes percibieron (78 %) cambios en la temperatura del aire en los últimos años como consecuencia de la expansión urbana. Estos cambios los relacionaron a un aumento importante de la temperatura del aire (62 %), seguido por quienes los consideraron como un aumento moderado. Finalmente, se encontró que el 85 % consideró que los eventos extremos aumentaron en la ciudad. Los mismos están constituidos por un aumento en las precipitaciones, seguido de un mayor número de olas de calor en los veranos y olas de frío en los inviernos, en menor medida un incremento del viento, de los períodos de sequía e inundaciones y finalmente percibieron un aumento de las tormentas eléctricas de granizo (Tabla 4.3).

En cuanto a las medidas de adaptación o acciones a llevar a cabo para mitigar los efectos, los encuestados propusieron un aumento de los espacios verdes (90,2 %) para reducir los efectos de la contaminación del aire, sonora y mejorar la confortabilidad climática. Además, consideraron que la calidad ambiental aumentaría con un mejor manejo de los desagües (con el fin de evitar el anegamiento de las calles) y con un aumento del arbolado urbano (para mitigar las temperaturas extremas). Por otro lado, consideraron que el arbolado urbano y el de las plazas y parques de la ciudad se encuentra, en general, en mal estado por lo que requieren de mayor mantenimiento e inversión (Tabla 4.3).

#### **4. Conclusiones**

El crecimiento urbano de Bahía Blanca fue del 110 % durante los 28 años analizados. El mismo impactó sobre los parámetros de TST, NDVI, temperatura del aire, humedad relativa y velocidades máximas del viento. Asociado al aumento de las sombras generadas por los edificios se generó una reducción de los valores medios de TST (-0,6 °C). A su vez, los valores de NDVI también disminuyeron (0,32). La temperatura media del aire se incrementó a lo largo del período

de estudio. La velocidad máxima del viento disminuyó como consecuencia del aumento de la edificación.

Con una superficie de 52 km<sup>2</sup> aproximadamente, en el verano de 1985, el centro de la ciudad fue más cálido que las zonas periféricas. La zona más confortable fue la costera y las diferencias de temperatura dentro de la ciudad no superaron los 5 °C durante las mediciones diurnas. En 2014, con más de 110 km<sup>2</sup> de zona construida, las diferencias en la distribución térmica fueron más marcadas. Las temperaturas de 2014 y 1985 variaron en relación con la densidad de edificaciones y la expansión del área construida. Es decir, en el centro de la ciudad se presentaron las temperaturas más altas y las zonas más confortables fueron las periféricas y los parques. Por otro lado, las mediciones de invierno no registraron diferencias considerables entre sí. Las temperaturas de 2014 fueron más elevadas que las de 1985.

El estudio de los ambientes urbanos puede ser analizado a través de imágenes satelitales. La intervención del hombre sobre el medio da origen a distintas coberturas urbanas que manifiestan patrones térmicos diferentes que pueden afectar a la calidad ambiental y a las condiciones atmosféricas locales. La relevancia de los datos adquiridos fueron útiles para comprender las variaciones térmicas de la ciudad de Bahía Blanca y para inferir los efectos que causa el aumento de la densidad de los edificios sobre ella: las ráfagas de viento, disminución de la cobertura vegetal, disminución de las temperaturas en el centro y cambios de la superficie natural por construcciones.

El análisis de la percepción del clima permitió estudiar y comprender los problemas que los cambios en el espacio urbano generaron sobre los habitantes. El estudio social del cambio climático es, en este sentido, una herramienta fundamental para complementar los estudios climáticos dado que permite incorporar la opinión de los actores sociales, sus intereses, etc. Se pudo observar que la percepción de la población mantuvo una relación directa con el análisis realizado. Los mismos consideraron que los espacios verdes son escasos y reclaman un aumento de los mismos con el fin de mejorar la calidad ambiental. El aumento de la temperatura fue percibido por el 99 % de los encuestados en diferentes intensidades. La relación no fue igual con la velocidad del viento. A pesar de que en Bahía Blanca se registró una disminución de la velocidad de las ráfagas, el 13 % de la población encuestada percibió un aumento en este parámetro.

Por lo mencionado, se concluye que el crecimiento de las edificaciones y el incremento de la población de Bahía Blanca durante los últimos 28 años generaron cambios en la atmósfera urbana. Los mismos modificaron la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa, el viento, la biomasa y ello fue percibido por la población.

## CAPITULO 5

# RELACIÓN DE LAS COBERTURAS DEL SUELO CON LA DISTRIBUCIÓN TÉRMICA

### 1. Introducción

Las actividades del hombre sobre el medio se manifiestan de manera consciente sobre el espacio, definiendo la morfología de la ciudad y con ello modificando el paisaje urbano, el clima local, la ecología de los paisajes, etc. (Oke, 1998). El clima urbano puede interpretarse como el resultado de la relación sociedad-naturaleza. La misma genera cambios en la cobertura del suelo que modifican las condiciones atmosféricas (Romero *et al.*, 2010). La expansión de las ciudades produce además modificaciones ambientales que pueden afectar la calidad de vida de sus ciudadanos (Grimm *et al.*, 2008). Una de ellas es la alteración en la absorción de la radiación solar. La misma puede ser almacenada, transformada y emitida a la atmósfera de manera diferente dependiendo de los materiales de construcción utilizados (Kusaka, 2008). Algunos de ellos tienen más inercia térmica y propician una mayor absorción de radiación de onda corta con una menor emisión de radiación de onda larga (Grimmond y 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).

La Temperatura de Superficie Terrestre (TST) se comporta de manera diferente según el tipo de cobertura urbana y la densidad de edificación (Ferrelli *et al.*, 2015b). La distribución espacial de la TST tiene un comportamiento diferente en zonas con abundante vegetación, con sombras y depende de las características socio-económicas de la población (Valor y Caselles, 1996; Rivas y Caselles, 2004; Romero *et al.*, 2010). En este contexto, las imágenes satelitales permiten obtener datos que complementan la comprensión de la dinámica ambiental de las ciudades. Además, la TST puede ser tomada como un estimador del aumento de los edificios en altura, dado que la rugosidad que generan los mismos hace que se produzcan más sombras y con ello se afecten los valores de este parámetro.

Cabe señalar que la discriminación de las coberturas del suelo para el estudio de la distribución térmica fue aplicada eficientemente en otras partes del mundo (e.j. Bello Fuentes, 1994). Asimismo, son escasas las investigaciones que interpreten los cambios térmicos que se dan en el interior de las ciudades producto de la densificación de los edificios y su interrelación con los espacios verdes. Los mismos son relevantes para entender el comportamiento térmico en relación con las coberturas del suelo urbanas (Ferrelli *et al.*, 2015b).

En este capítulo se realiza un análisis de la relación entre la TST con distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) durante el período 2008-2012, mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat 5 TM y 7 ETM+.

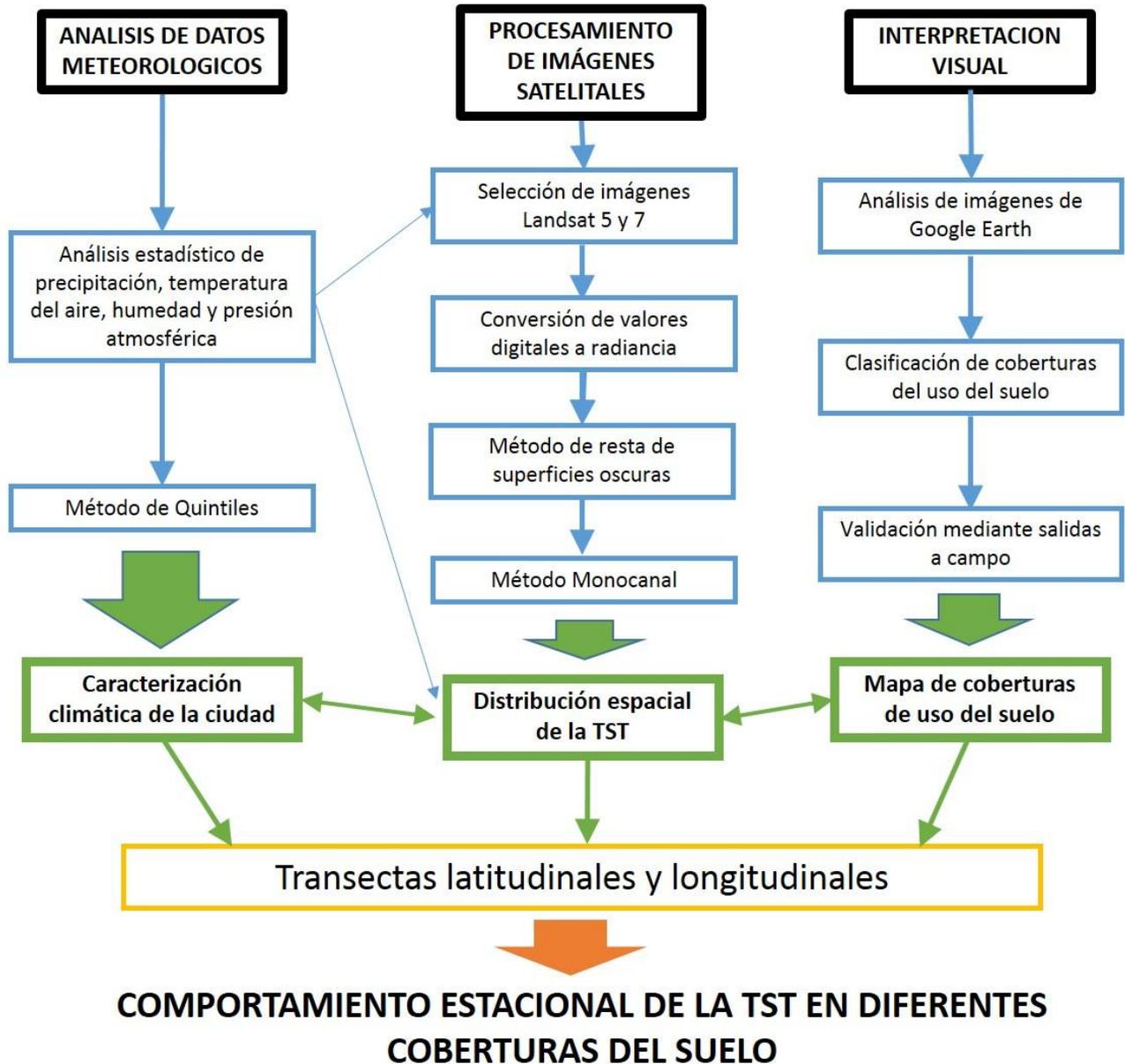
## **2. Metodología**

La metodología utilizada para obtener el comportamiento estacional de la TST en la ciudad de Bahía Blanca se basó en tres ejes fundamentales e interrelacionados entre sí: 1) análisis de datos meteorológicos; 2) procesamiento digital de imágenes satelitales (Cap. 4) y 3) interpretación visual del terreno e imágenes satelitales (Figura 5.1, Ferrelli *et al.*, 2015b). En la primera etapa se analizaron los datos meteorológicos del período 1960-2014. Los registros meteorológicos de la ciudad se obtuvieron a partir de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y el Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS, Argentina) (Cap. 2 y Cap. 3).

Se determinaron años secos, normales y húmedos a partir del método de Quintiles (Bolognesi, 1971). Se calcularon los quintiles del período de estudio y se designaron como Q1, Q2, Q3 y Q4. Posteriormente, se admitió un criterio de clasificación considerado adecuado para los totales anuales (Tabla 5.1) (Bolognesi, 1971; Ferrelli, 2010). Con la información de los períodos secos y húmedos, más el análisis de la temperatura del aire, se caracterizó el período de estudio. Ello posibilitó la interpretación de las variaciones temporales de la TST (Ferrelli *et al.*, 2015b).

Para la segunda etapa del método aplicado, considerando los datos de temperatura del aire, humedad relativa y presión atmosférica se seleccionaron imágenes satelitales Landsat 5 TM y 7 ETM+ sin presencia de nubes correspondientes a días representativos de cada estación del año

tomadas a las 10:43, hora local. Las mismas se obtuvieron del *United State Geological Survey* (USGS, Estados Unidos) para el período 2008-2012 (Tabla 5.2).



**Figura 5.1.** Esquema metodológico aplicado para estudiar el comportamiento de la TST en relación con las distintas coberturas del suelo. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015b).

Año muy seco	$P < 1Q$
Año seco	$1Q \leq P < 2Q$
Año normal	$2Q \leq P < 3Q$
Año lluvioso	$3Q \leq P < 4Q$
Año muy lluvioso	$P \geq 4Q$

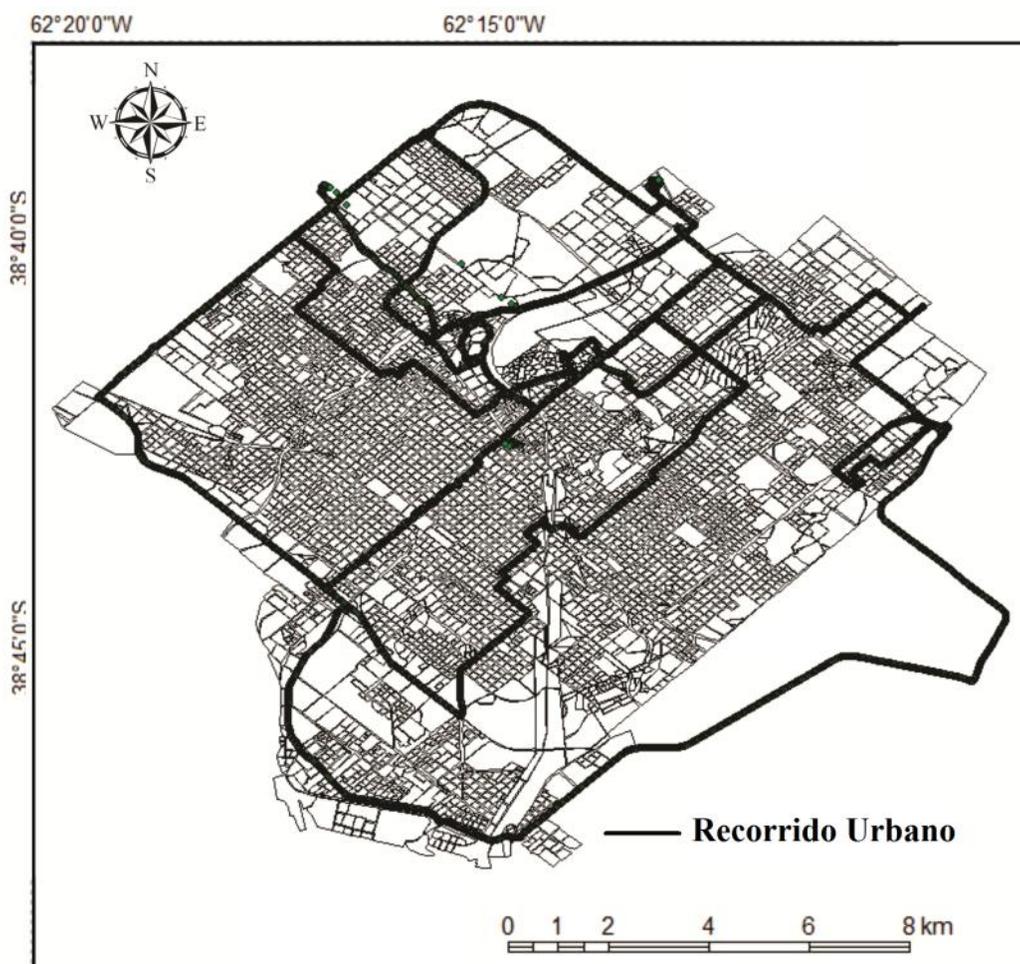
**Tabla 5.1.** Clasificación de períodos anuales en relación a las precipitaciones según el Método de Quintiles (Bolognesi, 1971). P=precipitación anual. Fuente: (Ferrelli, 2010).

Path-Row	Sensor	Fecha de adquisición
226-087	TM	25 de diciembre de 2008
226-087	ETM+	22 de abril de 2008
226-087	ETM+	25 de junio de 2008
226-087	TM	6 de octubre de 2008
226-087	TM	1 de enero de 2009
226-087	ETM+	8 de abril de 2009
226-087	ETM+	11 de junio de 2009
226-087	TM	28 de noviembre de 2009
226-087	ETM+	6 de febrero de 2010
226-087	ETM+	27 de abril de 2010
226-087	ETM+	30 de junio de 2010
226-087	TM	12 de octubre de 2010
226-087	TM	1 de febrero de 2011
226-087	TM	6 de abril de 2011
226-087	TM	17 de junio de 2011
226-087	TM	31 de octubre de 2011
226-087	ETM+	11 de enero de 2012
226-087	ETM+	31 de marzo de 2012
226-087	ETM+	21 de julio de 2012
226-087	ETM+	10 de noviembre de 2012

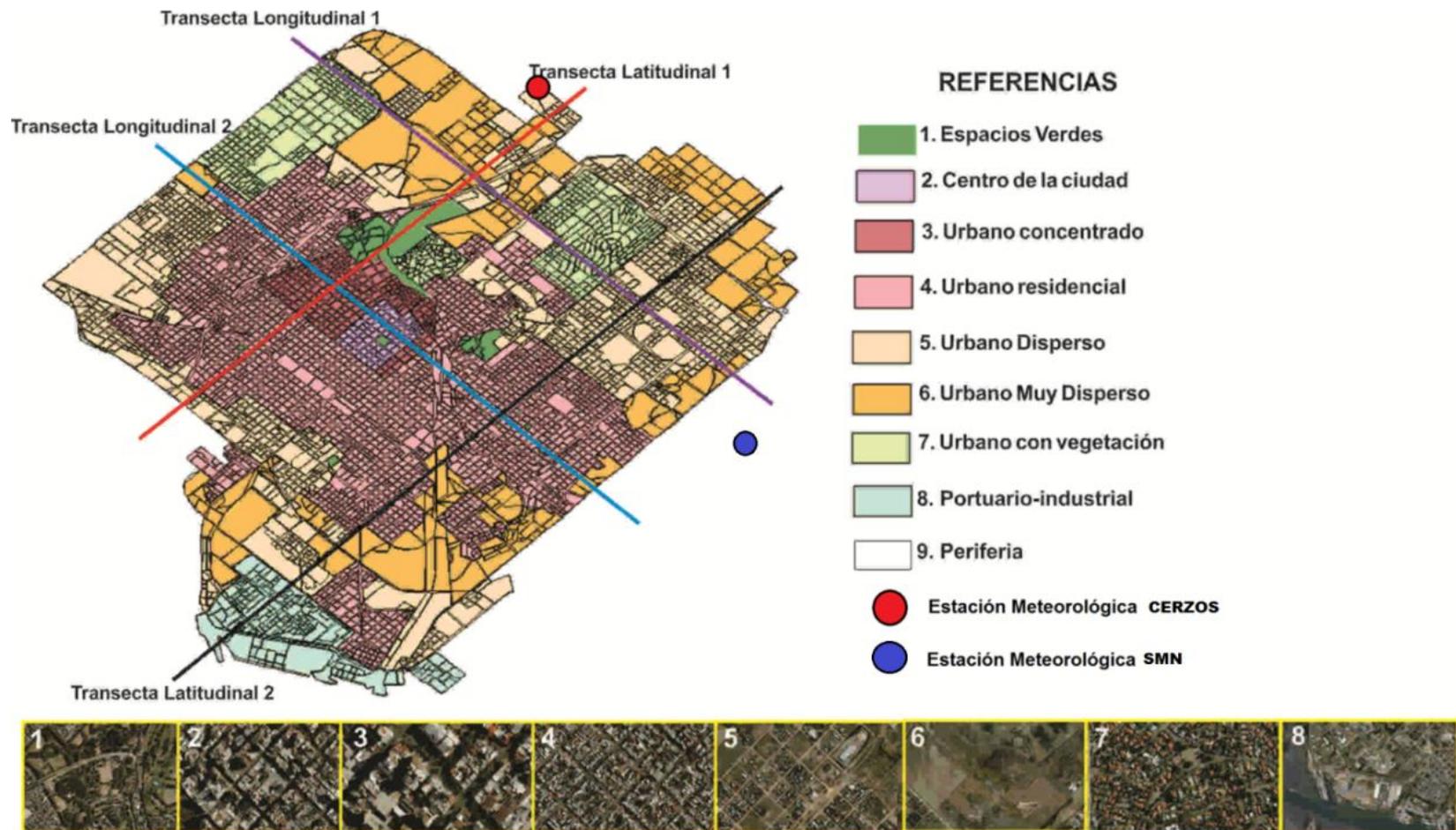
**Tabla 5.2.** Imágenes satelitales utilizadas para el estudio de la TST en la ciudad de Bahía Blanca. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015b).

En la tercera y última etapa se realizó una clasificación de las coberturas del suelo (Tabla 5.3). La misma fue el resultado de la interpretación visual de imágenes obtenidas de Google Earth (consultado el día 12 de marzo de 2012). Mediante el SIG ArcGIS 9.3 y con los datos

precedentes se elaboró un mapa de coberturas del suelo que se validó recorriendo la ciudad (Figura 5.2). Dicha validación incluyó una intervención empírica con el objetivo de trazar con mayor precisión los límites entre cada una de las coberturas. La misma consistió en una salida de campo en la que se establecieron previamente recorridos urbanos que abarcaron la mayor parte del área de la ciudad y su periferia (Ferrelli *et al.*, 2015b). Para analizar la distribución de la TST y su relación con las coberturas urbanas se trazaron 4 transectas: 2 latitudinales y 2 longitudinales (Figura 5.3 y Tabla 5.3).



**Figura 5.2.** Recorrido urbano realizado durante la salida de campo para validar las coberturas del suelo. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015b).



**Figura 5.3.** Localización de las estaciones meteorológicas, tipos de coberturas del suelo y transectas utilizadas para analizar la TST en la ciudad de Bahía Blanca. Se considera como Periferia (P) a lo que se encuentra fuera del trazado urbano. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015b).

<b>Cobertura del suelo</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>% de cobertura</b>	<b>Características</b>
<b>Espacios Verdes</b>	<b>EV</b>	<b>6</b>	Parques y plazas. Zonas con vegetación abundante.
<b>Centro de la Ciudad</b>	<b>C</b>	<b>4</b>	Centro histórico de la ciudad con muy alta densidad de edificaciones. Permanente tránsito vehicular y peatonal. Zona de comercios.
<b>UrbanoConcentrado</b>	<b>UC</b>	<b>8</b>	Zonas con alta densidad de edificios y casas. Su uso principal es el residencial.
<b>UrbanoResidencial</b>	<b>UR</b>	<b>35</b>	Áreas con edificaciones de baja altura destinadas a residencias familiares en su mayoría.
<b>Urbano con Vegetación</b>	<b>UV</b>	<b>9</b>	Barrios identificados con la denominación de “Barrios Parque”. La presencia de vegetación y parqueización de sus predios es un requisito para su establecimiento.
<b>UrbanoDisperso</b>	<b>UD</b>	<b>18</b>	Áreas con construcciones aisladas y presencia de suelos al descubierto.
<b>UrbanoMuyDisperso</b>	<b>MD</b>	<b>13</b>	Zonas con escasa o nula edificación. Predominan los terrenos baldíos.
<b>Portuario-Industrial</b>	<b>PI</b>	<b>7</b>	Sus edificaciones y tareas están vinculadas con las actividades portuarias (Puerto de Ingeniero White) e industriales.
<b>Periferia</b>	<b>P</b>	<b>-</b>	Área localizada fuera de la ciudad

**Tabla 5.3.** Características y porcentajes de las coberturas del suelo identificadas en la ciudad de Bahía Blanca. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015b).

### 3. Resultados

La temperatura media del aire de la ciudad durante el período 2008-2012 fue 15,8°C, con una oscilación entre 15,1 °C en 2009 y 16,1 °C en 2008. Los años 2008 y 2012 fueron más cálidos (1,1 y 0,6 °C mayores al valor medio, respectivamente), en cambio, el año 2009 fue más frío (-0,7 °C).

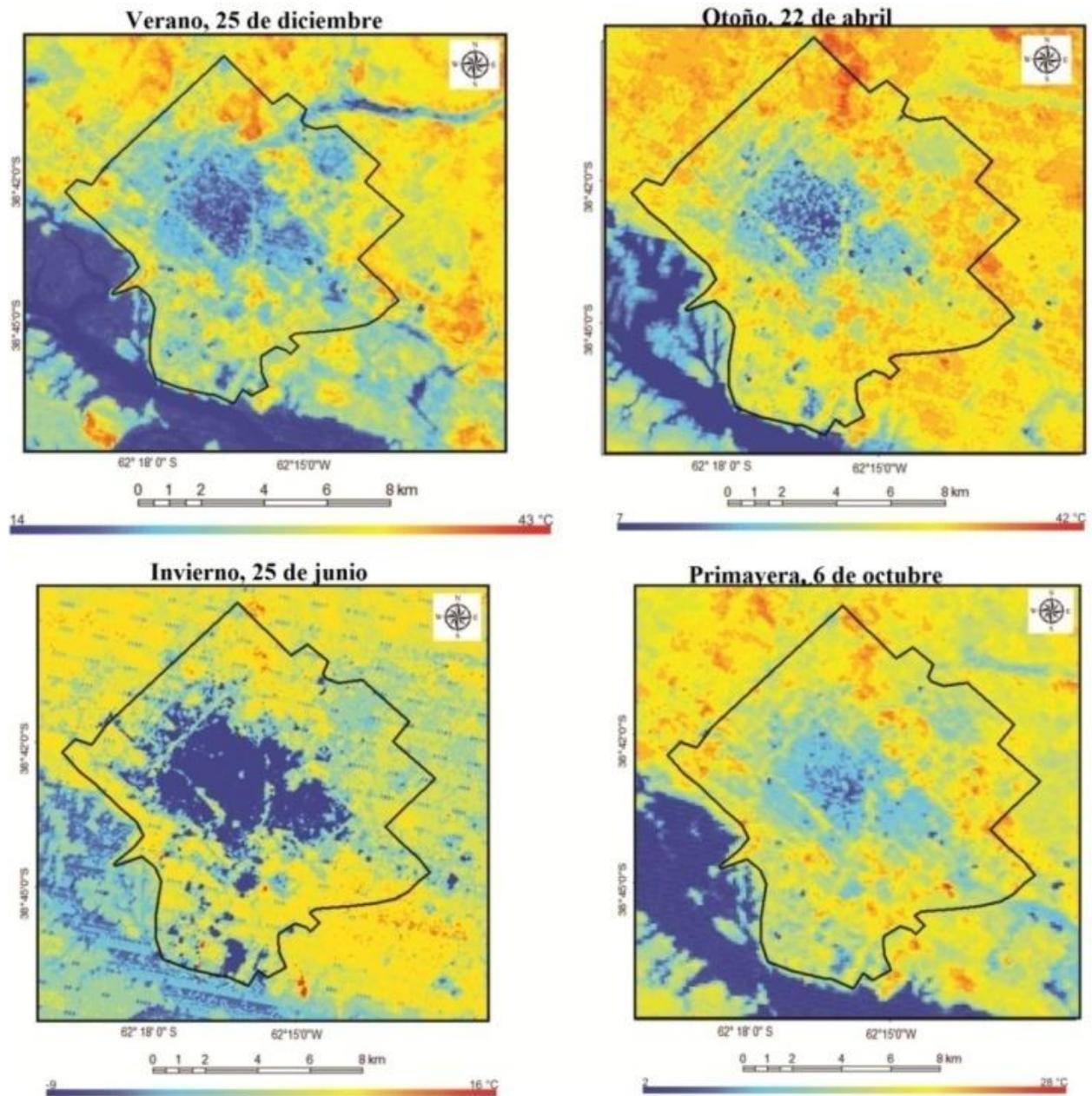
Al analizar la precipitación, se observó que el período de estudio correspondió a un período seco. Los años 2008 y 2009 fueron *muy secos*, mientras que 2010, 2011 y 2012 se identificaron como *secos*. Las condiciones de sequía experimentadas en los años mencionados provocaron una reducción en la cobertura vegetal de las zonas periféricas, barrios parques, plazas y plazoletas de la ciudad (Ferrelli *et al.*, 2015b).

La distribución espacial de la TST presentó un registro homogéneo durante todos los años analizados. El mínimo valor del período correspondió al invierno de 2010 (-10 °C), mientras que el máximo se observó en el verano de ese mismo año (46 °C) y en la primavera de 2009 y 2011 (45 °C). La temperatura del aire presentó una tendencia similar, 2010 fue el invierno más frío del período 2008-2012 con una temperatura mínima de 2,2 °C. Asimismo los mayores valores correspondieron al verano de ese año con una máxima de 32,3 °C. Por otro lado, las primaveras más cálidas fueron las de 2008 y 2011 con valores máximos de 27,4 °C y 26 °C, respectivamente.

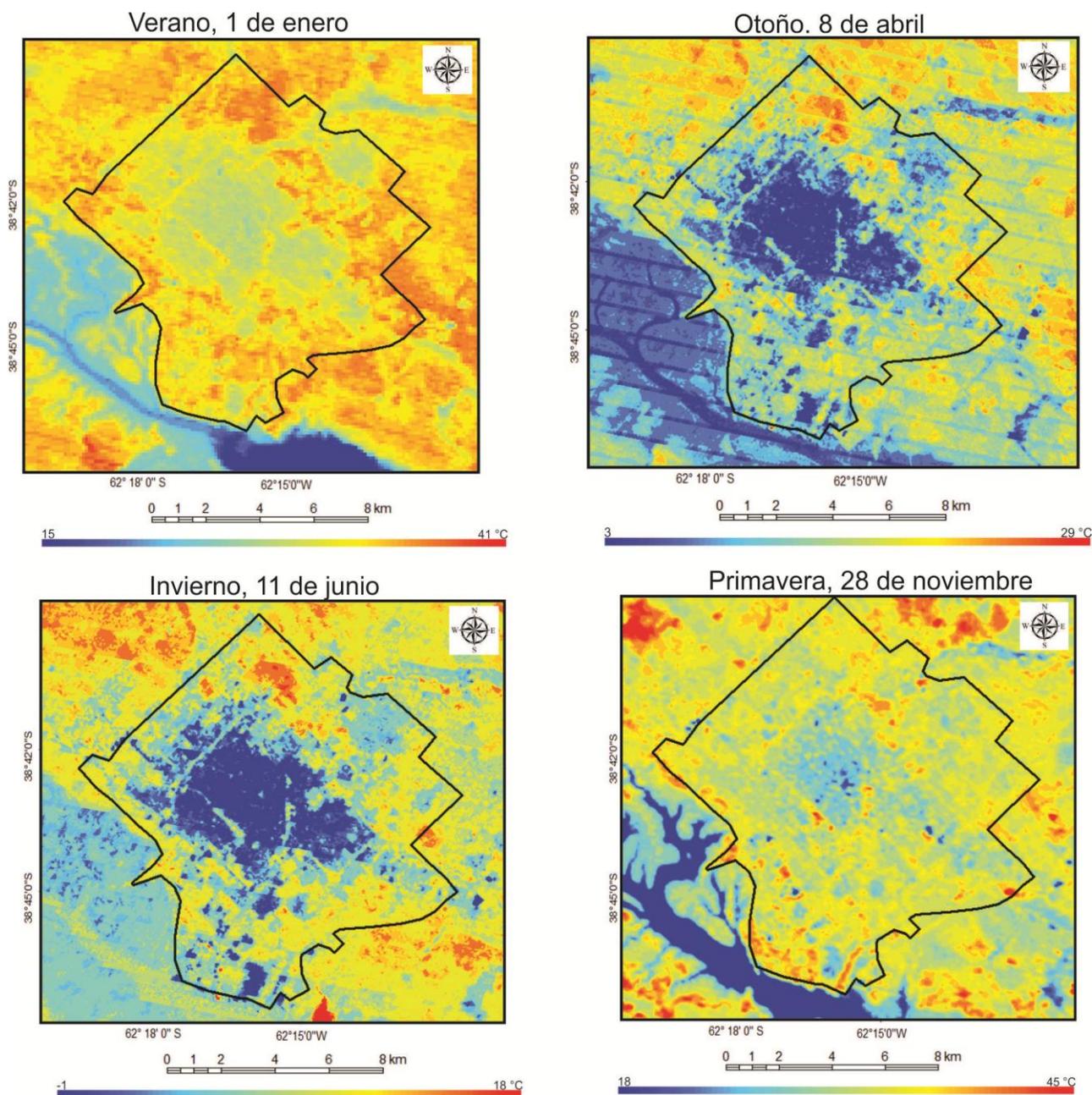
El otoño de 2011 tuvo el mayor valor de TST (44 °C). Los menores valores otoñales fueron registrados en 2009 con 3 °C. En general, las áreas urbanas construidas (como Urbano Concentrado y Urbano Residencial) presentaron los menores registros. Como se esperaba, las mayores temperaturas fueron en los veranos (TST mayores a 43 °C), las invernales fueron menores (-9 °C) y las estaciones intermedias fueron similares a invierno o verano dependiendo de las condiciones atmosféricas del día seleccionado (entre 29 y 42 °C) (Figuras 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8). La temperatura del aire del año 2008 fue la más elevada del período 1960-2012, con una media anual de 16,7 °C. El verano presentó una media de 23,2 °C, con un máximo de 30,1 °C. En invierno este valor fue de 10,4 °C, en otoño de 13,4 °C y en primavera de 19,8 °C.

La sequía durante el período de estudio explica las variaciones de la TST observadas en los períodos estivales. Como se mencionó anteriormente se observó una reducción de la cobertura vegetal y con ello se generaron cambios en los flujos de radiación de la ciudad. De esta manera, las coberturas de Urbano Disperso (UD) y Muy Disperso (MD) tuvieron valores más elevados

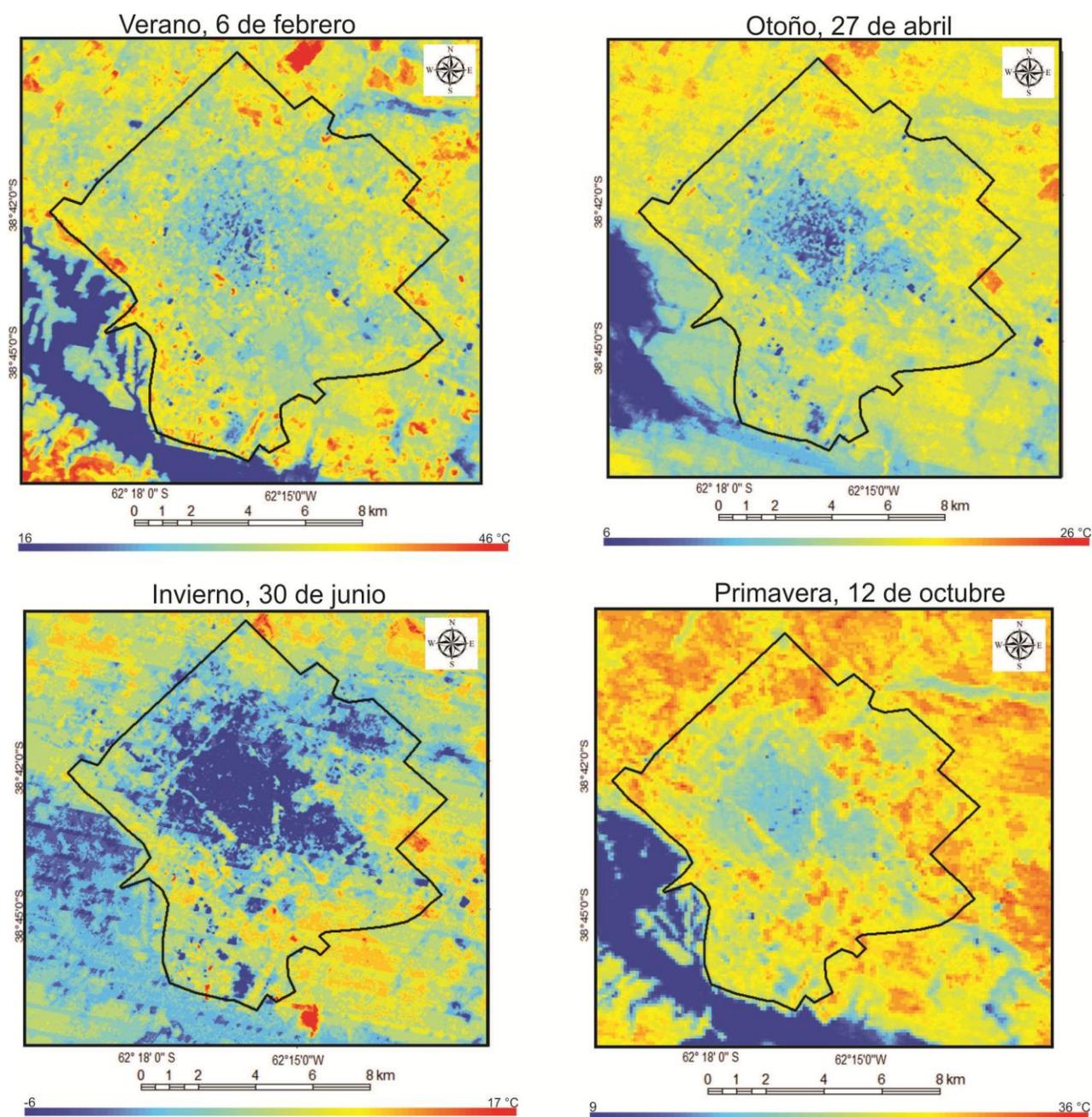
respecto al resto del área urbana dado que, en general, fue en estos espacios en donde se encontraron los terrenos con escasa vegetación.



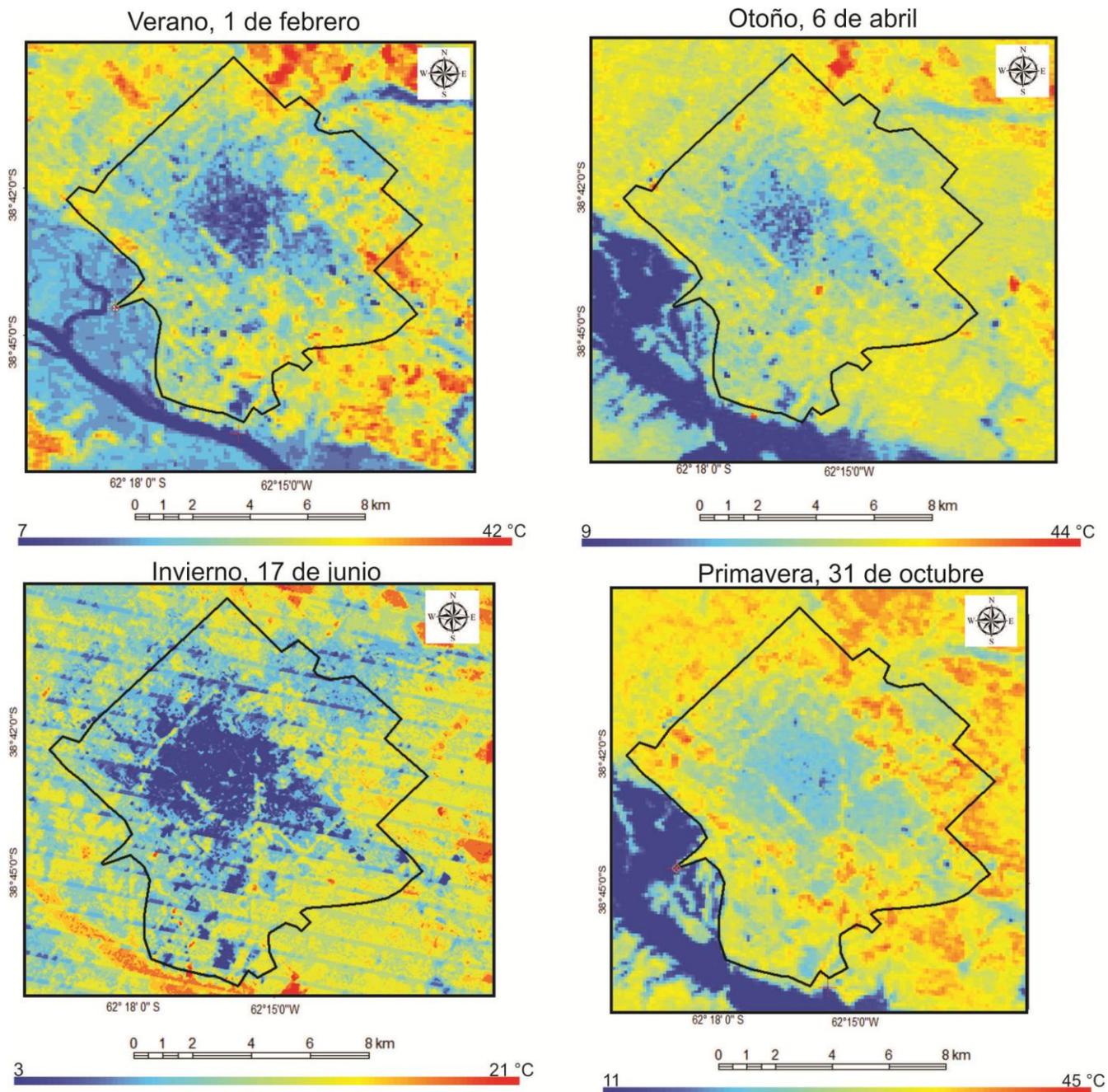
**Figura 5.4.** Distribución Espacial de la TST en diferentes días de 2008, basado en el análisis de imágenes satelitales.



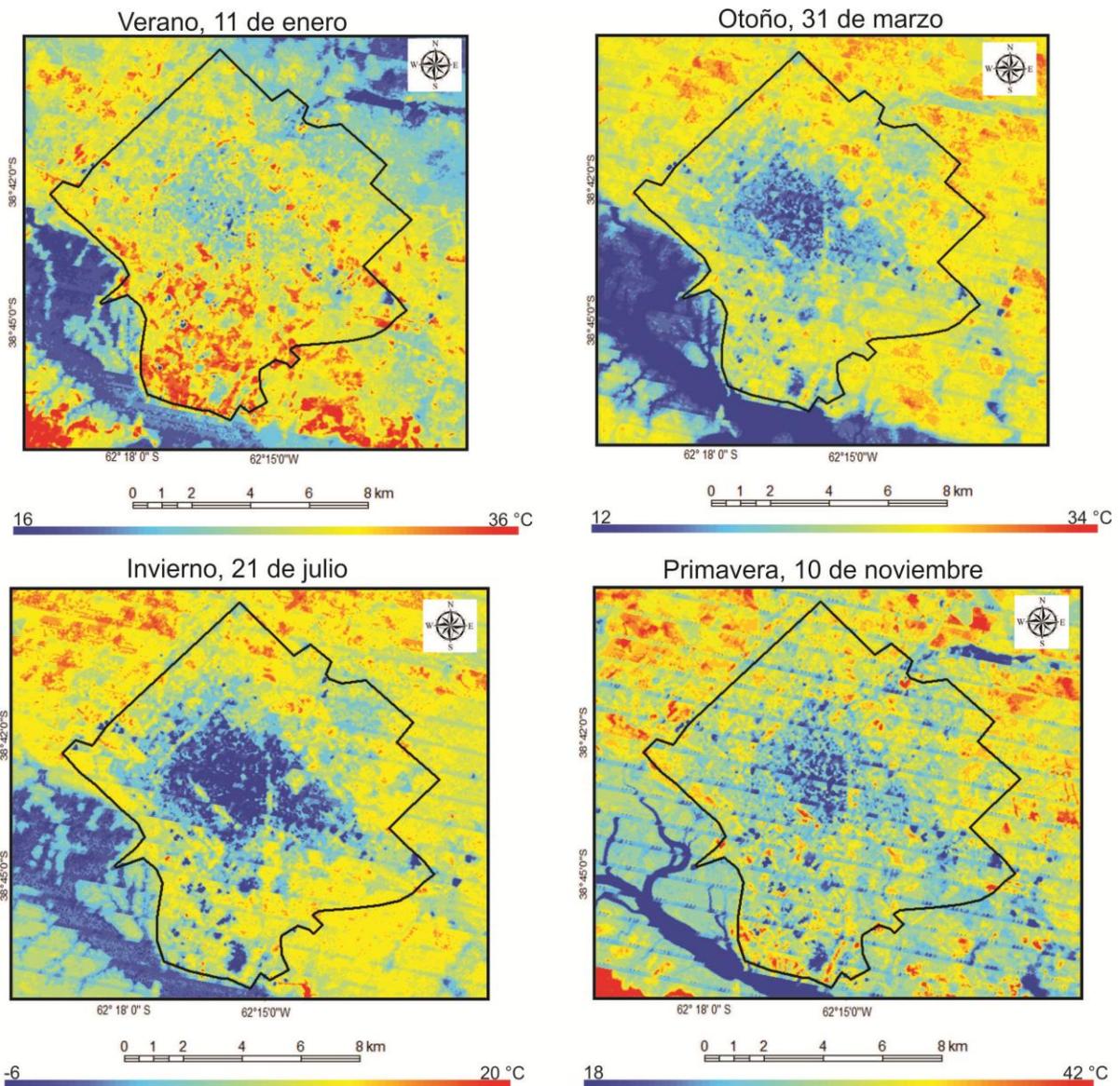
**Figura 5.5.** Distribución Espacial de la TST en diferentes días de 2009, basado en el análisis de imágenes satelitales.



**Figura 5.6.** Distribución Espacial de la TST en diferentes días de 2010, basado en el análisis de imágenes satelitales.



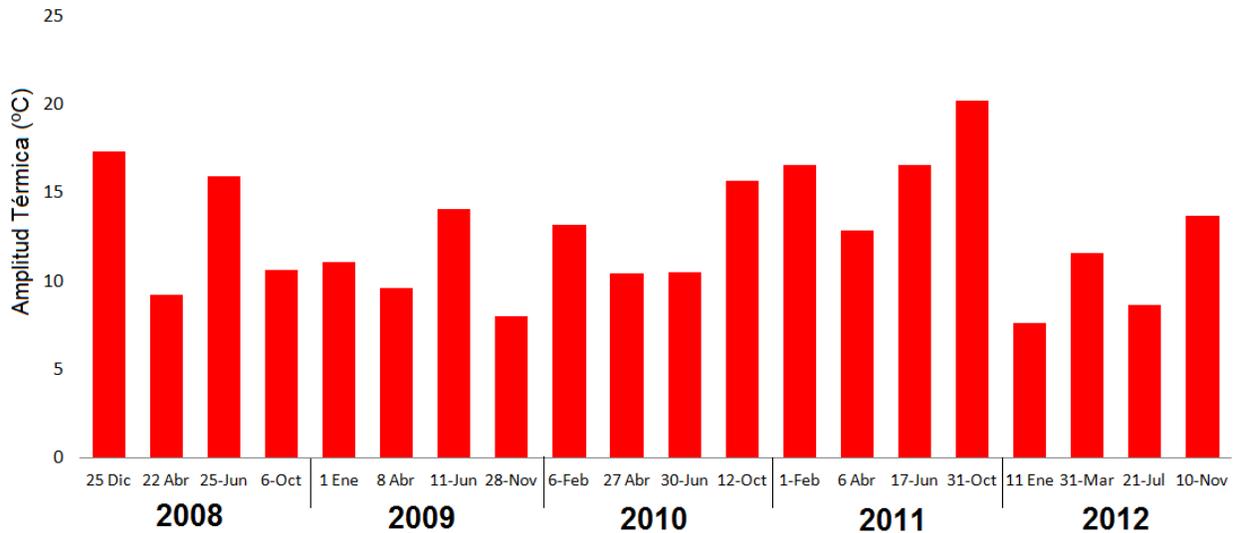
**Figura 5.7.** Distribución Espacial de la TST en diferentes días de 2011, basado en el análisis de imágenes satelitales.



**Figura 5.8.** Distribución Espacial de la TST en diferentes días de 2012, basado en el análisis de imágenes satelitales.

La diferencia térmica espacial se calculó considerando la temperatura del centro de la ciudad y el máximo valor de la periferia. Como se mencionó, al tratarse de imágenes de la mañana, el análisis se realiza sobre la Isla de Frescor matutina. Estas amplitudes fueron mayores en la primavera. Comparando los valores estacionales, el menor valor (7,6 °C) se presentó en el verano de 2012, con un mínimo en el centro de la ciudad y un máximo en la periferia. Las mayores amplitudes se observaron en el verano de 2008 (17,3 °C) y en el invierno de 2009 (14,1 °C). Las

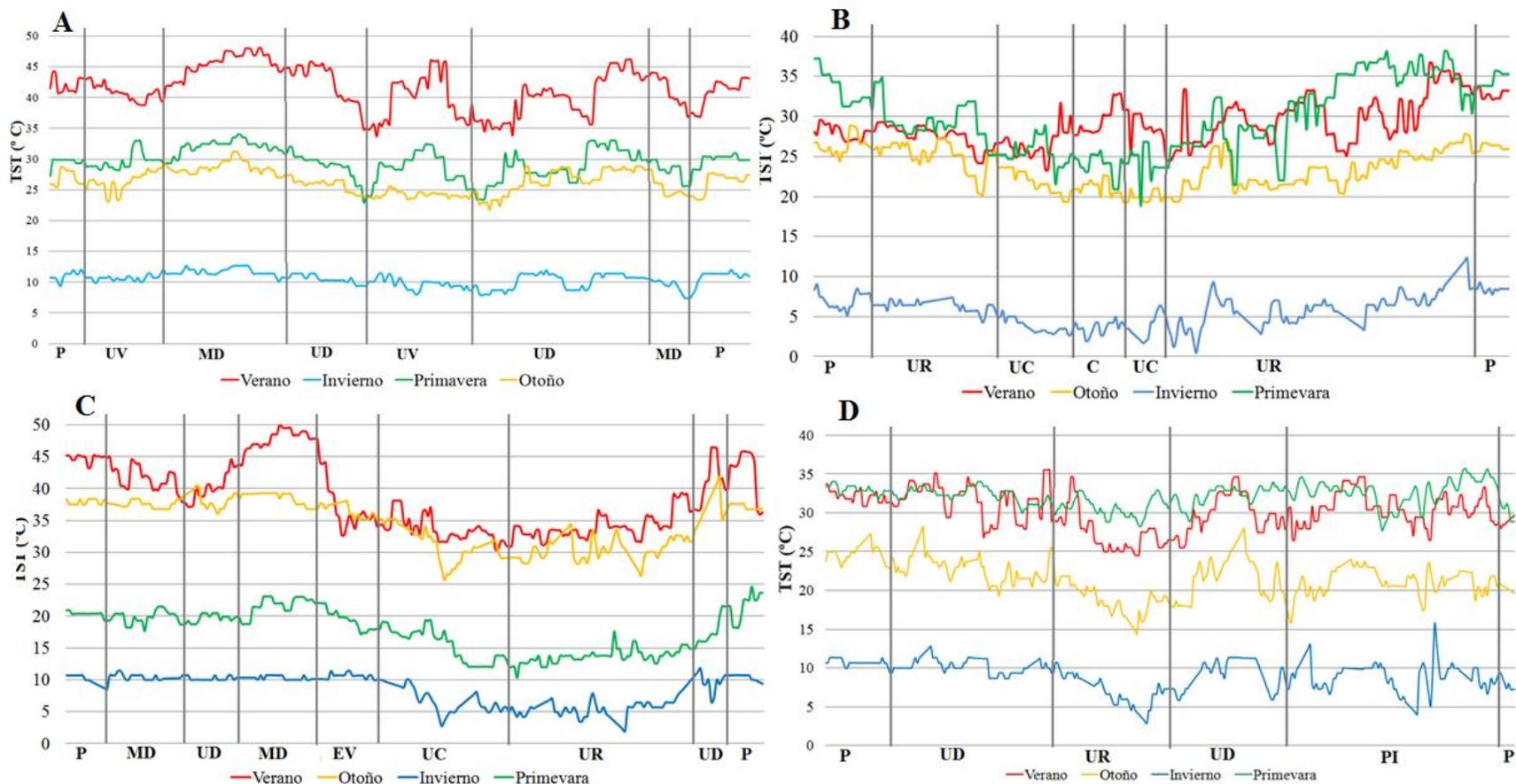
primaveras de 2010 y 2011 evidenciaron las máximas amplitudes de TST con 15,7 y 20,2 °C, respectivamente (Figura 5.9).



**Figura 5.9.** Amplitud Térmica de la TST en Bahía Blanca para el período 2008-2012 calculada a partir del procesamiento digital de imágenes. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015b).

Las transectas térmicas permitieron analizar el comportamiento de la TST en las distintas coberturas urbanas. Se observó que la distribución térmica en primavera y otoño coincidió con el comportamiento del verano e invierno respectivamente, dependiendo de las características del día y la información contenida en la imagen satelital. En la figura 5.10 se presentan ejemplos de transectas térmicas de cada uno de los años analizados.

La cobertura Periferia (P) presentó valores uniformes en el otoño, invierno y primavera. Sin embargo, el verano manifestó variaciones de más de 5 °C en relación con el resto de las coberturas. Esto pone de manifiesto la rugosidad de los espacios urbanos originada por los edificios en altura. Estas dan lugar a sombras dentro del ejido urbano. Durante la mañana, los espacios periféricos reciben de forma directa la radiación solar y presentan mayor temperatura que los espacios construidos (Valor *et al.*, 2000) (Figura 5.10).



**Figura 5.10.** Ejemplos de transectas térmicas de cada año analizado. **A)** Transecta Latitudinal 1 del año 2010, **B)** Transecta Latitudinal 2 del año 2011, **C)** Transecta longitudinal 1 del año 2008 y **D)** Transecta Longitudinal 2 del año 2009. **P:** Periferia, **MD:** Urbano Muy Disperso, **UV:** Urbano Vegetado, **UD:** Urbano Disperso, **UR:** Urbano Residencial, **MD:** Urbano muy disperso, **UC:** Urbano Concentrado, **C:** Centro, **EV:** Espacios Verdes, **PI:** Zona portuaria-industrial. Fuente: Ferrelli *et al.* (2015b).

En la cobertura Urbano Vegetado (UV) las TST mostraron oscilaciones inferiores a 2 °C. La TST fue similar tanto en otoño como en primavera; mientras que el verano evidenció variaciones que superaron los 8 °C entre el mínimo y el máximo valor (Figura 5.10). En este sentido, se concuerda con lo propuesto por Quattrochi y Ridd (1998) en su estudio de la ciudad de Salt Lake City. Los autores determinaron que las diferencias térmicas de una ciudad están directamente relacionadas con la vegetación. Las posibles modificaciones en los sectores urbanos, como consecuencia de la construcción, la expansión urbana, el reemplazo de una superficie natural por una artificial, etc. modifican los valores de TST. A su vez, se coincide con lo observado por Sarricolea *et al.* (2006) y Oltra-Carrió *et al.* (2010) quienes demostraron que el crecimiento urbano tiene impactos sobre la distribución espacial de la TST. Estos autores concuerdan con Rotem-Mindali *et al.* (2015) al resaltar el rol de la vegetación en la mitigación de la intensidad de la isla de calor urbana cuando observaron la disminución de la TST en esas áreas verdes.

En la cobertura Urbano Disperso (UD) no se evidenciaron fluctuaciones significativas de la TST invernal. Sin embargo, se registraron grandes variaciones dependiendo de la densidad de los edificios y las sombras. Las mayores variaciones de TST se observaron en el verano y la primavera (Figura 5.10). Por otro lado, la cobertura Urbano Muy Disperso (MD) manifestó un comportamiento similar al observado en el UD pero con valores menores.

En el área Urbano Residencial (UR) se observaron variaciones muy importantes de la TST en escasa distancia (Figura 5.10). Es un espacio en el que la altura y densidad de los edificios es heterogénea, genera sombras y por ende valores bajos de TST. Mientras que, los terrenos al descubierto y aquellos con mayor exposición solar presentaron valores elevados. Una situación similar se distinguió en el uso Urbano Concentrado (UC).

El Centro de la ciudad (C) manifestó los menores valores en todas las estaciones del año. Esto se debió a que la alta concentración de edificios facilitó la formación de sombras que fueron detectadas por el satélite y entonces, se registraron valores bajos de TST (Figura 5.10). Los espacios verdes (EV) se caracterizaron por tener valores bajos de TST relacionados con la presencia de árboles (Figura 5.10). Los EV producen áreas con temperaturas frías y reducen la emisividad de onda larga proveniente de las zonas construidas (Dimoudi y Nikolopoulou, 2003). Según Goetz *et al.* (2000) existe un equilibrio entre el calor retenido por el aire en las zonas con vegetación densa y la temperatura calculada con sensores remotos. Es por eso que estos espacios

representan la cobertura urbana más relevante ya que poseen un efecto estabilizador 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 y McGeehin, 2008).

Finalmente, la cobertura Portuario Industrial (PI) presentó grandes oscilaciones de TST en verano. Mientras que en primavera los valores de TST fueron más homogéneos y en otoño e invierno fueron menores y, en general, menos fluctuantes; exceptuando la cobertura UR que durante el invierno de 2011 manifestó una diferencia de 10 °C (Figura 5.10).

#### **4. Conclusiones**

El estudio de los ambientes urbanos puede ser analizado a través de imágenes satelitales. La intervención del hombre sobre el medio da origen a distintas coberturas urbanas que manifiestan patrones térmicos diferentes que pueden afectar a la calidad ambiental y a las condiciones atmosféricas locales. La relevancia de los datos adquiridos fueron útiles para comprender las variaciones térmicas de la ciudad de Bahía Blanca y para inferir los efectos que causa el aumento de la densidad de los edificios sobre ella: las ráfagas de viento, disminución de la cobertura vegetal, disminución de las temperaturas en el centro y cambios de la superficie natural por construcciones.

En este estudio, la relación entre datos meteorológicos e intervenciones empíricas a través de recorridos en la ciudad relacionados con el procesamiento digital de imágenes Landsat fue efectiva para el estudio de la TST y su relación con los diferentes usos del suelo urbano. La TST presentó diferencias según las áreas urbanas discriminadas por lo que puede tomarse como un indicador de la rugosidad de los espacios urbanos. Las fluctuaciones dependieron directamente de las sombras y la densidad de las construcciones urbanas. En este estudio la TST fue un parámetro útil para interpretar los cambios de temperatura que ocurren dentro de las ciudades como consecuencia de espacios modificados por la presencia de edificios. Del análisis de las imágenes satelitales se obtuvo que la ciudad de Bahía Blanca presentó una gran amplitud térmica durante el verano. El análisis de los mapas térmicos realizados manifestó un patrón de distribución espacial de la TST relacionado con la Isla de Frescor matutina: la periferia y las áreas con escasa construcción fueron más cálidos que el centro de la ciudad.

El análisis de las transectas térmicas evidenció que el invierno fue la estación con menores fluctuaciones de la TST. En todas las estaciones del año, los mayores valores se localizaron en la Periferia, en Urbano Muy Disperso y en Urbano Disperso. Es importante destacar el rol de las zonas verdes en el interior de la ciudad ya que, en todas las estaciones del año, la TST presentó menores valores en ellas. Toda esta información permitiría analizar la dinámica térmica interna de los ambientes urbanos. Además, la metodología empleada en este trabajo es sencilla y puede replicarse con facilidad en otros espacios urbanos del mundo.

## CAPÍTULO 6

### EL CLIMA LOCAL Y MICRO-LOCAL DE LA CIUDAD

#### 1. Introducción

Las ciudades generan cambios en la atmósfera local creando un clima local de tipo antrópico 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 de 160 millones a más de 3 mil millones en 100 años y se espera que aumente a cerca de 5 mil millones para 2025 (Hardy *et al.*, 2001).

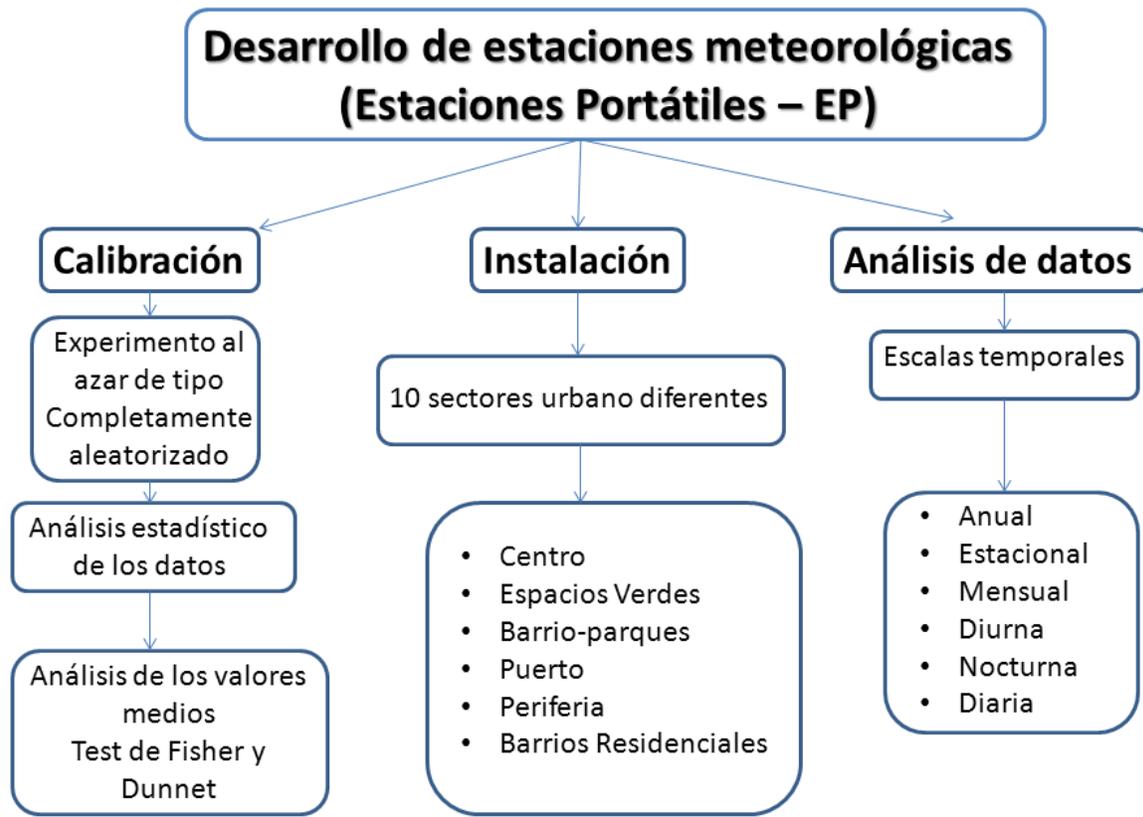
Las variaciones del clima se atenúan en las ciudades debido a los cambios del paisaje. Las diferencias estructurales del espacio urbano a escala micro local modifican el comportamiento térmico y de la humedad relativa. Estos parámetros meteorológicos varían en primera instancia según el tamaño de la ciudad (Oke, 1973), según el tipo de construcciones y la distancia entre las mismas (Szegedi y Kircsi, 2003), según los materiales que los componen (Correa *et al.*, 2003), según la cantidad de calor antrópico generado por las actividades humanas *per se* y según la topografía urbana (Maristany *et al.*, 2008; Coronel *et al.*, 2014). El calor antrópico es una fuente artificial de calor 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 y 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 (Coronel *et al.*, 2014).

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. 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. (Kolokotsa *et al.*, 2009). Las diversas condiciones de sitio de las ciudades generan comportamientos termo-higrométrico diferentes. Para estudiarlos en la ciudad de Bahía Blanca se diseñaron nueve estaciones meteorológicas de alta frecuencia. Las mismas se instalaron en distintos barrios de la ciudad durante un año. 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 sitios de la ciudad. En este capítulo se presentan los resultados de los datos obtenidos desde octubre de 2013 a diciembre de 2014.

## **2. Metodología**

El esquema metodológico aplicado en este capítulo se presenta en la Figura 6.1. En una primera instancia, se construyeron en el Instituto Argentino de Oceanografía por el Dr. Alejandro Vitale, Estaciones Portátiles (EP) que miden temperatura y humedad relativa en alta frecuencia. Las mediciones fueron calibradas con un instrumental patrón. Luego, fueron instaladas en distintos sitios de la ciudad para analizar posteriormente las diferencias térmicas y de la humedad relativa en los diferentes vecindarios. El análisis de la información se realizó de forma anual, mensual, estacional, diario, diurno y nocturno (Figura 6.1).



**Figura 6.1.** Esquema metodológico aplicado al estudio de la distribución de la temperatura y la humedad relativa en distintos barrios de la ciudad de Bahía Blanca.

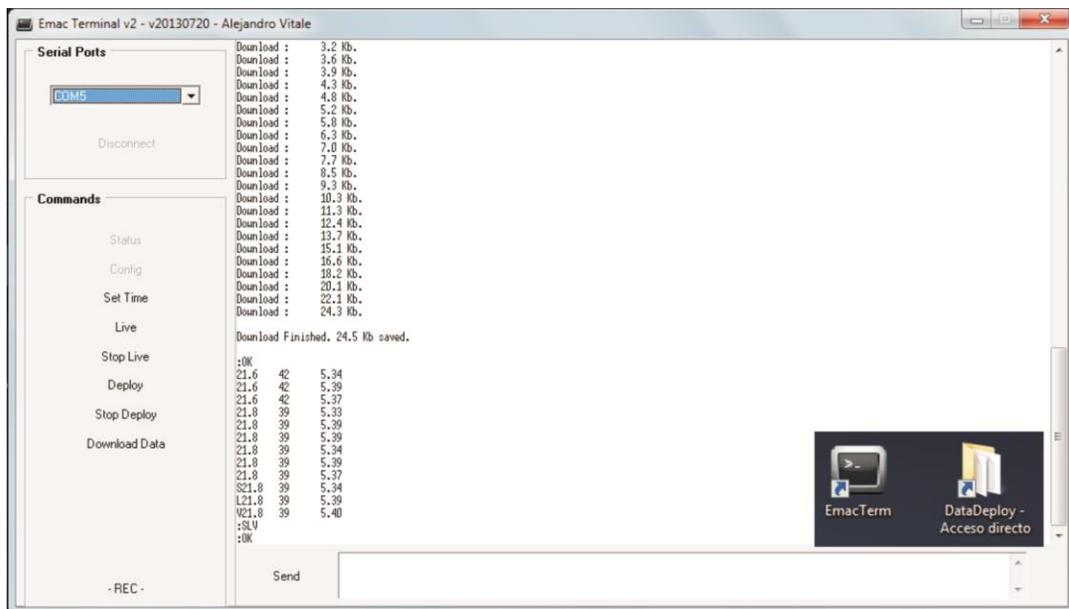
### 2.1. Desarrollo de estaciones portátiles

En el Instituto Argentino de Oceanografía (por el Ingeniero electrónico Dr. Alejandro Vitle, IADO-CONICET, Argentina) se diseñaron estaciones de monitoreo de temperatura del aire y humedad relativa. Se denominaron *Estaciones Portátiles* (EP) debido a sus funciones. La frecuencia de registro de los datos fue de 30 minutos. Las mismas estuvieron constituidas por una caja plástica que recubrió los sensores junto con una fuente de alimentación de energía (pilas). 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. De esta forma, se descargan datos y se reinician las mediciones dado que cada dispositivo tiene una capacidad de almacenamiento limitada (500 Mb).

El error de fábrica del sensor de temperatura fue 0,1 °C y 1 % para el de humedad relativa. Se diseñaron 9 EP. Se complementó el análisis con datos de una estación perteneciente al CERZOS-CONICET (Cap. 3 y 4). Esta última estación fue utilizada para calibrar y validar la información de cada una de las EP. La descarga de los datos se realizó en forma periódica, aproximadamente cada 20 días, utilizando un Software diseñado para este propósito. El mismo se denominó *Emac Team*. Para su funcionamiento, se conectó un cable USB de una computadora portátil a la entrada del dispositivo (Figura 6.2 y 6.3).



**Figura 6.2.** Conexión de las EP con una computadora portátil.



**Figura 6.3.** Visualización los datos obtenidos con las EP en el *Emac Team*.

## 2.2. Calibración de las EP

Se calibraron los sensores de la EP 0 con la estación meteorológica del CERZOS-CONICET (Figura 6.4). Ambas se localizaron en el mismo lugar y se midió desde el 11 al 16 de agosto de 2013. 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  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  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.



**Figura 6.4.** Estación meteorológica del CERZOS.

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 desde el 20 de agosto hasta el 3 de septiembre de 2013. 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.

Se registraron 10.452 datos en cada una de las EP. Se observó que la temperatura mostró el mismo patrón y los valores medios oscilaron entre 15,5 °C y 15,6 °C. Por otro lado, la humedad relativa presentó variaciones en los máximos y los mínimos pero estuvieron dentro del error del instrumental. Los datos de las EP 1-8 se analizaron mediante un test de Dunnet (Tabla 6.1) y se aplicó un DMS de Fisher para comparar las medias (Tabla 6.2).

EP	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Resultados</b>	ns							

**Tabla 6.1.** Test de Dunnet aplicado a los datos de temperatura de las Estaciones Portátiles.

EP	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>DMS</b>	a	a	a	a	a	a	a	a	a

**Tabla 6.2.** Test de Fisher aplicado a los datos de temperatura de las Estaciones Portátiles.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el testigo (EP 0) y las EP (1-8). El test de Fisher permitió establecer que las medias son estadísticamente iguales y así también los valores medios de temperatura del aire. En la Tabla 6.3 se presentan los valores medios de cada una de las EP durante el período de calibración. Las mayores variaciones se presentaron en la humedad relativa y las menores en la temperatura. Sin embargo, los valores obtenidos se mantuvieron dentro del error propio del instrumental. La humedad relativa presentó diferencias que no superaron el 1 % por lo que estos sensores registraron también los mismos valores de este parámetro (Tabla 6.4).

	00	01	02	04	03	05	06	07	08
<b>Temperatura</b>	15,4	15,5	15,5	15,5	15,6	15,6	15,5	15,5	15,5
<b>Humedad</b>	43,6	43,1	42,2	43,1	43,1	43,1	43,8	43,8	43,1

**Tabla 6.3.** Temperatura del aire y humedad relativa media para cada una de las Estaciones Portátiles (20/8/2013- 3/9/2013).

	EP01	EP02	EP03	EP05	EP06	EP07	EP08
Diferencias (%)	0,5	1,0	-0,9	-0,9	-0,2	-0,2	0,5

**Tabla 6.4.** Diferencia de la humedad relativa media obtenida con las EP con respecto a la EP testigo (20/8/2013- 3/9/2013).

### 2.3. Instalación de las Estaciones Portátiles

Las EP se instalaron en diferentes barrios de la ciudad de Bahía Blanca (Figura 6.5). 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.

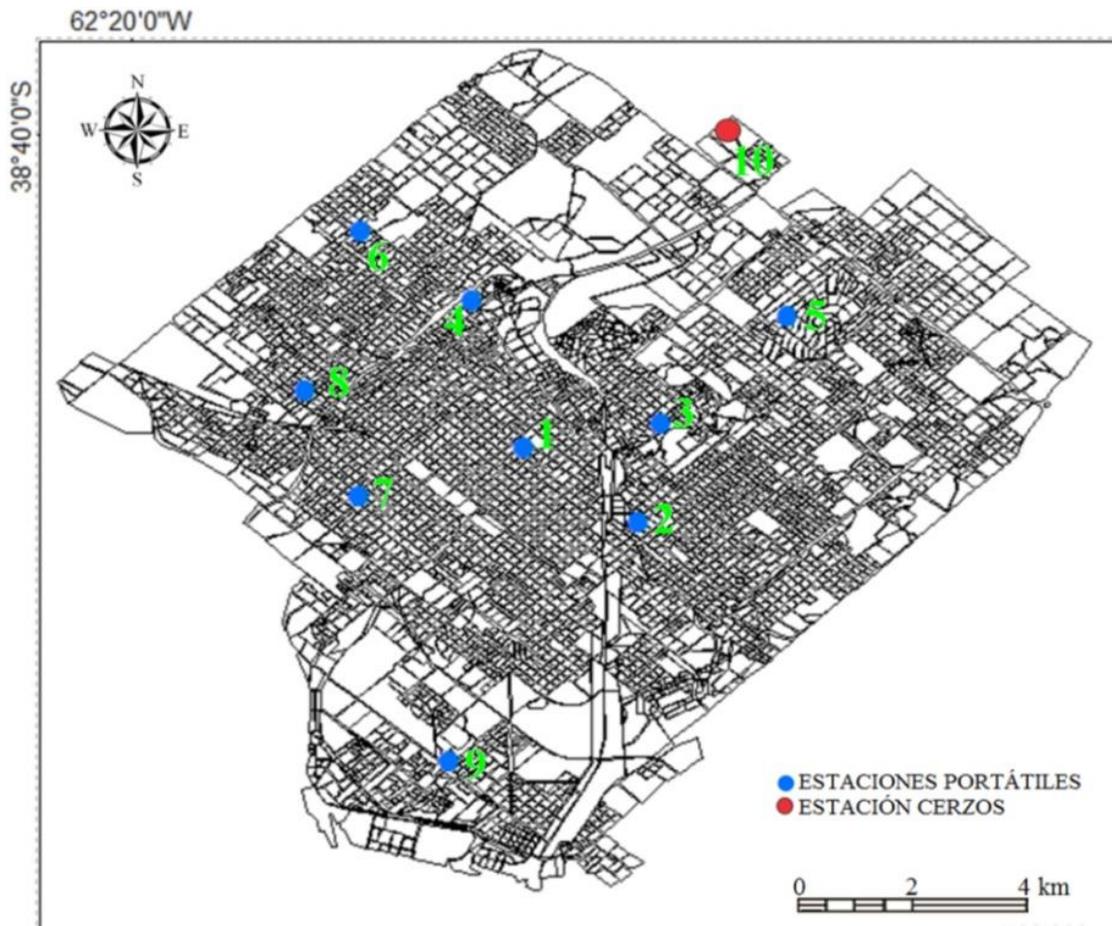
La estación localizada en el centro de la ciudad, no cumplió con los mismos requisitos que las restantes. Esta se ubicó en un edificio, en el cuarto piso a 20 metros de altura por lo que el gradiente térmico atmosférico fue diferente al resto de las EP. Este se define como:

$$\Delta T = \frac{\partial T}{\partial xyz}$$

donde  $\Delta T$  es la variación de temperatura,  $\partial T$  es el valor de temperatura y  $\partial xyz$  son las coordenadas del punto considerado (x, latitud, y, longitud y z, altura). El valor de temperatura es positivo en una atmósfera en donde la temperatura decrece con la altura considerando una atmósfera estándar (Sendiña Nadal y Pérez Muñuzuri, 2006). Para normalizar la temperatura del aire a 2 m se consideró el gradiente térmico vertical de una atmósfera estable de 0,65 °C cada 100 m (Martínez de Osés, 2006). Teniendo en cuenta este criterio y considerando que la altura a la que se instaló esta EP fue de 18 m mayor que el resto de las estaciones, la corrección fue + 0,12 °C.

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 (Figura 6.5). 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.



**Figura 6.5.** Localización de las EP y la estación del CERZOS en la ciudad de Bahía Blanca.

#### 2.4. 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, diurna y nocturna. Se utilizaron análisis estadísticos estándar para el cálculo de los valores medios de las distintas variables. Se analizó además la relación de la temperatura y la humedad relativa con la dirección y velocidad del viento predominantes. Los datos de velocidad del viento se obtuvieron de la estación meteorológica del CERZOS. La dirección se obtuvo del análisis de las isobaras de los mapas sinópticos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina).

Con los datos mensuales se confeccionaron mapas de isotermas y de humedad relativa. Las mayores variaciones se observaron en invierno y las menores en verano. Con la información diaria se aplicó una transformada rápida de Fourier (Cap. 2) para determinar los períodos principales y las características de cada variable en los distintos sitios de la ciudad. Conociendo los resultados de este análisis, se consideró la escala diurna y nocturna. Su finalidad fue la de analizar los máximos hallados en 12, 8 y 6 hs. Estas escalas permitieron analizar los efectos que los espacios construidos tienen sobre los parámetros medidos durante las horas de luz y la noche. Los análisis a estas escalas incluyeron un estudio anual, estacional y mensual. 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>). Los datos fueron analizados 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.

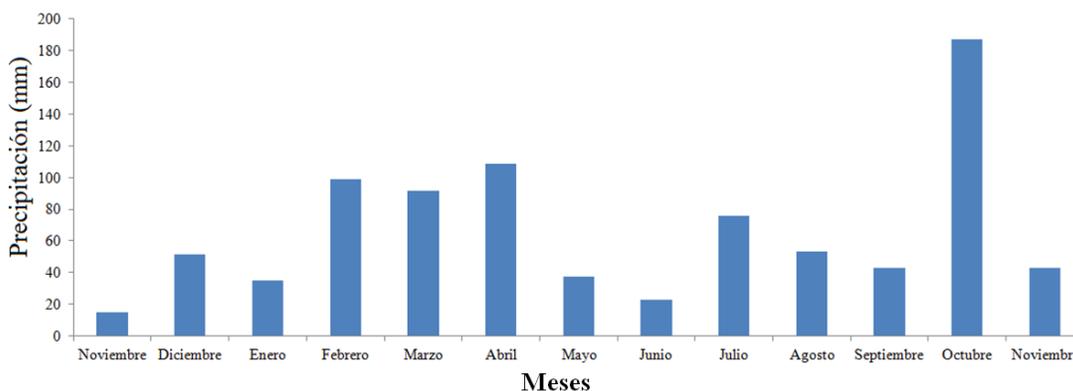
### **3. Resultados**

#### **3.1. Análisis anual**

La región del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, donde se localiza la ciudad de Bahía Blanca, se caracteriza por presentar una amplia gama de condiciones geomorfológicas, físicas y socioeconómicas (Bustos *et al.*, 2016a). Las condiciones oceanográficas y climáticas de la región adquieren importancia dado que pueden modificar seriamente las condiciones de vida de sus habitantes debido a la fragilidad de los ambientes. Los recursos naturales costeros y oceánicos son cruciales para los habitantes, tanto para su economía como para su vida cotidiana. Además las actividades agropecuarias que se desarrollan en esta zona son sensibles a la variabilidad de las precipitaciones dado que se caracterizan por presentar mayoritariamente cultivos de secano (Ferrelli, 2010; Delgado, 2013).

Con los datos de la estación del CERZOS (EP - CONICET, Figura 6.5) se realizó una caracterización meteorológica del período de estudio. Las precipitaciones registraron 862 mm durante el período de estudio superando al valor medio (644,6, Cap. 2) en 217,6 mm. Estacionalmente, la primavera concentró las mayores precipitaciones (272,9 mm, media 198,4 mm), seguido por el otoño (238 mm, media 138,1 mm) y el verano (184,5 mm, media 206,2

mm). La estación menos lluviosa fue el invierno (152 mm, media 96,3 mm). Según el IEP, fue un año Moderadamente húmedo (Cap. 2). El mes más lluvioso fue octubre 2014 con 187,3 mm y el más seco fue noviembre 2013 con 14,6 mm. Cabe señalar que durante todos los meses de medición se registraron precipitaciones (Figura 6.6). La velocidad media diaria del viento fue 6,6 km h<sup>-1</sup> y la máxima 33,1 km h<sup>-1</sup>. La dirección predominante del viento fue del noroeste (36 % de los días). Las demás fueron sudoeste (25 %), norte (19 %) y oeste (12 %) mientras que las menos frecuentes fueron del este (5 %) y sur (3 %).



**Figura 6.6.** Precipitación mensual del período de medición. Noviembre 2013 – Noviembre 2014.

La temperatura media de la ciudad es 15,3 °C. El período de estudio se caracterizó por ser más cálido. El año 2013 presento una media de 16 °C y el 2014 16,6 °C. A escala micro climática, la temperatura media anual fue mayor en Villa Mitre (18,3 °C) y menor en CONICET (16,8 °C). El Centro tuvo un valor similar al de Villa Mitre con una media de 18,2 °C. Por otro lado, Bella Vista presentó un comportamiento similar a Villa Floresta, con valores medios de 17,8 y 17,9 °C, respectivamente. Patagonia tuvo 17,2 °C e Ing. White 17,6 °C. Finalmente, Cooperación II, Noroeste y UOM registraron una media de 17 °C. Por otro lado, la zona más húmeda fue la de Ing. White con 65 %, seguido por Bella Vista (60 %). Noroeste y Villa Floresta presentaron valores similares (56 y 56 %, respectivamente). Las zonas más secas fueron CONICET (49 %) y Villa Mitre (53 %) (Tablas 6.5).

Los valores máximos y mínimos de temperatura se registraron en distintas fechas en cada uno de los barrios de la ciudad. Los mismos se analizaron para considerar la ocurrencia de los mismos en los distintos barrios de Bahía Blanca. El máximo fue mayor en UOM (41 °C) seguido por Bella Vista y Villa Floresta con 41 °C (17 de enero de 2014). Por otro lado, el mínimo valor

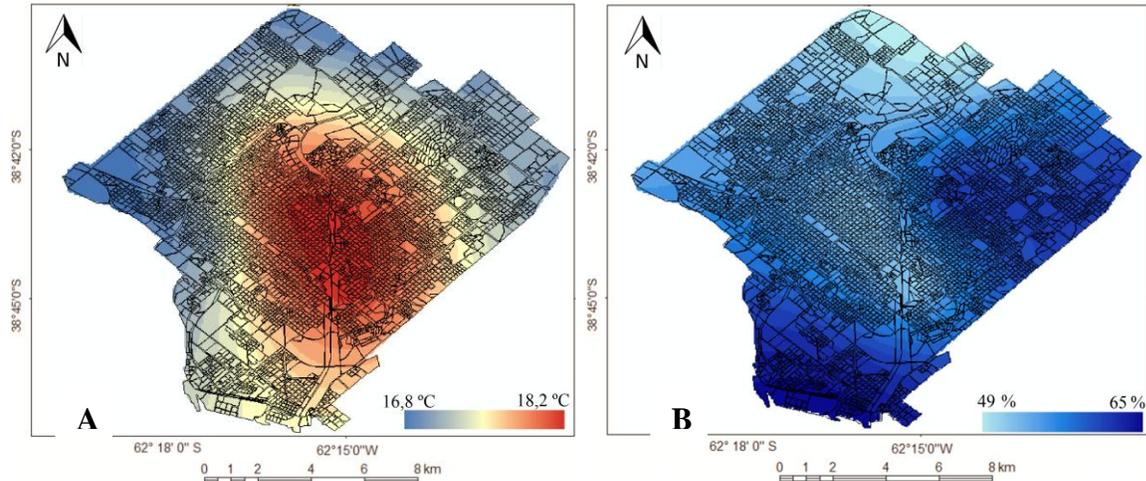
(27 de julio de 2014) se registró en CONICET (-1,7 °C), Cooperación II (-1,2 °C) y en la Patagonia (-1,1 °C). Villa Mitre, CONICET, Ing. White, Noroeste y Centro registraron mínimos superiores a 0 °C. Esta última registró el mayor valor mínimo (2,4 °C) (Tablas 6.5).

EP	Parámetro	Valor Medio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Centro	Temperatura	18,2	2,4	37,1
	Humedad Relativa	54	12	90
Villa Mitre	Temperatura	18,3	1,7	40,5
	Humedad Relativa	53	14	95
Bella Vista	Temperatura	17,8	-1,0	40,8
	Humedad Relativa	60	16	99
Villa Floresta	Temperatura	17,9	-1,0	40,8
	Humedad Relativa	56	15	97
Patagonia	Temperatura	17,2	-1,1	41
	Humedad Relativa	59	21	98
Cooperación II	Temperatura	17	-1,2	37,7
	Humedad Relativa	55	11	95
Noroeste	Temperatura	17	0,0	36,2
	Humedad Relativa	56	20	92
UOM	Temperatura	17	-0,2	41
	Humedad Relativa	55	11	90
Ing. White	Temperatura	17,6	0,8	40,4
	Humedad Relativa	65	16	97
CONICET	Temperatura	16,8	0,8	31,5
	Humedad Relativa	49	20	99

**Tabla 6.5.** Valores medios máximos y mínimos de las EP.

La temperatura media del período fue mayor en el centro y centro-sudoeste de la ciudad (18,2 °C). Las zonas periféricas del norte, este y oeste registraron los menores valores, mientras que la zona costera presentó los intermedios (es decir, aquellos valores que se encuentran entre el máximo y el mínimo registro medido). La diferencia espacial de la temperatura del aire en la ciudad fue de 1,4 °C (Figura 6.7). La humedad relativa media del período presentó los menores valores en el norte, noreste y centro. Esto coincidió con la dirección del viento, dado que el 80 % de los días de medición presentaron vientos del cuadrante noroeste. Los mismos se caracterizan por ser secos, de manera que afectaron la distribución de este parámetro en la ciudad. Los mayores valores se presentaron en las zonas costeras, debido a la cercanía al mar y a la presencia

de las brisas marinas que modifican este parámetro (Huamantín Cisneros y Piccolo 2011; Alomar Garau, 2013). Además las zonas de parques y barrios-parque localizados al noreste y este de la ciudad registraron valores elevados de humedad relativa. El menor valor fue 49 % y el mayor 65 %, marcando una diferencia espacial de 16 % (Figura 6.7).



**Figura 6.7.** Distribución espacial de **A.** Temperatura media y **B.** Humedad relativa media anual para el período de estudio.

### 3.2. Análisis estacional

El otoño fue la estación con menor velocidad media del viento ( $4,1 \text{ km h}^{-1}$ ), con un valor máximo medio diario de  $17,7 \text{ km h}^{-1}$ . La velocidad media del verano fue  $5 \text{ km h}^{-1}$ , con un máximo medio diario de  $12,9 \text{ km h}^{-1}$ . La media del invierno fue  $7 \text{ km h}^{-1}$  oscilando entre  $1,1 \text{ km h}^{-1}$  y  $23,8 \text{ km h}^{-1}$ . La estación más ventosa fue la primavera con  $9,6 \text{ km h}^{-1}$  de media diaria, un mínimo de  $0,6 \text{ km h}^{-1}$  y un máximo de  $33,1 \text{ km h}^{-1}$ .

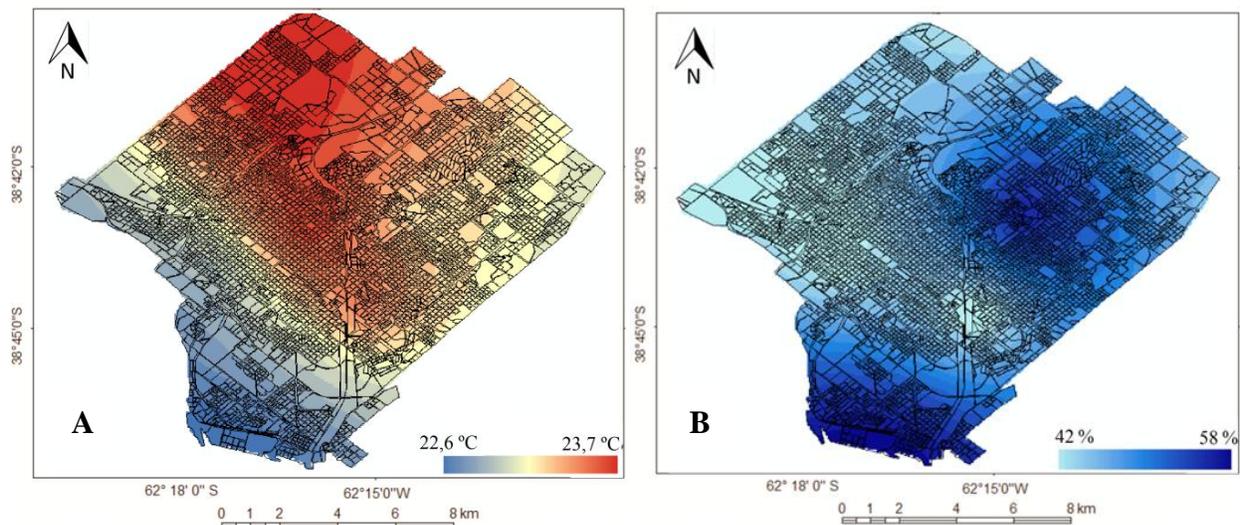
La dirección del viento durante el verano fue predominante del noroeste (53 %). Las demás direcciones fueron sudoeste (22 %), norte (14 %), este (7 %) y sur (4 %). En el otoño la mayor frecuencia fue del sudoeste (31 %). El resto de los porcentajes fueron noroeste (20 %), oeste (20 %), norte (19 %) y en menor medida del este (5 %) y sur (5 %). El invierno presentó al noroeste como dirección dominante (33 %), seguidos por norte (23 %), sudoeste (22 %), oeste (13 %), este (5 %) y sur (4 %). Finalmente la primavera presentó el cuadrante oeste como el más frecuente (noroeste 31 %, sudoeste 26 % y oeste 12 %), seguido por el norte (13 %), noreste (11 %) y sudeste (3 %).

Las diferencias térmicas espaciales fueron mínimas durante el verano. La zona más cálida fue el centro (23 °C) y la más fría Ing. White (22 °C). El resto de la ciudad presentó una media superior a los 23 °C. El otoño presentó mayores diferencias térmicas. Bella Vista midió 17,9 °C y Patagonia 15,9 °C. La zona de CONICET tuvo el menor valor de toda la ciudad 14,7 °C, seguido por Ing. White con 15,7 °C. En el invierno la ciudad fue más cálida que su periferia. El centro presentó una temperatura de 14,4 °C y CONICET 10,2 °C. Durante la primavera, la mayor parte de la ciudad marcó medias que oscilaron entre 17 y 19 °C excepto la zona de Bella Vista (15,3 °C), Patagonia (15,9 °C) y Noroeste (16, 7 °C) (Tabla 6.6).

En el verano, las mayores temperaturas (23,7 °C) se presentaron en el norte y noroeste y disminuyeron hacia el sur y sudoeste (22,6 °C). La deferencia espacial fue 1,1 °C. La humedad relativa presentó los menores valores en las áreas más edificadas del centro y centro-sudoeste (42,2 %) y los mayores en la zona costera de Ingeniero White (58,8 %) marcando una diferencia espacial de 16,6 % (Figura 6.8).

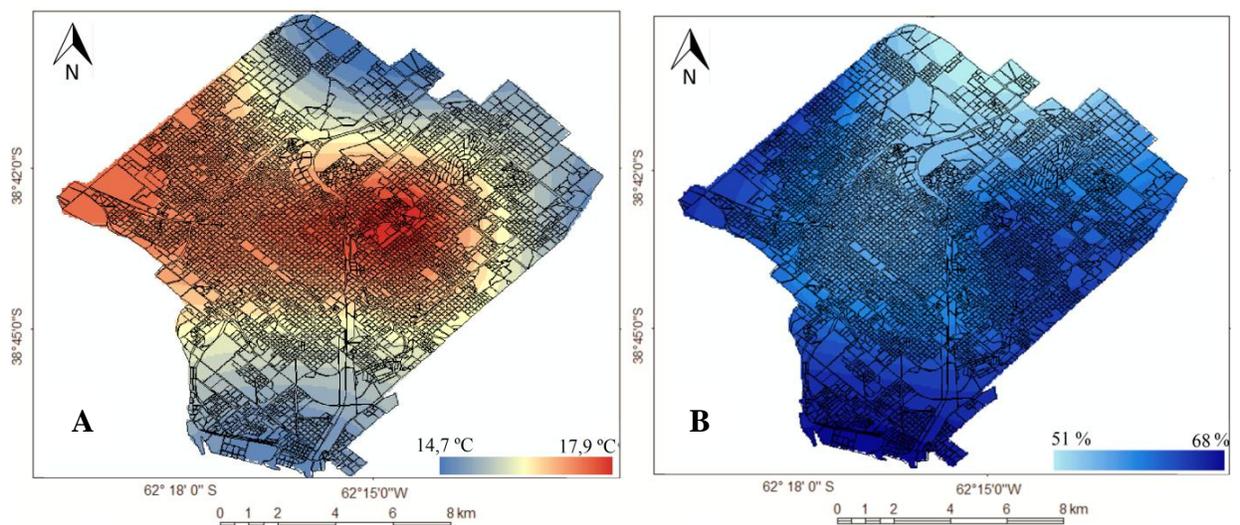
EP	Parámetro	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Centro	Temperatura	23,7	17,5	14,4	17,9
	Humedad Relativa	45	59	53	56
Villa Mitre	Temperatura	23,6	16,8	12,2	18
	Humedad Relativa	42	61	65	51
Bella Vista	Temperatura	23,1	17,9	11,9	15,3
	Humedad Relativa	53	63	69	56
Villa Floresta	Temperatura	23,5	17,0	11	17,5
	Humedad Relativa	44	58	69	58
Patagonia	Temperatura	23,2	15,9	10,4	15,9
	Humedad Relativa	44	62	59	58
Cooperación II	Temperatura	23,6	17,3	13,7	18,8
	Humedad Relativa	44	64	61	52
Noroeste	Temperatura	23	17,3	11,1	16,7
	Humedad Relativa	42	60	60	49
UOM	Temperatura	23	17,5	13,3	18,3
	Humedad Relativa	43	64	60	59
Ing. White	Temperatura	22,6	15,7	11,5	17,7
	Humedad Relativa	58	68	71	62
CONICET	Temperatura	23,5	14,7	10,2	18,6
	Humedad Relativa	42	51	49	45

**Tabla 6.6.** Valores estacionales de temperatura y humedad relativa de las EP.



**Figura 6.8.** Distribución espacial de la temperatura media (A) y humedad relativa media (B) durante el verano.

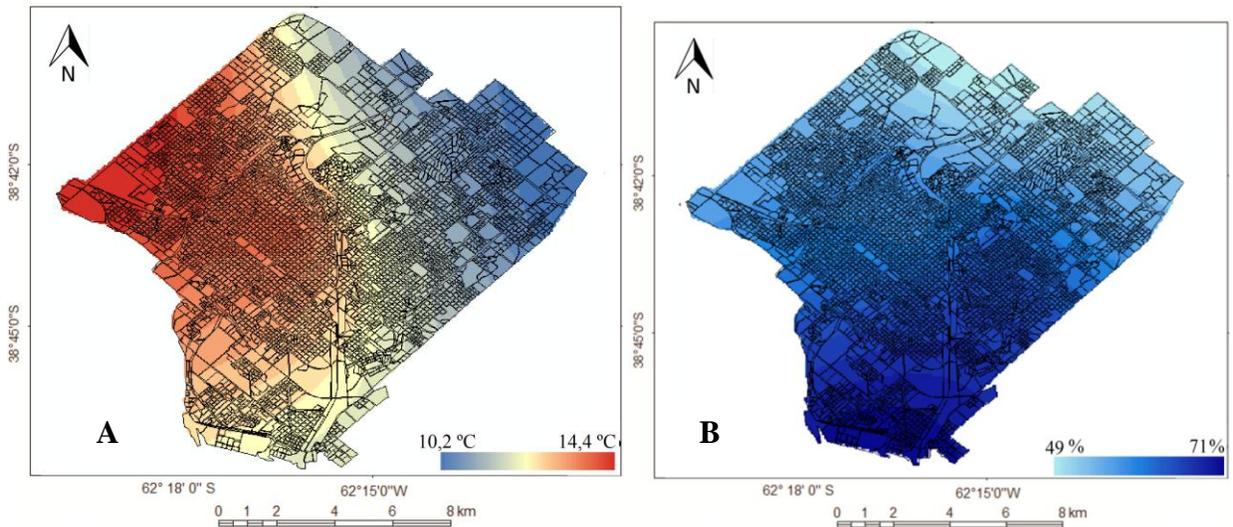
El otoño presentó las mayores temperaturas en el centro y el oeste de la ciudad, con un valor máximo de 17,9 °C. La periferia en el noreste y las zonas costeras del sur registraron los menores valores (14,7 °C). La diferencia espacial fue 3,2 °C. La humedad relativa fue mayor en el sur y menor en el norte y centro de la ciudad. La diferencia espacial fue 17,2 % (Figura 6.9).



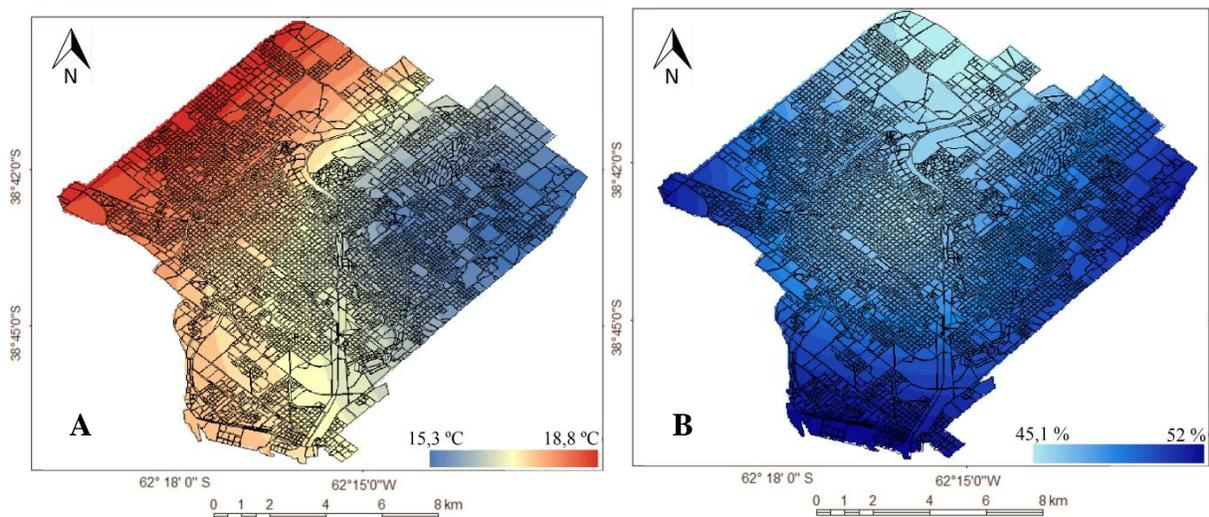
**Figura 6.9.** Distribución espacial de la temperatura media (A) y humedad relativa media (B) durante el otoño.

Las mayores temperaturas invernales se localizaron en el oeste de la ciudad, en la zona periférica y se extendieron hasta el centro. La zona costera presentó los valores intermedios y el noreste y este los menores. El gradiente térmico disminuyó en sentido oeste-este y la amplitud fue 4,2 °C. La humedad relativa fue menor en el norte y noreste de la ciudad. Los mayores valores se localizaron en el centro-este y sur. La diferencia espacial fue 22,3 % (Figura 6.10).

En la primavera se identificó a la periferia del norte, noroeste y oeste más cálida que el resto de la ciudad. El centro, la zona costera y el sudeste tuvieron los valores intermedios y el noreste y este los menores. En general, el gradiente térmico disminuyó en sentido noroeste-sudeste. La diferencia espacial fue 3,5 °C. La humedad relativa fue menor en la periferia norte hasta el centro de la ciudad y mayor en la costa, el este y el oeste de la ciudad. La diferencia espacial fue 6,9 % (Figura 6.11).



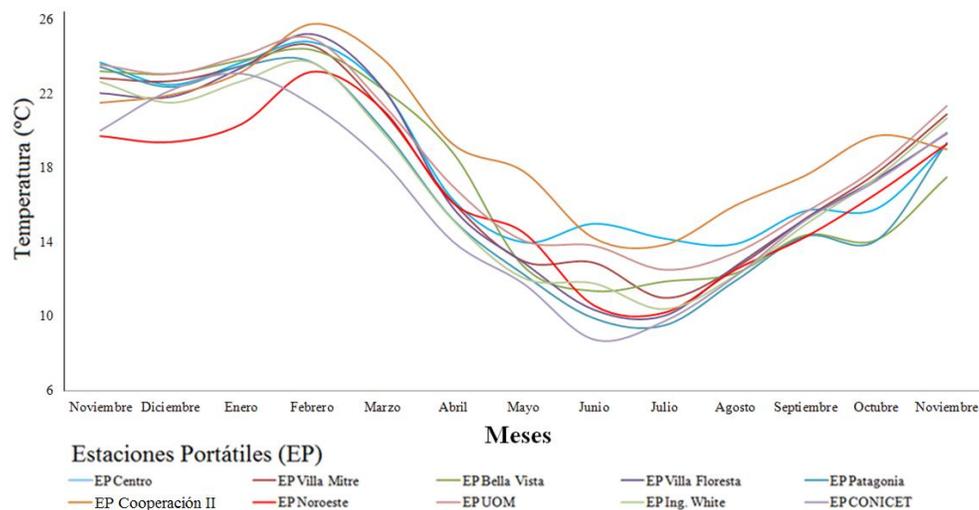
**Figura 6.10.** Distribución espacial de la temperatura media (A) y humedad relativa media (B) durante el invierno.



**Figura 6.11.** Distribución espacial de la temperatura media (A) y humedad relativa media (B) durante el primavera.

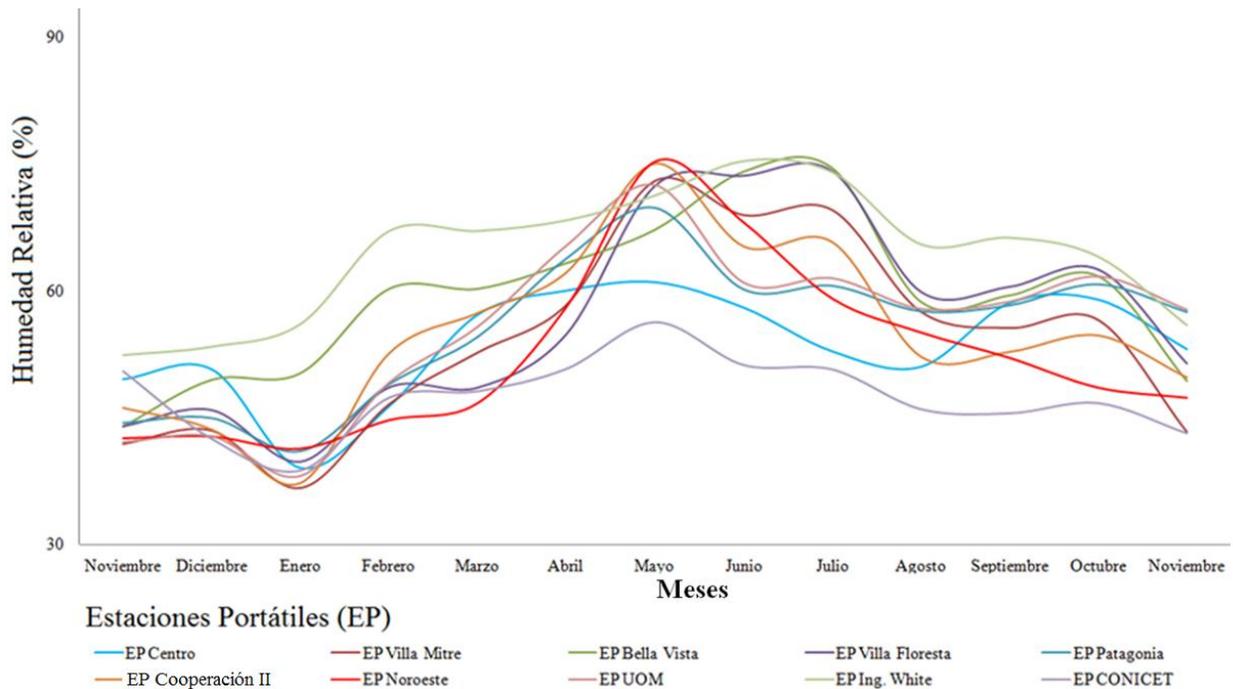
### 3.3. Análisis mensual

La temperatura del aire presentó el típico patrón anual. La máxima se midió en el mes de febrero y la mínima en junio. Sin embargo en la zona de CONICET se registró el máximo en el mes de diciembre de 2013. Los valores más elevados se obtuvieron en febrero en Villa Floresta (25,2 °C), UOM (25 °C), Centro (24,8 °C) y Villa mitre (24,6 °C). Mientras que los mínimos, calculados en junio, se calcularon en CONICET (8,8 °C) y Patagonia (9,5 °C) (Figura 6.12).



**Figura 6.12.** Temperatura mensual en las EP durante el período noviembre 2013- noviembre 2014.

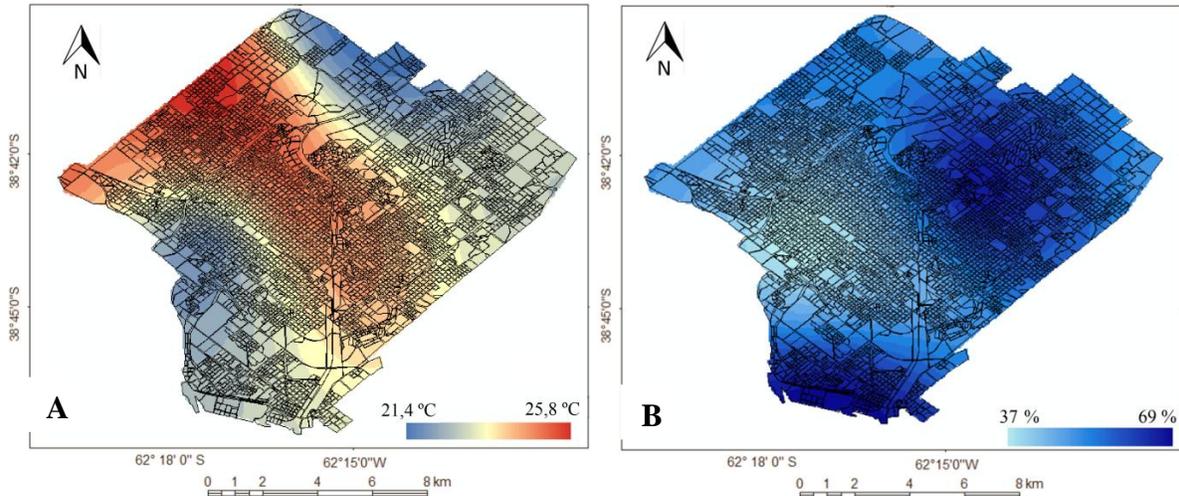
En lo referente a la humedad relativa se identificaron tres patrones: zonas secas, intermedias y húmedas. El primero de ellos fue observado en el centro y CONICET, en donde mantuvieron valores de hasta 15 % menores comparados con el resto de la ciudad. En el verano la humedad relativa osciló entre 38 y 50 %. En el otoño y en la primavera, los registros de ambas estaciones fueron inferiores en relación al resto de la ciudad. Las estaciones con un comportamiento intermedio (entre el seco y el húmedo) fueron Villa Mitre, UOM, Cooperación II, Villa Floresta y Noroeste. En ellas los mínimos valores fueron en verano y los máximos en los meses de mayo y junio. Finalmente, el patrón húmedo correspondió a Bella Vista (localizada en el Parque Independencia) e Ing. White (localizada en la zona costera). En estas zonas se registraron valores superiores al resto de la ciudad en la mayor parte del período de estudio (Figura 6.13).



**Figura 6.13.** Humedad relativa mensual en las EP durante el período noviembre 2013-noviembre 2014.

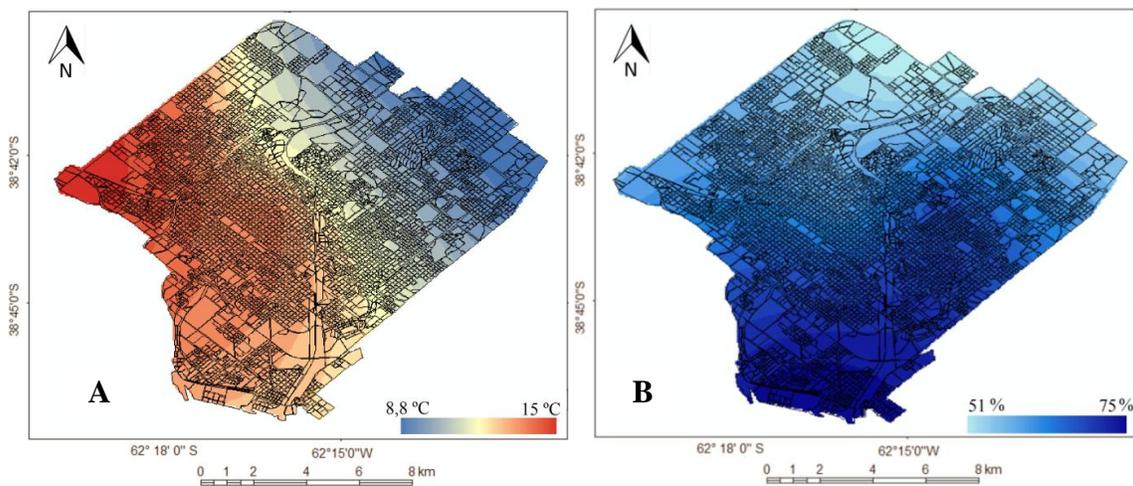
La distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa varió en los diferentes meses del año. A continuación se describen los resultados para un mes de verano y otro de invierno. La temperatura mensual en la temporada estival se presenta la figura 6.15 (correspondiente al mes de febrero). El sector más cálido fue el centro-oeste. Las temperaturas intermedias se localizaron en las márgenes de esta zona caliente y las mínimas se presentaron en

el norte y noreste y en el sur. La humedad fue menor en el centro, los mayores valores se presentaron en la zona costera y en la región del noreste, coincidente con los barrios-parque. El resto de la ciudad tuvo los valores intermedios (referidos a aquellos que se encuentran entre los máximos y los mínimos) (Figura 6.14).



**Figura 6.14.** Distribución espacial de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) media mensual del mes de febrero.

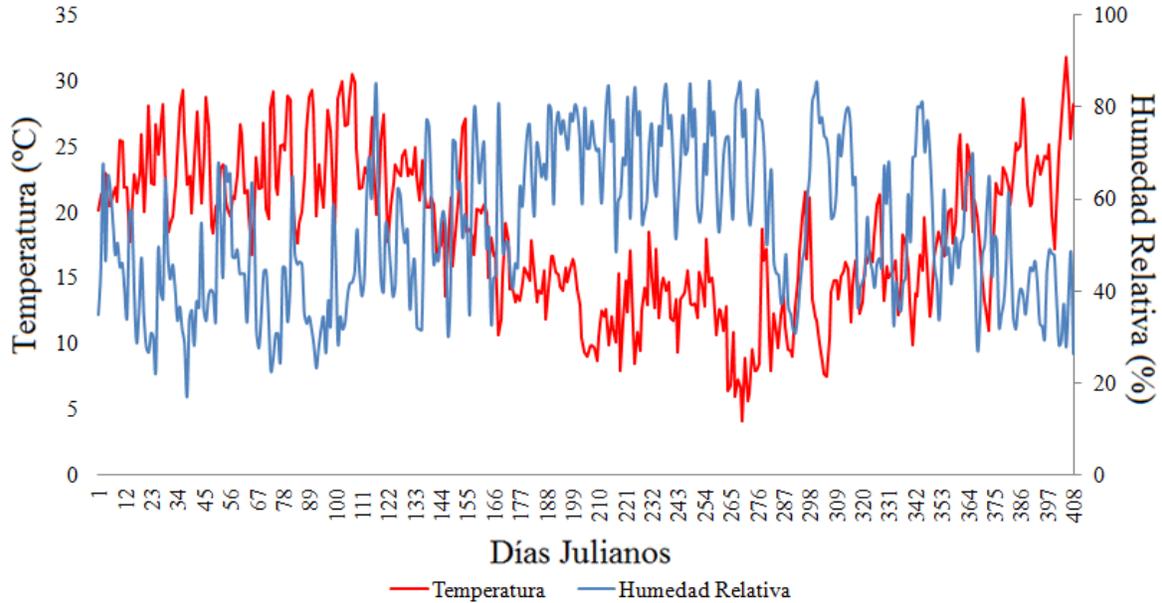
En el mes de junio, donde se registraron las mínimas temperaturas, los mayores valores se localizaron en el oeste mostrando un área más cálida que se extendió hasta el centro y el sur. Los menores valores se presentaron en el norte y noreste. La humedad relativa fue mayor en el sur de la ciudad y disminuyó hacia el norte (Figura 6.15).



**Figura 6.15.** Distribución espacial de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) media mensual del mes de junio.

### 3.4. Análisis diario

La distribución de la temperatura y la humedad relativa manifestó el patrón típico en todas las EP. A modo de ejemplo se presenta la distribución temporal de la temperatura y la humedad relativa de la EP – Centro (Figura 6.16). El resto de las estaciones se presentan en el Anexo 5.1.

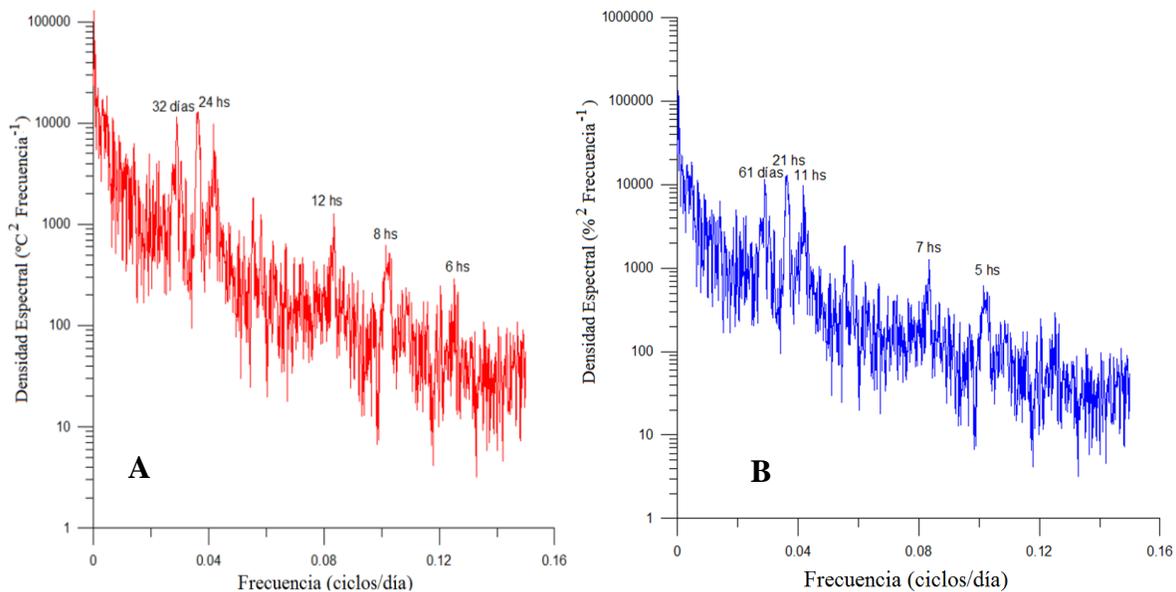


**Figura 6.16.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Centro para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.

La transformada rápida de Fourier de la temperatura del aire fue similar en todas las estaciones. A modo de ejemplo se presentan los gráficos para la EP – Centro y los del resto de las EP se encuentran en el Anexo 5.2. La máxima intensidad de energía se observó en el período mensual (32 días), diario (24 hs), semi-diurno (12 hs) y 8 y 6 hs. Eventos tales como precipitaciones, nieblas y vientos podrían generar fluctuaciones térmicas en esos últimos dos períodos (Figura 6.17).

La humedad relativa presentó un máximo en la frecuencia bimensual (60 días). Este 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 6.18). 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 y 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 generado 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 y Matielle, 2009). Además, estos factores afectan el balance de energía urbano y los patrones climáticos urbanos (Gomes *et al.*, 2012). Los procesos que se generan en las ciudades relacionados con la emisión de contaminantes modifican la transmisión de calor urbano, pudiendo generar cambios en períodos menores a 12 hs.



**Figura 6.17.** Densidad espectral de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) de la EP-Centro.

### 3.5. Análisis diurno

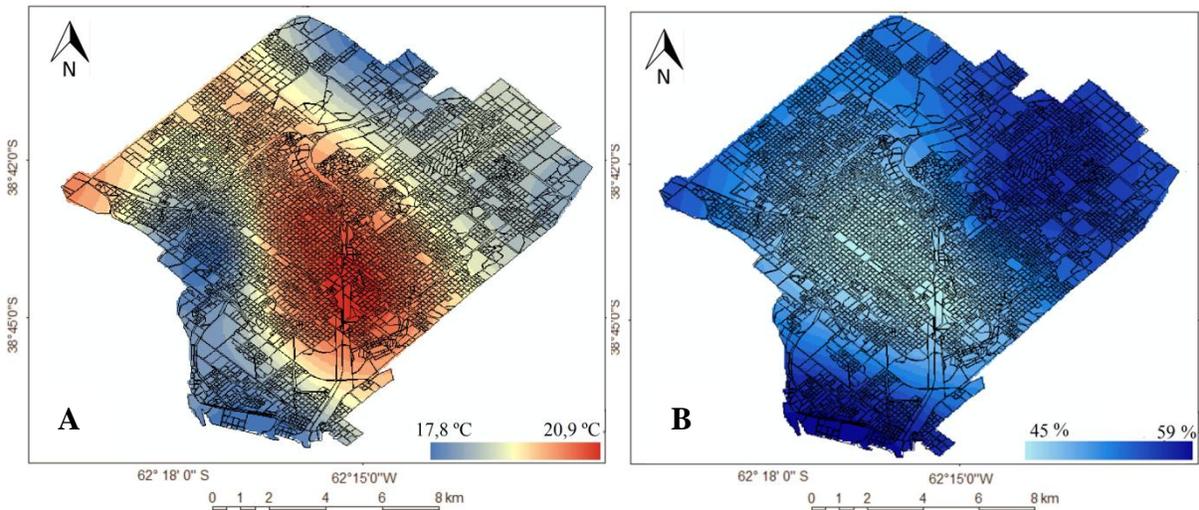
Como se mencionó anteriormente, la temperatura diurna se refiere a aquellos datos obtenidos durante las horas con luz solar. Este análisis se realizó para caracterizar la escala semidiurna discriminada con la transformada rápida de Fourier. La temperatura diurna media fue mayor en Villa Mitre (20,9 °C) y junto al centro fueron las áreas con medias superiores a los 20 °C. El menor registro se observó en Ing. White (17,8 °C) y el resto de la ciudad presentó valores medios que oscilaron entre 18 y 19 °C. El máximo valor se registró en UOM y Patagonia con

41,8 y 41 °C, respectivamente. El mínimo en Villa Floresta (-1 °C). La humedad relativa fue mayor en Ing. White (59 %) y menor en el centro (45 %). El máximo valor se midió en Patagonia (98 %) y el mínimo en Noroeste (9 %) (Tabla 6.7).

EP	Parámetro	Valor Medio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Centro	Temperatura	20,5	4,4	37,1
	Humedad Relativa	45	12	90
Villa Mitre	Temperatura	20,9	4,6	40,5
	Humedad Relativa	45	14	95
Bella Vista	Temperatura	19,1	-0,8	40,8
	Humedad Relativa	52	16	90
Villa Floresta	Temperatura	19,5	-1,0	40,8
	Humedad Relativa	48	15	97
Patagonia	Temperatura	18,7	0,3	41,0
	Humedad Relativa	51	21	98
Cooperación II	Temperatura	19,6	3,9	37,7
	Humedad Relativa	50	11	95
Noroeste	Temperatura	18	4,2	36,2
	Humedad Relativa	46,5	9	62
UOM	Temperatura	19	2,8	41,8
	Humedad Relativa	51	11	90
Ing. White	Temperatura	17,8	4,3	40,4
	Humedad Relativa	59	16	97

**Tabla 6.7.** Temperatura diurna media máxima y mínima anual para cada EP.

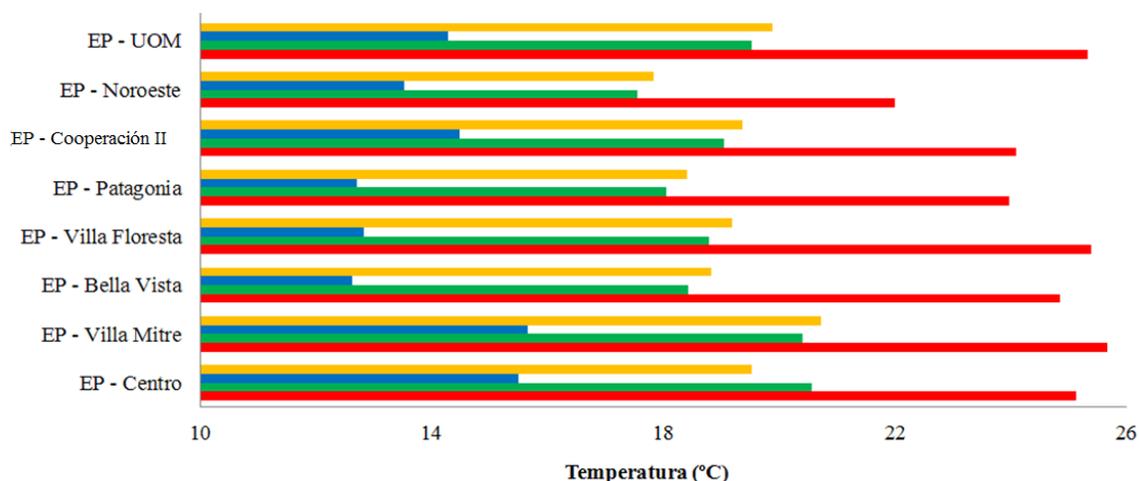
La temperatura diurna media anual fue mayor en el centro y Villa Mitre, definiendo un centro urbano con temperaturas elevadas (20,9 °C). El noroeste de la ciudad presentó los valores intermedios y el norte, noreste y sur registraron los menores registros (17,8 °C). La diferencia espacial fue 3,1 °C. 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 Patagonia y en el sur (Ing. White) con 59 %. La diferencia espacial de este parámetro fue 14 % (Figura 6.18).



**Figura 6.18.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) diurna media anual para el período de estudio.

En el verano las temperaturas fueron más frías en Noroeste e Ing. White (22 y 21,7 °C, respectivamente), intermedias en Cooperación II y Patagonia (24,1 y 24 °C, respectivamente) y cálidas en el resto de la ciudad con mediciones medias estacionales que oscilaron entre 24,9 °C (Bella Vista) y 25,7 °C (Villa Mitre). La diferencia espacial de temperatura fue 4 °C. El otoño y la primavera presentaron un comportamiento similar entre ellos. El mayor valor en otoño fue 20,6 °C (centro) y el menor 17,3 °C (Ing. White). El máximo registro de la primavera fue 20,7 °C en Villa Mitre y el mínimo 17,6 °C en Ing. White. Las diferencias térmicas espaciales fueron de 3,3 °C y 3,1 °C para otoño y primavera, respectivamente. Villa Mitre fue más cálida en invierno (15,6 °C), seguidos por el centro (15,2 °C), Cooperación II (14,5 °C) y UOM (14,2 °C). Noroeste e Ing. White presentaron valores intermedios (13,5 y 13,4 °C, respectivamente) y Patagonia (12,7 °C) y Bella Vista (12,8 °C) registraron los valores mínimos. La diferencia espacial de temperatura fue 3 °C (Figura 6.19).

La humedad relativa diurna fue mayor en Ing. White en todas las estaciones del año. Bella Vista, Patagonia y UOM presentaron valores similares entre sí. Villa Mitre fue más seca en primavera y en verano, mientras que en el otoño fue más seco el centro y en invierno Villa Floresta (Figura 6.20).



	EP - Centro	EP - Villa Mitre	EP - Bella Vista	EP - Villa Floresta	EP - Patagonia	EP - Cooperación II	EP - Noroeste	EP - UOM	EP - Ing. White
■ primavera	19,5	20,7	18,8	19,2	18,4	19,4	17,8	19,9	17,6
■ invierno	15,5	15,6	12,6	12,8	12,7	14,5	13,5	14,3	13,4
■ otoño	20,6	20,4	18,4	18,8	18,0	19,0	17,5	19,5	17,3
■ verano	25,1	25,7	24,9	25,4	24,0	24,1	22,0	25,3	21,7

**Figura 6.19.** Temperatura diurna media estacional de las EP durante el período noviembre 2013- noviembre 2014.

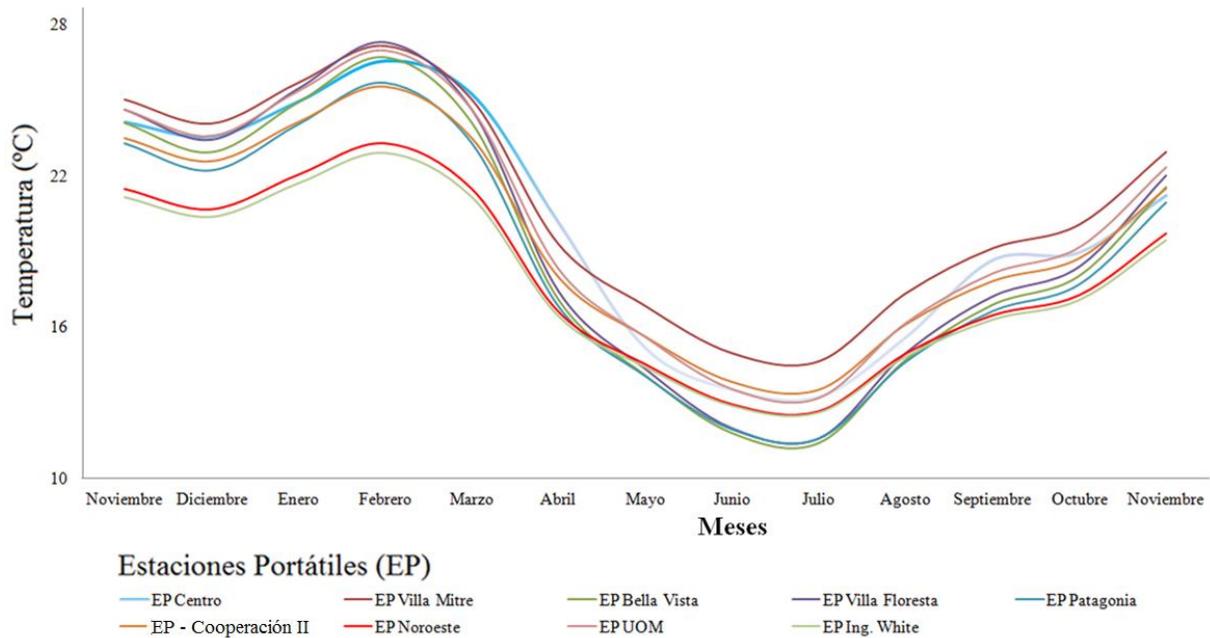


	EP - Centro	EP - Villa Mitre	EP - Bella Vista	EP - Villa Floresta	EP - Patagonia	EP - Cooperación II	EP - Noroeste	EP - UOM	EP - Ing. White
■ primavera	48	46	53	53	53	48	47	55	58
■ invierno	48	50	58	58	56	56	58	57	64
■ otoño	48	52	56	45	58	59	46	60	64
■ verano	38	35	46	38	40	40	36	39	52

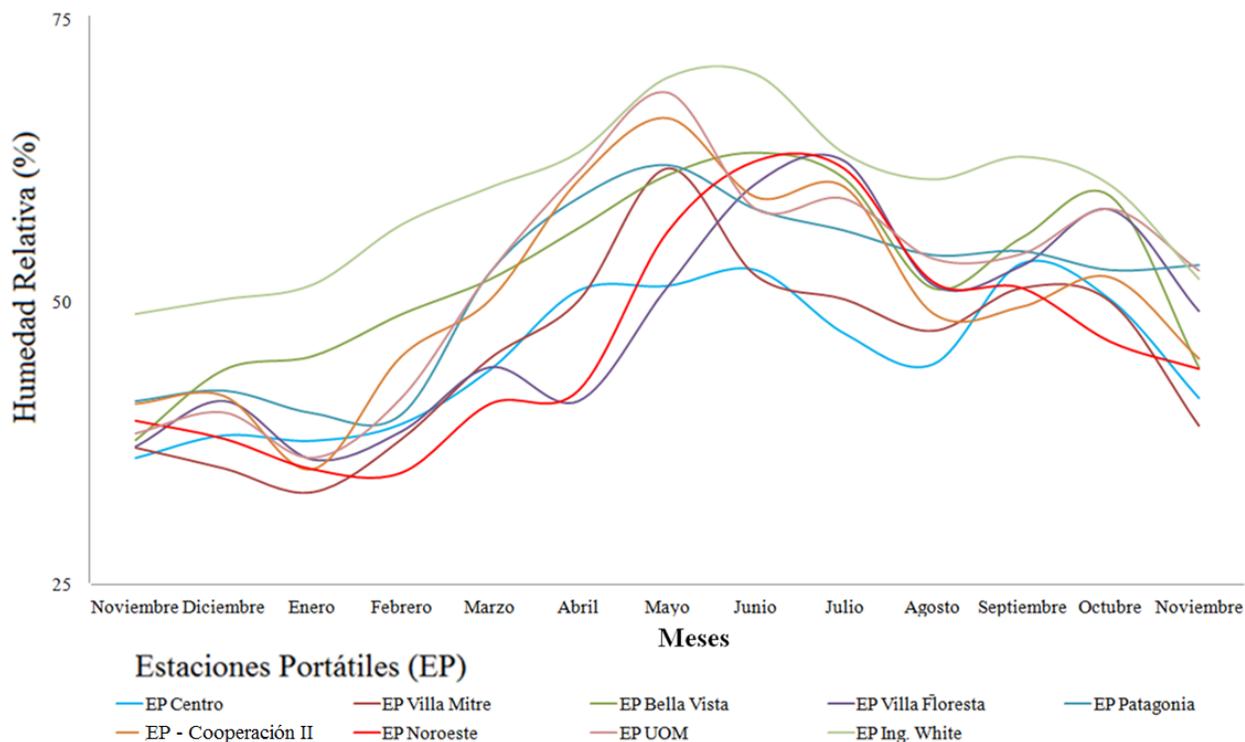
**Figura 6.20.** Humedad relativa diurna media estacional de las EP durante el período noviembre 2013- noviembre 2014.

Villa Mitre presentó mayores valores de temperatura nocturna media mensual comparado con el resto de la ciudad. Los mínimos fueron distintos según los meses considerados. Durante el período noviembre 2013 – abril 2014 los menores valores mensuales se presentaron en Noroeste, durante mayo 2014 – agosto 2014 en Ing. White y en los últimos meses en Noroeste (Figura 6.21).

La humedad relativa fue mayor en el mes de octubre debido a que ese mes fue el más lluvioso de toda la serie estudiada. Los menores valores mensuales se registraron en el centro y los mayores en Ing. White (Figura 6.22).



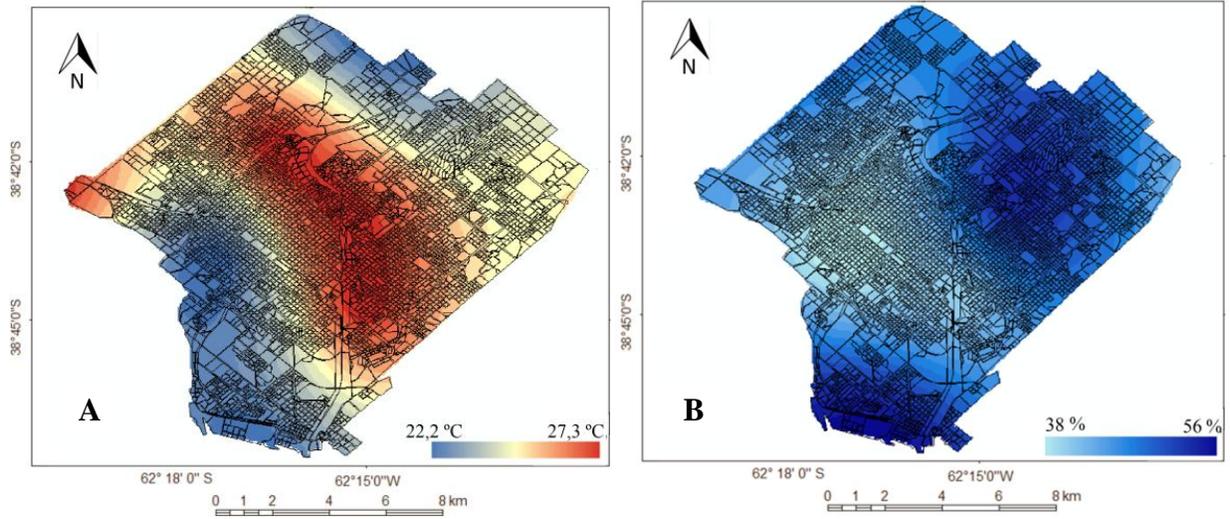
**Figura 6.21.** Temperatura diurna mensual de las EP durante el período noviembre 2013-noviembre 2014.



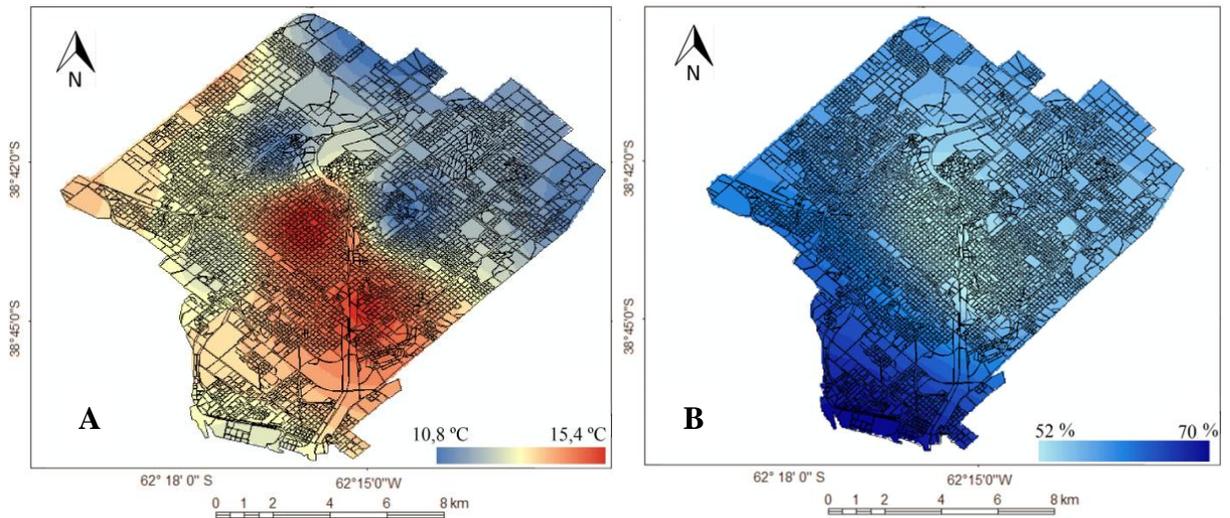
**Figura 6.22.** Humedad relativa diurna mensual de las EP durante el período noviembre 2013-noviembre 2014.

El mes de febrero presentó las mayores diferencias espaciales de la temperatura diurnas (5,1 °C) y de humedad relativa (18 %) de todo el período de estudio. El centro y centro este de la ciudad fueron las zonas más cálidas y menos húmedas. El máximo valor registrado fue 27,3 °C. Los intermedios se localizaron alrededor de la zona cálida y los menores correspondieron al norte y sur. El mínimo registro fue 22,3 °C (Figura 6.23). La humedad relativa de este mes fue mayor en el noreste y en la zona costera (56 %) y los menores en el centro (38 %) (Figura 6.24).

El mes de junio evidenció diferencias espaciales de temperatura de 4,6 °C. Los máximos se localizaron en el centro y centro-este de la ciudad (15,4 °C) y los mínimos en el norte y noreste (10,8 °C). Por otro lado los mayores valores de humedad relativa se presentaron en la costa (56 %) y los menores en el centro de la ciudad (38 %) (Figura 6.24).



**Figura 6.23.** Distribución espacial de la temperatura (A) y humedad relativa (B) diurnas mensuales del mes de febrero de 2014.



**Figura 6.24.** Distribución espacial de la temperatura (A) y humedad relativa (B) diurnas mensuales del mes de junio de 2014.

### 3.6. Análisis nocturno

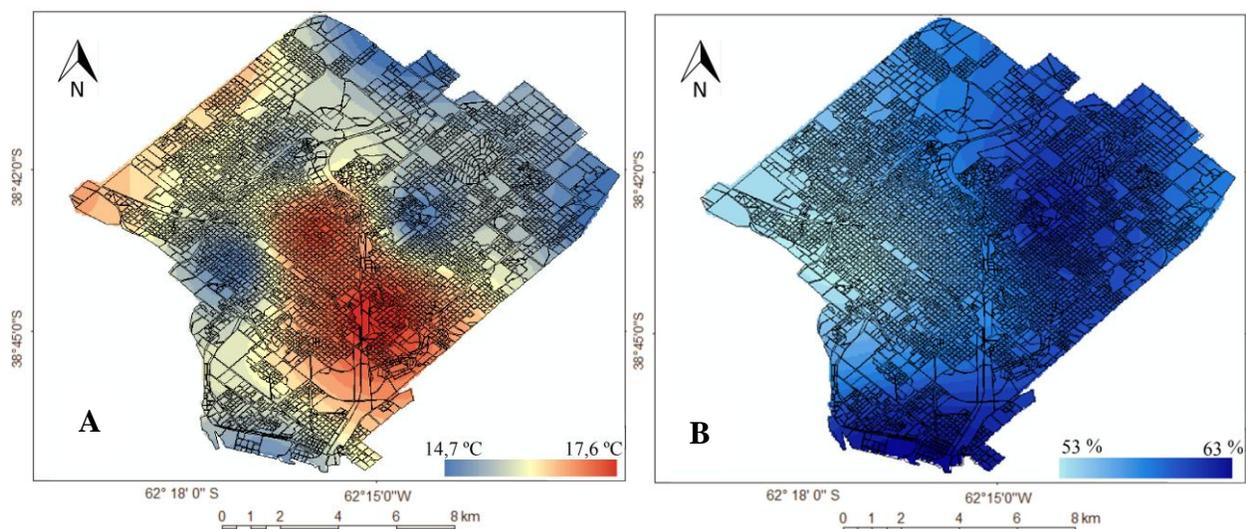
La temperatura nocturna media anual fue mayor en Villa Mitre (17,6 °C) y en el centro (17,1 °C). Cooperación II y UOM presentaron un valor medio de 16,4 °C y el resto de la ciudad tuvo

valores medios inferiores a 16 °C. Durante el verano, los máximos se registraron en Villa Mitre (37,8 °C) y en el centro (36,8 °C). En el invierno los mínimos se dieron en Cooperación II (-1,2 °C), Patagonia (-1,1 °C), Villa Floresta y Bella Vista (-1 °C). La humedad relativa media fue mayor en Ing. White (63,7 %) y Bella Vista (60,9 %). El resto de la ciudad presentó valores que oscilaron entre 50 y 60 %. El máximo se midió en Bella Vista (99 %) y el mínimo en Noroeste (12,3 %) (Tabla 6.8).

EP	Parámetro	Valor Medio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Centro	Temperatura	17,1	1,2	36,8
	Humedad Relativa	56	13	90
Villa Mitre	Temperatura	17,6	1,7	37,8
	Humedad Relativa	58	17	95
Bella Vista	Temperatura	15,3	-1	30,1
	Humedad Relativa	60	23	99
Villa Floresta	Temperatura	15,6	-1	33,2
	Humedad Relativa	58	20	97
Patagonia	Temperatura	15,2	-1,1	32,1
	Humedad Relativa	58	25	98
Cooperación II	Temperatura	16,4	-1,2	32,5
	Humedad Relativa	56	14	95
Noroeste	Temperatura	15,3	0	32,2
	Humedad Relativa	53	12	92
UOM	Temperatura	16,4	-0,2	32
	Humedad Relativa	54	15	90
Ing. White	Temperatura	15,3	0,8	31,6
	Humedad Relativa	63	42	97

**Tabla 6.8.** Temperatura nocturna media máxima y mínima anual para cada EP.

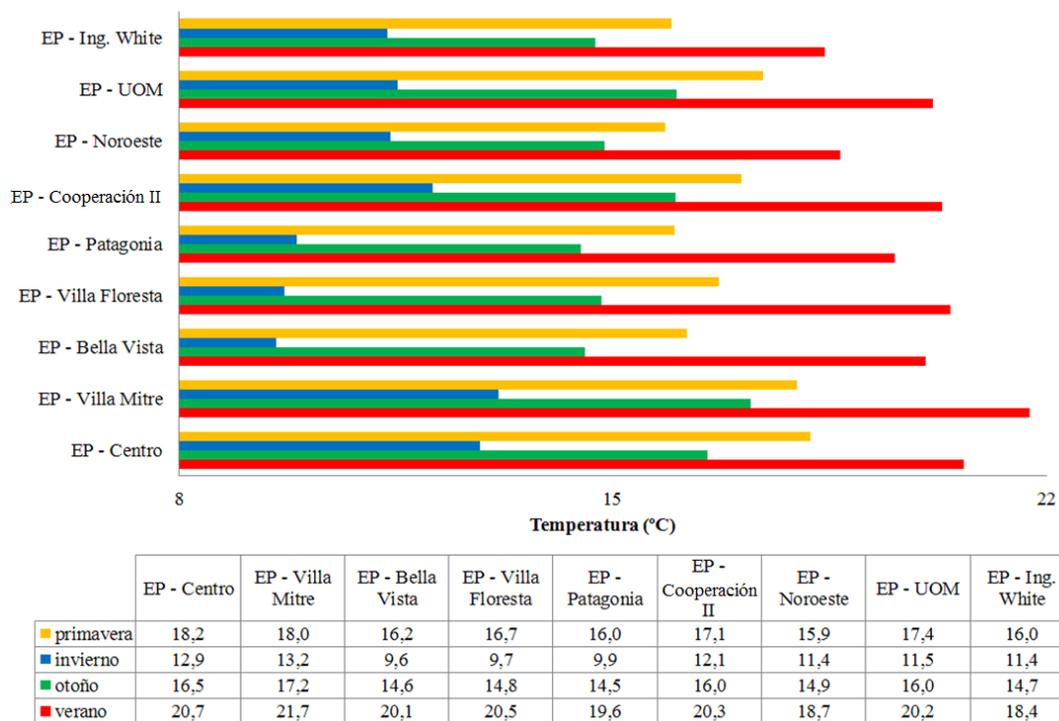
La distribución espacial de la temperatura nocturna media anual presentó los máximos en el centro y en el centro-este (17,6 °C). La periferia del oeste tuvo los valores intermedios y las regiones del norte, noreste y sur los menores (14,7 °C). La diferencia espacial fue 2,9 °C. Por otro lado, la humedad relativa nocturna media anual fue mayor en las zonas costeras y el noreste de la ciudad (63 %) y los mínimos se registraron en una zona comprendida desde el centro-este hasta el oeste (53 %). La diferencia espacial fue 10 % (Figura 6.25).



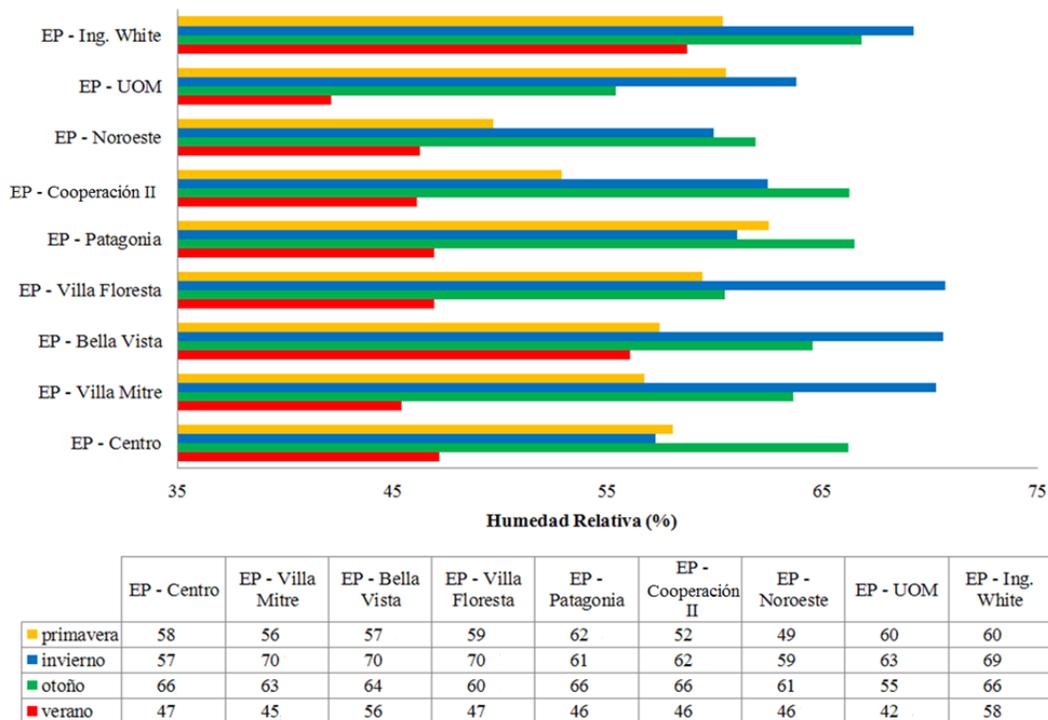
**Figura 6.25.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) nocturna media anual

Durante todas las estaciones del año Villa Mitre y el centro presentaron los mayores registros de temperatura nocturna mientras que los menores correspondieron a Ing. White y Patagonia en primavera, a Bella Vista en invierno, Patagonia en otoño y a Ing. White en verano. Las diferencias térmicas espaciales fueron mayores en invierno (3,6 °C) y verano (3,3 °C) y menores en otoño (2,6 °C) y primavera (2,2 °C) (Figura 6.26).

La humedad relativa nocturna de primavera fue mayor en Patagonia, UOM e Ing. White y menor en Cooperación II y Noroeste. En el invierno, la zona más seca fue el centro y las más húmedas Villa Mitre, Bella Vista y Villa Floresta. El otoño presentó toda la ciudad con medias nocturnas superiores a 60 %, exceptuando la zona de UOM (55 %). Finalmente, en el verano la ciudad tuvo valores inferiores a 50 % (Figura 6.27).

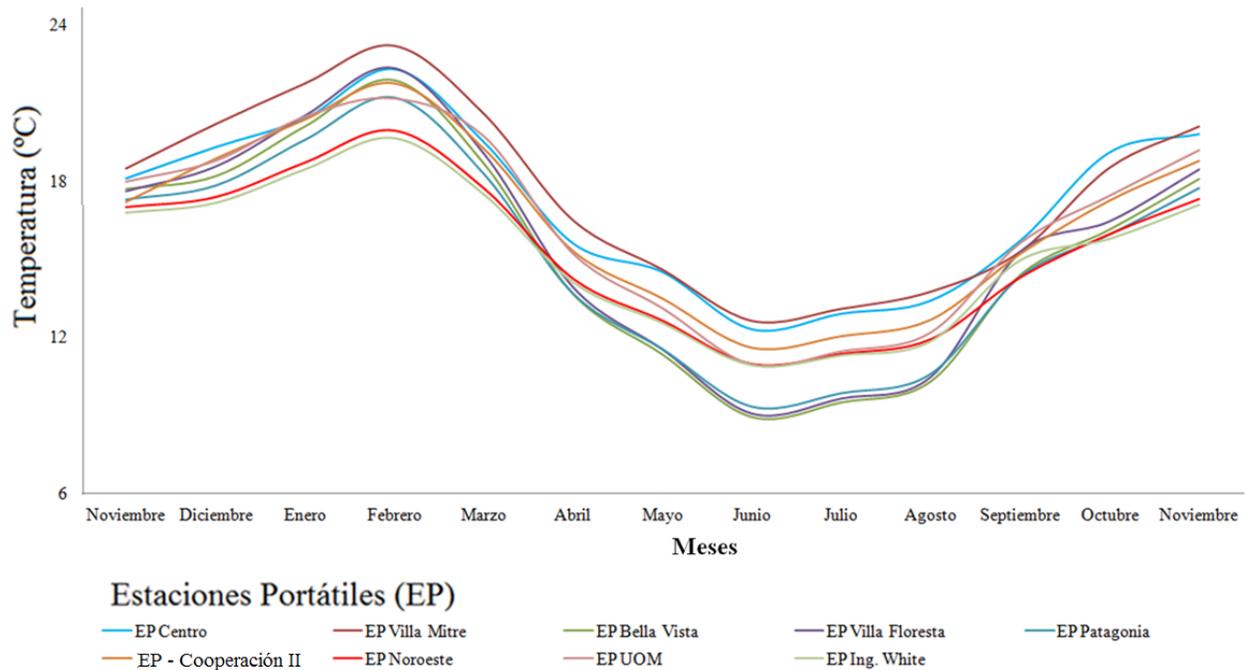


**Figura 6.26.** Temperatura nocturna estacional en las EP durante el período noviembre 2013- noviembre 2014.

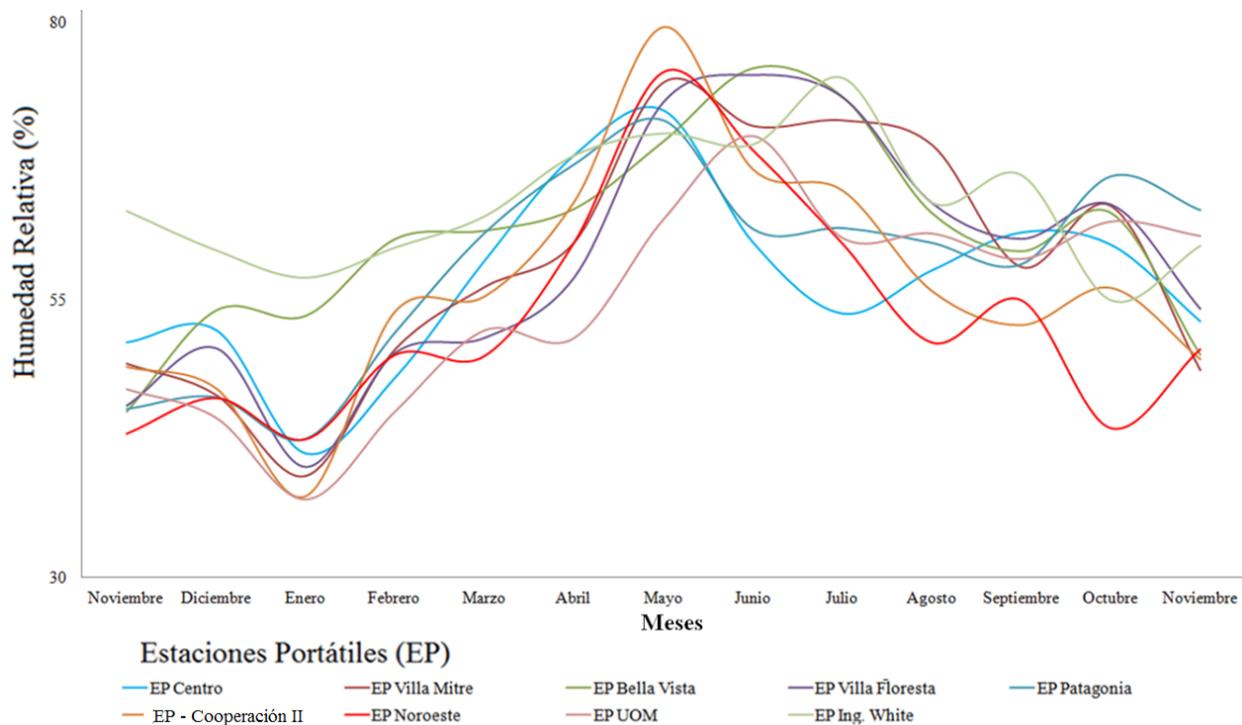


**Figura 6.27.** Humedad relativa nocturna estacional en las EP durante el período noviembre 2013- noviembre 2014.

Al comparar las temperaturas nocturnas mensuales, se observó que Villa Mitre fue la más cálida durante todo el período, exceptuando los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2014 en donde estos se presentaron en el centro. Las zonas más frías fueron Noroeste, Ing. White y Patagonia. En los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2014, Villa Floresta también presentó temperaturas bajas (Figura 6.28). Los mayores valores de humedad relativa se registraron en mayo y junio y el menor en enero. En general Ing. White y Bella Vista fueron las áreas más húmedas y Villa Mitre y el centro fueron las más secas (Figura 6.29).



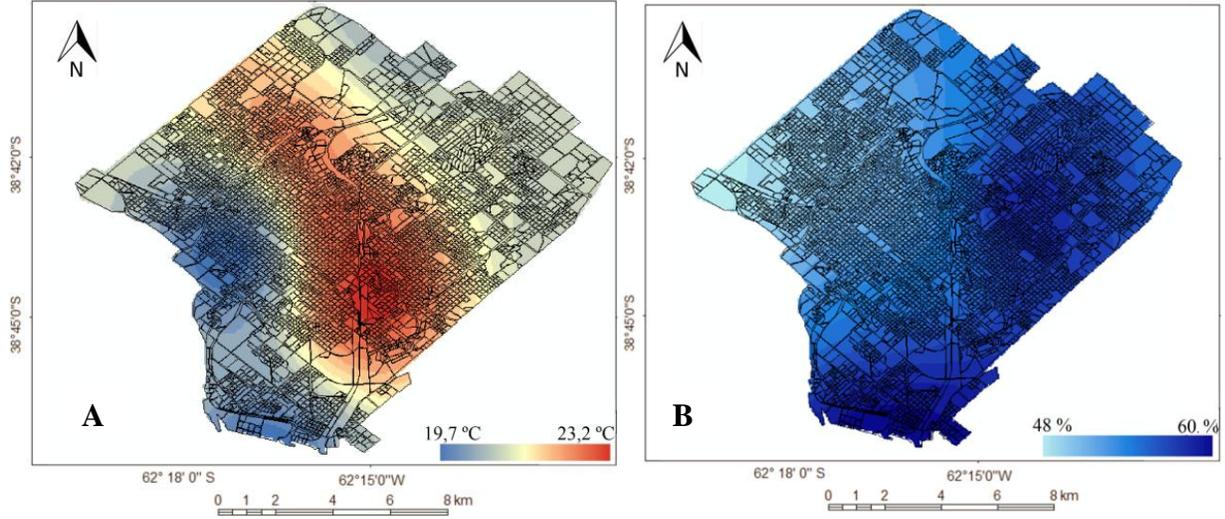
**Figura 6.28.** Temperatura nocturna mensual en las EP durante el período noviembre 2013-noviembre 2014.



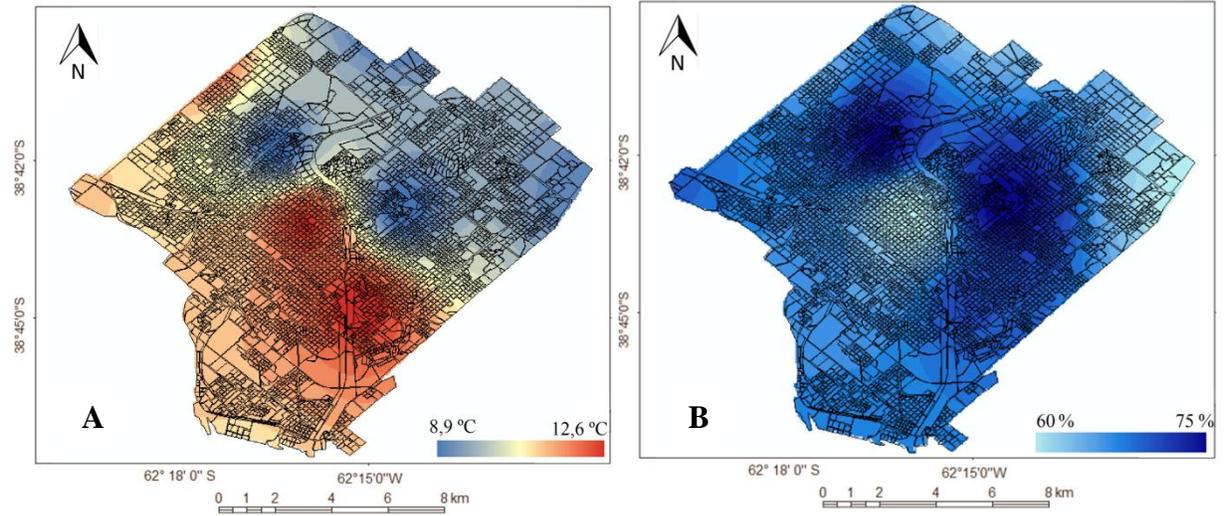
**Figura 6.29.** Humedad relativa nocturna mensual en las EP durante el período noviembre 2013-noviembre 2014.

La distribución espacial de la temperatura nocturna del mes de febrero fue mayor en el centro, el centro-este y centro-sudeste. En general, aquellas regiones que presentaron mayor densidad de edificaciones fueron las que tuvieron los mayores registros (23,2 °C). Las zonas con temperaturas intermedias correspondieron al norte y sur de esta área caliente. La diferencia térmica espacial fue 3,5 °C. Por otro lado, la humedad relativa fue menor en el centro y el oeste (48 %). Los valores intermedios se localizaron en el norte y los mayores en el sur y noreste (60 %) (Figura 6.30).

En el mes de junio el centro y el centro-este fueron cálidos (12,6 °C). Se observaron temperaturas más altas en la zona sur y en la periferia del noroeste y oeste. Los menores registros se localizaron en el noreste, correspondiendo a las áreas con mayor vegetación urbana. La diferencia espacial fue 3,7 °C. El centro fue más seco que el resto de la ciudad. Los mayores valores correspondieron al noreste y noroeste mientras que los intermedios se ubicaron en la zona costera y norte. La diferencia espacial de este parámetro fue 15 % (Figura 6.31).



**Figura 6.30.** Distribución espacial de la temperatura (A) y humedad relativa (B) nocturnas mensuales del mes de febrero de 2014.



**Figura 6.31.** Distribución espacial de la temperatura (A) y humedad relativa (B) nocturnas mensuales del mes de junio de 2014.

#### 4. Conclusiones

Se destaca la importancia de realizar estudios a escala micro-local en los espacios urbanos dado que en este capítulo se demostró que la temperatura del aire y la humedad relativa tuvieron

comportamientos diferentes según las características del espacio urbano. La zona periférica del noreste está condicionada por los vientos del cuadrante norte y por su mayor altura sobre el nivel del mar, por esta razón fue seca en todas las estaciones del año. Teniendo en cuenta esto fue posible distinguir tres patrones generales en la ciudad de Bahía Blanca:

El primero de ellos corresponde a ambientes húmedos. Engloba a las zonas de Bella Vista, Patagonia e Ing. White. Las dos primeras se caracterizaron por presentar alta densidad de arbolado urbano, edificaciones de escasa altura y menor impermeabilización del terreno. Mientras que Ing. White fue afectado por la cercanía al mar, la brisa marina, etc.

El segundo grupo corresponde a las zonas localizadas en espacios urbanos dispersos y residenciales (Cooperación II, UOM, Noroeste y Villa Floresta). Estas regiones tuvieron un patrón térmico y de humedad relativa similares entre sí. Generalmente, presentaron los valores medios intermedios.

El tercer grupo lo constituye la zona Centro y Villa Mitre. Estos barrios presentaron un alto grado de artificialización del paisaje, abundante cantidad de edificios, calles pavimentadas, intenso tránsito vehicular y escaso arbolado. En todas las escalas temporales discriminadas se observaron las mayores temperaturas medias. El análisis nocturno permitió inferir el efecto que los edificios tienen sobre este espacio dado que registraron las mayores temperaturas. En general fueron espacios secos y cálidos. Los efectos del viento sobre ambos parámetros fueron menos visibles debido a que el mismo fue modificado por los edificios en altura.

Las diferencias espaciales de temperatura fueron mayores en el invierno debido a que las áreas costeras, la periferia, las áreas con mayor vegetación localizadas en el noreste de la ciudad presentaron temperaturas frías mientras que los espacios construidos y con mayor densidad de edificación mantuvieron temperaturas cálidas durante esta estación del año. 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 general en las estaciones intermedias (otoño y primavera)

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

fuentes artificiales de calor que hacen que los habitantes del centro de la ciudad estén expuestos a temperaturas más elevadas tanto en el día como en la noche.

Por todo lo mencionado se concluye que el comportamiento térmico y de la humedad relativa en la ciudad de Bahía Blanca es diferente al analizarlo a una escala micro-espacial. Las condiciones de sitio y la rugosidad del terreno generan que estos parámetros meteorológicos sean distintos entre espacios con distintas características urbanas. Por ello, se considera que el análisis a esta escala 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.

## Capítulo 7

### EVENTOS METEOROLÓGICOS

#### 1. Introducción

Los eventos extremos son los fenómenos meteorológicos que mayor impactan sobre la sociedad y sus actividades. Los mismos forman parte de la variabilidad climática natural. En los últimos años están aumentando su frecuencia e intensidad de la misma manera que lo hace la variabilidad del clima. Por este motivo es necesario ampliar su conocimiento para prevenir sus impactos sobre la población (Müller, 2005). El calentamiento global actual produce modificaciones en los patrones climáticos. Uno de los principales cambios es el incremento de las temperaturas de las aguas oceánicas y la mayor frecuencia de eventos extremos en latitudes medias (Santiago Lastra *et al.*, 2008, García, 2014). Estos eventos meteorológicos afectan a la población cuando originan desastres naturales (Santiago Lastra *et al.*, 2008). Las inundaciones de los espacios urbanos son el ejemplo más estudiado. Esto genera la necesidad de proponer medidas para la prevención de las consecuencias que estos eventos tienen sobre la sociedad (Macias, 2007).

Los eventos extremos de temperatura, referidos a olas de calor y de frío, pueden afectar a la salud de los seres humanos, siendo los ancianos, los enfermos y los niños los grupos más vulnerables. Las altas temperaturas además aumentan el riesgo de incendios. En las ciudades se intensifican con el uso excesivo de la energía (principalmente para la refrigeración o calefacción) y el tránsito vehicular (Rusticucci y Barrucand, 2001).

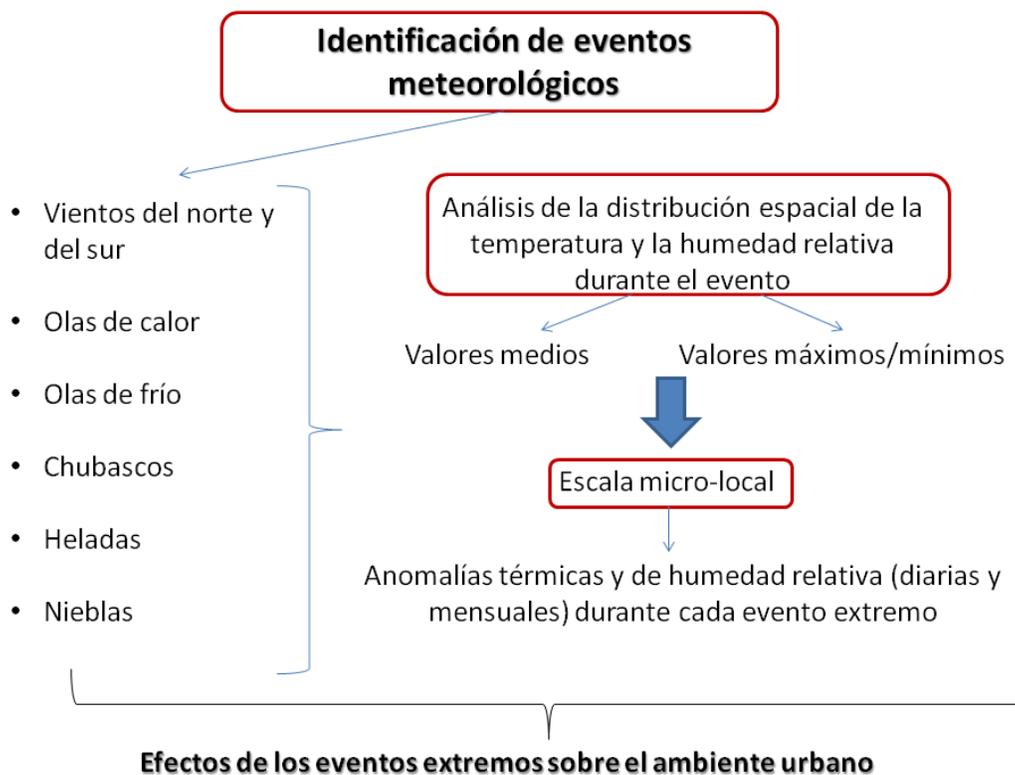
Las tormentas generan anegación, inundaciones, corte de vías de comunicación, etc. Se reconocen dos orígenes en la región de Bahía Blanca. El primero es convectivo, este se caracteriza por la presencia de fuerte insolación que calienta el aire en contacto con la superficie. El segundo es de tipo frontal. El desarrollo de estos eventos es corto en el tiempo dado que se extiende por aproximadamente dos horas (SMN, 1989; OMM, 1992; García, 2014). Por otro lado, la niebla también afecta a los espacios urbanos mayoritariamente en la visibilidad, el tránsito vehicular y aéreo (Pejenaute Goñi, 2006).

Considerando que los eventos meteorológicos extremos impactan en la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa, el objetivo de este capítulo fue analizar la forma e

intensidad de la distribución térmica y de la humedad relativa durante distintos eventos extremos y su repercusión sobre la población. Se consideraron eventos de vientos, precipitaciones, nieblas, heladas, olas de calor y olas de frío durante el período octubre 2013 – diciembre 2014. La fundamentación del mismo recae en la generación de información meteorológica necesaria para abordar un plan de manejo urbano necesario para minimizar los efectos adversos que estos eventos podrían generar sobre la ciudad, su ambiente, su infraestructura y sus habitantes.

## 2. Metodología

La metodología aplicada en este capítulo se resume en la figura 7.1. La misma se basó en la identificación de eventos meteorológicos que ocurrieron durante el período de medición utilizando la información de las Estaciones Portátiles (Cap. 5). Posteriormente se analizó la distribución espacial de la temperatura media, máxima o mínima durante cada evento. Además se estudiaron las anomalías de temperatura y humedad relativa durante estos eventos a escala micro-local para finalmente describir los impactos que tienen sobre el ambiente urbano (Figura 7.1).



**Figura 7.1.** Esquema metodológico utilizado en el capítulo 7.

Se identificaron los siguientes eventos meteorológicos durante el período de medición:

**Vientos fuertes del norte y del sur.** El viento es un factor importante para el estudio de la isla de calor en las ciudades. En las mismas existe una velocidad crítica por encima de la cual no se generaría la ICU (Cap. 3). Para la ciudad de Bahía Blanca esa velocidad es de  $30,2 \text{ km h}^{-1}$  (Cap. 3). Se consideraron dos eventos por presentar características diferentes: vientos provenientes del norte (cálido y seco) y del sur (húmedo y frío) (Cap. 1).

**Olas de calor.** Es un estado de tiempo atmosférico que se caracteriza por presentar elevadas temperaturas y humedad relativa y su extensión e intensidad son diversas pero en general dura varios días sucesivos. En Argentina este fenómeno es una amenaza natural que afecta a la mayor parte del país y puede generar desastres ya que pueden perjudicar la salud de la población, la infraestructura urbana, la accesibilidad a los recursos naturales, al ambiente y a las actividades económicas y turísticas que se desarrollan en un espacio (Ministerio de Salud de Argentina, 2015).

**Olas de frío.** Este evento junto con la ola de calor se caracteriza por presentar una alteración del ritmo térmico considerado como normal, presentando temperaturas inferiores al mismo. En general presentan efectos negativos para la población, la agricultura, la ganadería y el medio natural (Cuadrat Prats *et al.*, 2015).

**Chubascos o lluvias torrenciales.** Los chubascos se caracterizan por ser un tipo de precipitación abundante de gran intensidad y de corta duración. En general impactan sobre un área reducida dado que se generan en su mayoría por una corriente convectiva de aire y normalmente es acompañado por actividad eléctrica (SMN, 1989; OMM, 1992; García, 2014).

**Heladas.** Las heladas son fenómenos meteorológicos que ocurren cuando la temperatura del aire es igual o menor a  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Las mismas afectan a las actividades económicas, la vegetación urbana y las actividades al aire libre dado que generan en muchos casos sensación de desconfort por enfriamiento (Seluchi, 1992; Müller, 2005; Cogliati *et al.*, 2006).

**Nieblas.** Son los eventos conocidos como precipitaciones indirectas. Se originan principalmente por la presencia de vapor de agua en superficie proveniente de los espacios verdes o sistemas sinópticos en zonas costeras (Barradas, 1983). Se presentan cuando la humedad relativa es mayor al 95 % durante un período de tiempo prolongado y su duración puede abarcar varias horas e incluso días (Pejenaute Goñi, 2006).

Los eventos meteorológicos se identificaron a partir del análisis de las mediciones provenientes de la estación perteneciente al CERZOS (EP – CONICET, Cap. 5) y de mapas sinópticos de Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina). Se estudió la temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y presión atmosférica. Con ello se identificaron: *Vientos intensos del norte* el 22 de noviembre de 2013 y *del sur* el 12 de abril de 2014; *Olas de calor de verano* (17 al 19 de enero de 2014) y *de invierno* (17 al 20 de agosto de 2014); *Olas de frío en verano* (25 al 27 de febrero de 2014), *Heladas* (26 y 27 de julio de 2014), *Chubascos* (24 de octubre de 2014) y *Nieblas* (5 y 6 de julio de 2014).

El análisis de los eventos extremos se realizó en dos escalas. Primero se determinó la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa media de cada evento. Para ello se consideró la información obtenida con las Estaciones Portátiles (Cap. 5). Además se analizó la distribución espacial de ambos parámetros durante el horario de la máxima temperatura en olas de calor, la mínima en la ola de frío, la máxima ráfaga en los eventos de vientos intensos tanto del norte como del sur y se establecieron las áreas en donde se presentaron heladas y nieblas. Para ello se consideraron los valores de temperatura del aire menor o igual a 0 °C para las primeras y los valores de humedad relativa superiores a 95 % para las segundas. La representación espacial de los resultados se realizó con el Software ArcGIS 9.3 mediante el método de interpolación Kriging Ordinario de tipo esférico.

La escala micro-local de análisis consideró los resultados obtenidos por cada una de las EP. Se establecieron distintos umbrales de temperatura y humedad relativa. Al no haber un criterio uniforme para la definición de las olas de calor y las de frío, en general algunos autores proponen relacionar el período térmico del evento con un umbral determinado (Prieto *et al.*, 2004; Díaz *et al.*, 2005; Cony *et al.*, 2008 y 2010; Cuadrat Prats *et al.*, 2015). Los mismos fueron: medias mensuales y diarias (día anterior y posterior al desarrollo de cada evento). Se realizó la diferencia entre las medias de todos los eventos con dichos umbrales. Las mismas se definieron como anomalías entre la temperatura media (diaria o mensual) y la registrada durante los distintos eventos meteorológicos. Esta escala permitió estudiar los impactos y la intensidad de los distintos eventos en los diferentes sectores de la ciudad.

### **3. Resultados**

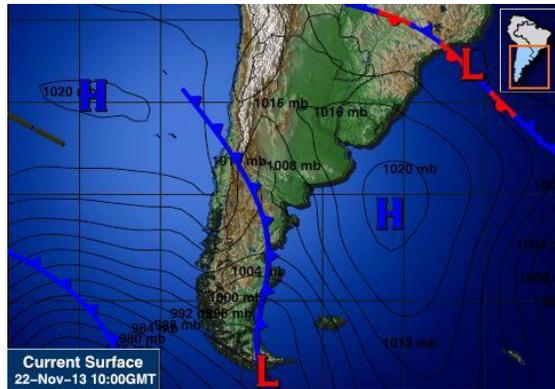
#### **3.1. Escala local**

##### **3.1.1. Vientos intensos del norte y del sur**

Los vientos adquieren importancia dado que son un elemento fundamental para conocer el clima de las ciudades costeras. Se prevé que en las última décadas los mismos sean más intensos provocando consigo tormentas severas que puedan dañar la infraestructura urbana y generar en algunos casos posibles inundaciones (Reguero *et al.*, 2015). El viento es un factor importante para dispersar los contaminantes del aire que se producen en la ciudad principalmente como consecuencia del tránsito y las actividades industriales (Cañada Martínez *et al.*, 1999). Las zonas altamente edificadas interrumpen el desplazamiento de los vientos generando que los contaminantes no puedan dispersarse de la misma manera que en aquellos sectores en los que las edificaciones tienen menor altura. Esto es así porque se generan torbellinos en torno a los edificios que impiden la circulación del viento (Llanque Chana, 2003).

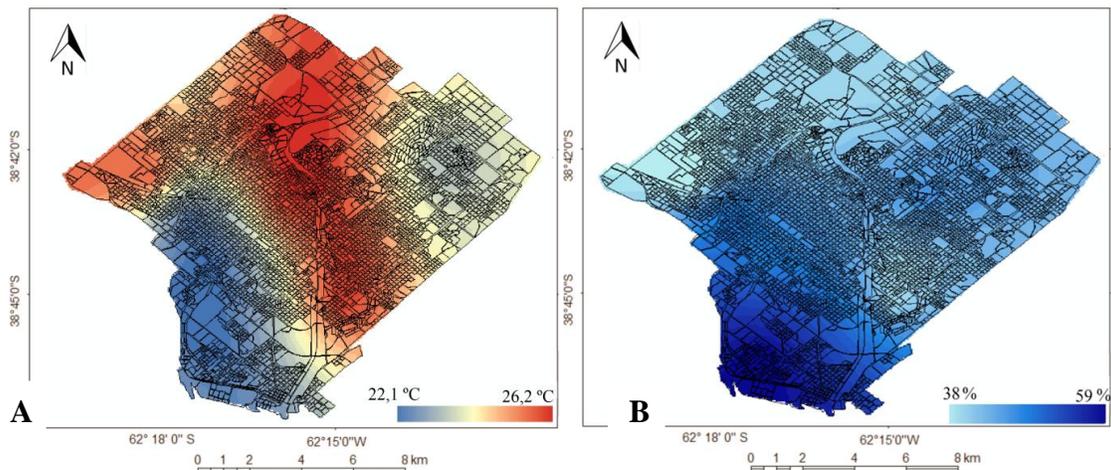
Por otro lado, los vientos tienen la función de refrescar las temperaturas generando, en algunas situaciones de verano, mayor confortabilidad para los habitantes (Llanque Chana, 2003). Durante el invierno, las barreras vegetales para reducir los eventos extremos de viento adquieren importancia dado que permiten mantener las condiciones de temperatura en el interior de la ciudad y evitan las pérdidas energéticas, favoreciendo de esta manera al confort de los ciudadanos (Chanampa *et al.*, 2009).

El 22 de noviembre de 2013 soplaron vientos del sector norte en la ciudad de Bahía Blanca. La situación sinóptica de ese día estuvo caracterizada por un centro de alta presión (1030 hPa) sobre las costas de la provincia de Buenos Aires que generó la circulación de vientos del norte. Hubo nubosidad debido a una situación de frente frío al sur del área de estudio (Figura 7.2). La velocidad media fue  $19 \text{ km h}^{-1}$ , con una media máxima  $43 \text{ km h}^{-1}$ . La dirección predominante del viento fue NNW (47 %) y en menor medida NW (33 %). Las calmas (6 %) se presentaron desde las 00:30 hasta las 2:00. La presión atmosférica diaria fue 1004 hPa y la ráfaga máxima se presentó a las 14:30 hs con una velocidad de  $68 \text{ km h}^{-1}$ .

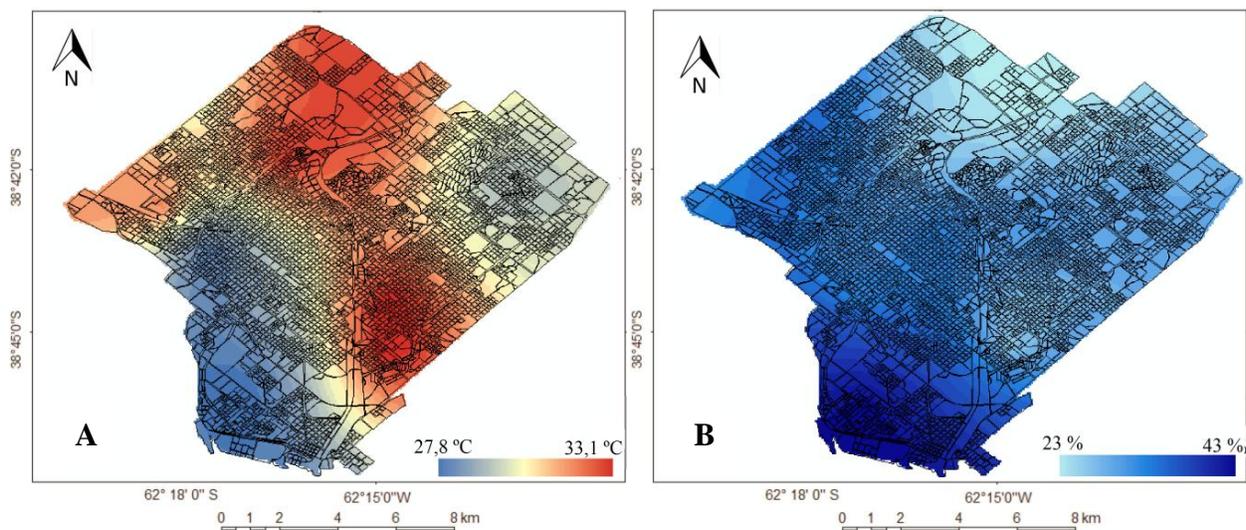


**Figura 7.2.** Situación sinóptica del día 22 de noviembre de 2013. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)

La distribución espacial de la temperatura media del aire estuvo relacionada con la dirección del viento. Las áreas calientes se extendieron en sentido noroeste-sudeste y las frías en el sudoeste y el sur. La humedad relativa presentó una situación similar. Los menores valores se registraron en el noroeste e incrementaron hacia el sudeste. Esta situación permite afirmar que los vientos tienen un fuerte impacto en ambos parámetros dado que al ser secos y fuertes durante este día modificaron la distribución espacial de ambos parámetros. La diferencia espacial térmica fue de 4,1 °C y la de humedad de 20 % (Figura 7.3). Una situación similar se presentó al analizar la distribución de ambos parámetros durante la máxima ráfaga (dato obtenido de la EP – CONICET). Durante la misma, la intensidad de la Isla de Calor Urbana fue 5,3 °C (Figura 7.4), por lo que podría inferirse que la Velocidad Crítica del viento debería replantearse considerando las distintas rugosidades del paisaje urbano.

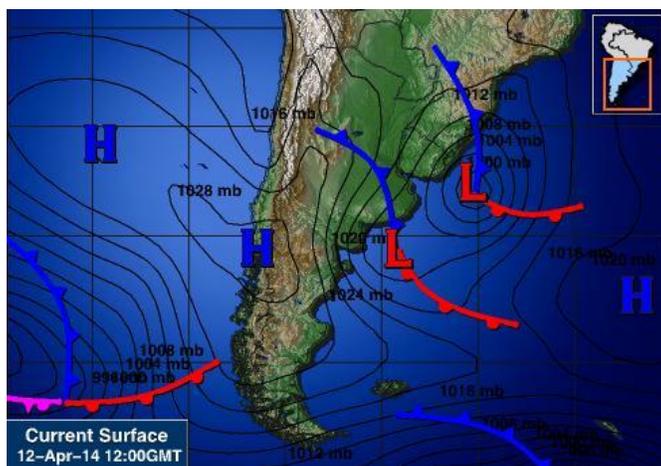


**Figura 7.3.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) media diaria del día 22 de noviembre de 2013.



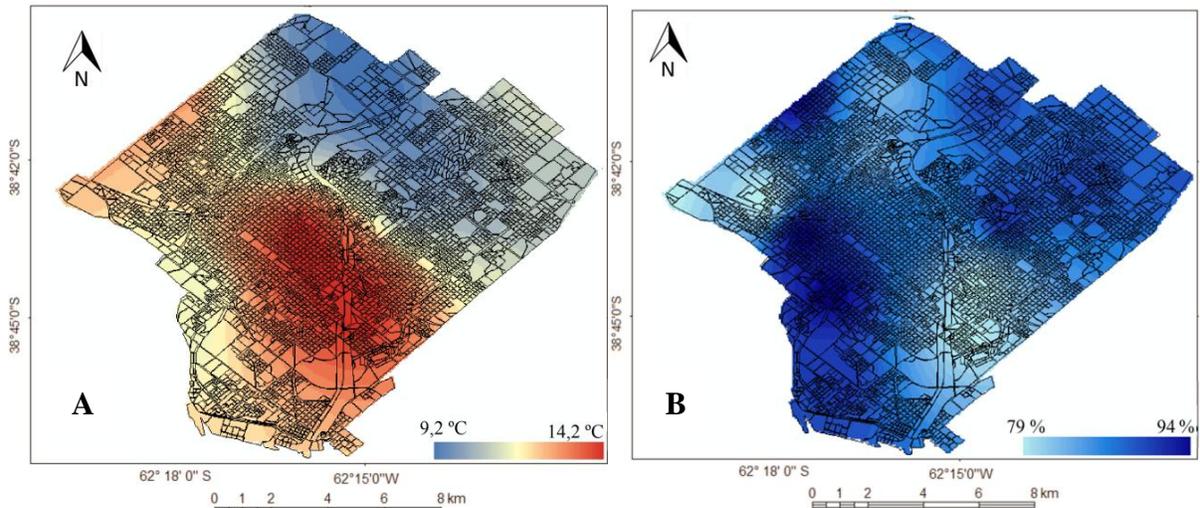
**Figura 7.4.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) durante la máxima velocidad del viento del día 22 de noviembre de 2013.

Por otro lado, el 12 de abril de 2014 soplaron vientos del sur sobre la ciudad de Bahía Blanca. En este día, la situación sinóptica indicó la presencia de dos centros de baja presión. Uno localizado en las costas de la provincia de Buenos Aires (1002 hPa) y otro sobre las costas de Uruguay (1008 hPa) (Figura 7.5). Esta situación generó vientos fuertes del sur y sudoeste. La ráfaga máxima del día se presentó a las 18 hs con una velocidad de  $66 \text{ km h}^{-1}$ . Durante este evento hubo nubosidad variable. La presión atmosférica media diaria fue 1009 hPa. El viento predominante fue del sudoeste (92 %) y en menor medida del oeste (8 %) y no se registraron calmas.

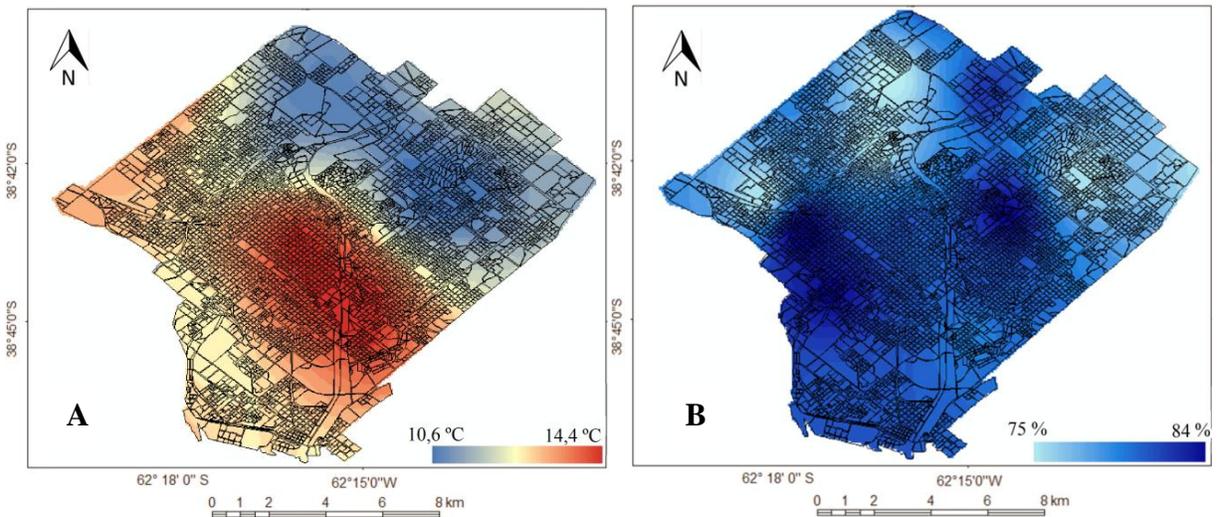


**Figura 7.5.** Situación sinóptica del día 12 de abril de 2014. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)

La temperatura del aire durante este evento fue mayor en el centro de la ciudad y menor en la periferia. La zona costera tuvo temperaturas intermedias (con valores comprendidos entre los máximos y los mínimos) y el noroeste los menores registros. La diferencia térmica espacial fue 5 °C y de la humedad 15 % (Figura 7.6). Se observó que al horario de la máxima ráfaga los mayores valores de humedad relativa se localizaron en el centro y centro-oeste. En ambas situaciones la ciudad fue más húmeda que su periferia (Figura 7.7).



**Figura 7.6.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) media diaria del día 12 de abril de 2014.



**Figura 7.7.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) durante la máxima velocidad del viento del día 12 de abril de 2014.

### 3.1.2. Olas de calor

Las olas de calor tienen un impacto negativo sobre la salud de la población. Hay evidencias que durante un evento de este tipo se registra un mayor número de pacientes de edad superior a 70 años en los hospitales. Otro grupo en riesgo son los enfermos. Las olas de calor intensifican el malestar y pueden generar complicaciones graves en la salud de aquellas personas que sufren problemas cardiovasculares, respiratorios, renales y obesidad. Por ello es necesario tener un sistema de protección para prevenir los efectos adversos de estos eventos extremos (Villamil Cajoto *et al.*, 2005). Las temperaturas más elevadas generan un incremento de las enfermedades. Por ejemplo se registró un aumento del 2,6 % de las diarreas y un 7 % de la malaria (Junyer, 2010). Además genera que la contaminación se disipe con mayor dificultad, haciendo que las zonas con más construcciones sean vulnerables ante estos eventos. Las olas de calor de invierno podrían intensificar las enfermedades infecciosas en la población siendo los niños y los ancianos los grupos con más riesgo (Junyer, 2010). Además pueden generar efectos directos como la mortalidad y la morbilidad e indirectos como infecciones tales como dengue, fiebre amarilla, gripes, enfermedades del sistema respiratorio, etc. (García-Piña *et al.*, 2008; Calvo, 2008).

Con temperaturas extremas de calor se desarrollan tres patologías: golpe de calor, agotamiento por calor y calambres musculares. Los tres generan mortandad de la población hasta tres días posterior al evento. Sin embargo las olas de calor no sólo ocasionan fallecimiento sino que también producen otras patologías (Naughton *et al.*, 2002). Todos estos efectos no sólo dependen de las temperaturas elevadas sino de la duración de los mismos (García Palomares y Alberdi, 2005).

En el período de estudio se identificó una ola de calor estival los días 17, 18 y 19 de enero de 2014. Una línea de inestabilidad (1002 hPa) se desplazó sobre la ciudad el 17 de enero. En los días subsiguientes las condiciones de escaso viento o viento suave del norte generado por un sistema de alta presión representaron las condiciones sinópticas de la ciudad (Figuras 7.8 y 7.9) Durante este evento predominaron las calmas. La velocidad media del viento fue de 9 km h<sup>-1</sup> provenientes del este-sudeste y del noroeste. La temperatura media del día 17 de enero fue 31,5 °C, el 18 de enero fue 27,7 °C y el 19, 28,8 °C. Las máximas temperaturas alcanzaron los 40 °C (17 de enero, desde 14:00-15:00 hs), 37,8 °C (18 de enero, 13:00-14:00 hs) y 39,1 °C (19 de

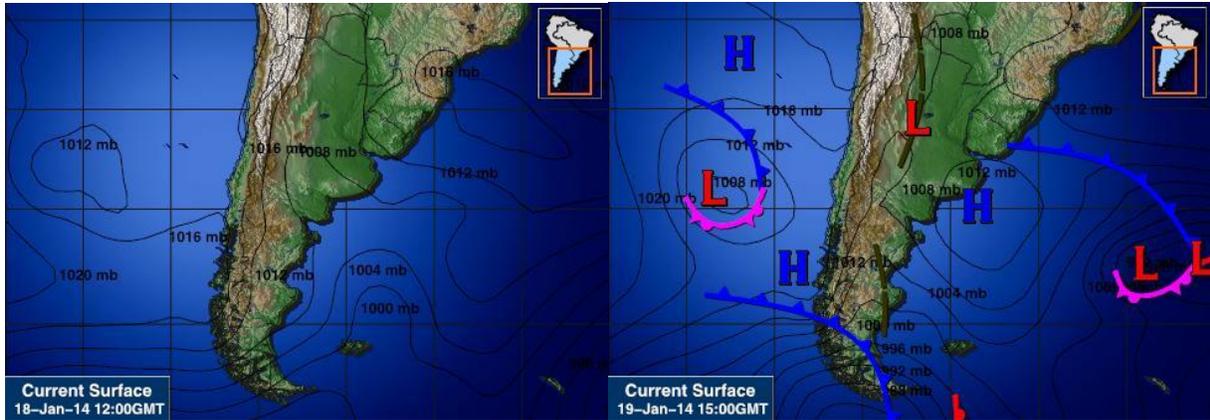
enero, 17:00-18:00 hs). Durante este evento se evidenció un aumento de 6 °C con respecto al momento antes de que se presente la ola de calor.

La región urbana más cálida se extendió en la dirección sudeste-sudoeste, coincidiendo con la dirección del viento. La máxima temperatura media registrada fue 31,2 °C en Villa Mitre. Las mínimas (en Ing. White y CONICET) fueron de 28,8 °C y se localizaron en las periferias de la ciudad. La humedad relativa fue menor en aquellos lugares en donde la temperatura fue mayor (Figura 7.10). Considerando los valores medios, la diferencia térmica espacial fue 2,4 °C y la de la humedad 12 %, presentándose una ciudad más seca que su periferia (Figura 7.10).

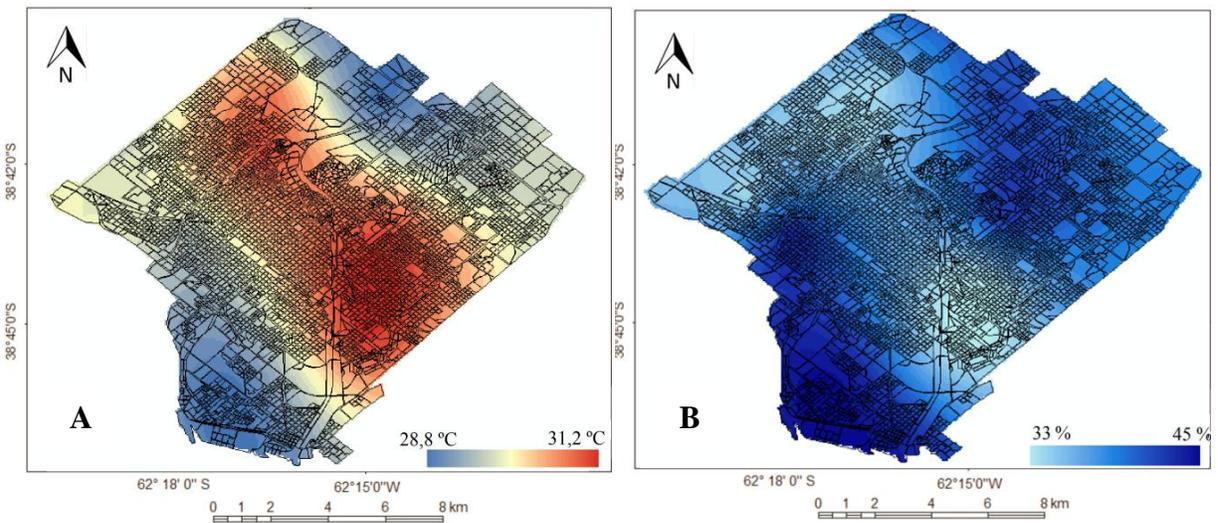
Durante la máxima temperatura, se observó que la periferia del noroeste y oeste fueron más cálidas que el resto de la ciudad. Las temperaturas intermedias se presentaron en el centro noreste, definiendo un área cálida. Las menores temperaturas se midieron en el centro de la ciudad y la zona portuaria. La humedad relativa fue mayor en el centro urbano. Los registros intermedios se presentaron en la zona costera y el noreste y los menores en el noroeste y oeste (Figura 7.11). La diferencia térmica espacial fue 4,2 °C y la de humedad fue 7 %, presentando un centro urbano más húmedo que su periferia.



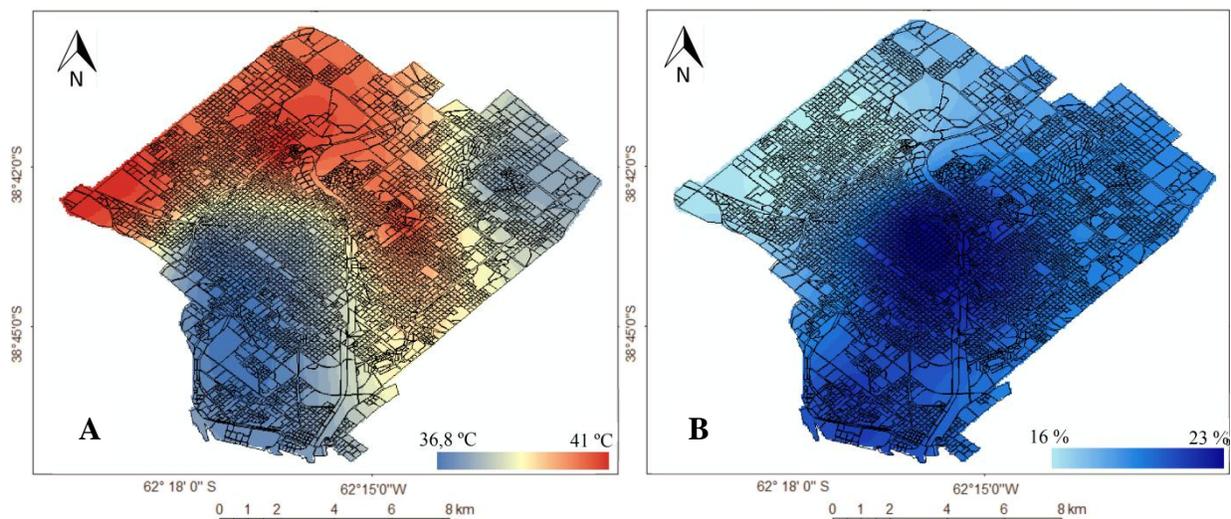
**Figura 7.8.** Situación sinóptica del 17 de enero de 2014. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)



**Figura 7.9.** Situación sinóptica del 18 y 19 de enero de 2014. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)



**Figura 7.10.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) media durante la ola de calor de verano.



**Figura 7.11.** Distribución de la temperatura máxima (A) y la humedad relativa (B) durante la ola de calor de verano.

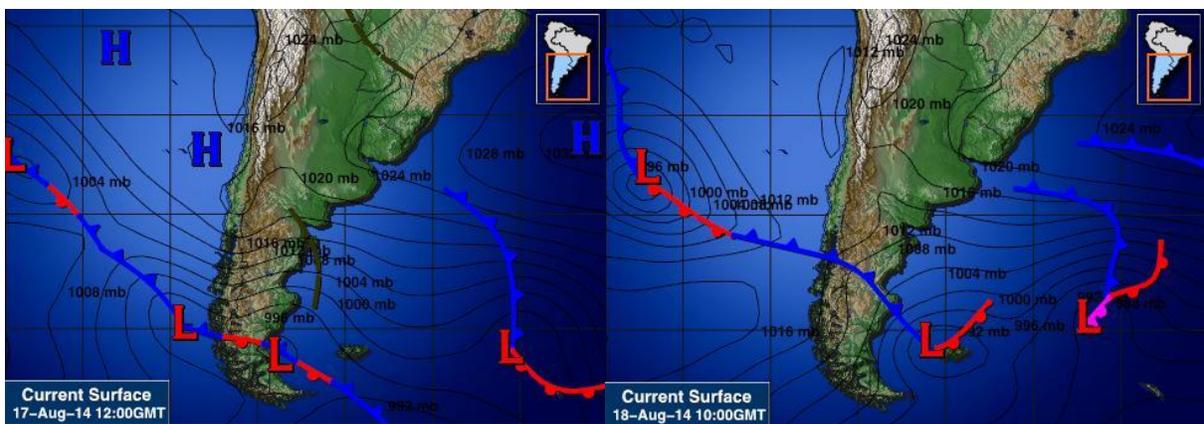
Otro evento de ola de calor se registró en la estación invernal. El mismo se extendió desde el 17 al 20 de agosto de 2014. La situación sinóptica del 17 de agosto estuvo caracterizado por la acción de dos Anticiclones localizados en los océanos Atlántico y Pacífico, luego una línea de inestabilidad se convirtió en un frente estacionario. Esta situación generó en la ciudad de Bahía Blanca vientos del oeste de escasa velocidad y escasa nubosidad. Esta situación fue similar el 18 de agosto. El 19 se caracterizó por la presencia de un frente estacionario y se observó un centro de alta presión en el sur de la región donde se localiza la ciudad. El 20 de agosto el centro de alta presión del Océano Atlántico generó una circulación del norte (Figuras 7.12 y 7.13). La temperatura urbana durante este evento se incremento 3,6 °C.

La velocidad media del viento fue  $13 \text{ km h}^{-1}$  con direcciones que rotaron desde el este al noroeste. La temperatura media del evento fue 17,9 °C y la máxima 27,2 °C. La presión atmosférica fue normal (1012,8 hPa), oscilando entre 1006 y 1016 hPa y no se presentaron nubes.

La distribución espacial de la temperatura urbana presentó un área cálida que se extendió desde el oeste hacia el este. Las menores temperaturas se midieron en la periferia del norte, noroeste, noreste y la zona costera. La máxima temperatura media fue 21,1 °C (Villa Mitre) y la mínima 17,9 °C (Ing. White), marcando una diferencia térmica espacial de 3,2 °C. La humedad

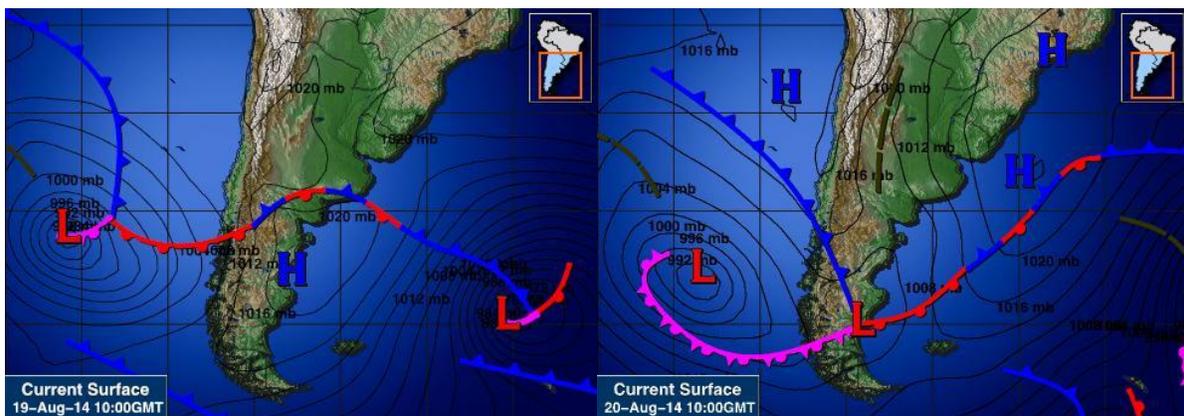
relativa fue mayor en el noreste y sur y menor en el centro, este y oeste de la ciudad. La diferencia espacial de este parámetro fue 26 % (Figura 7.14).

Al horario de la máxima temperatura registrada durante este evento se observó una lengua cálida que se extendió desde el oeste, hacia Villa Floresta y desde allí hacia Villa Mitre. El centro de la ciudad y la periferia del noreste presentaron los registros intermedios y la zona costera los menores. La humedad relativa presentó los mínimos valores en el centro-este y la periferia oeste. Los intermedios en el centro y la periferia del noreste y los mayores al sur. La diferencia espacial fue de 16 %, la ciudad fue más húmeda que su periferia (Figura 7.15).



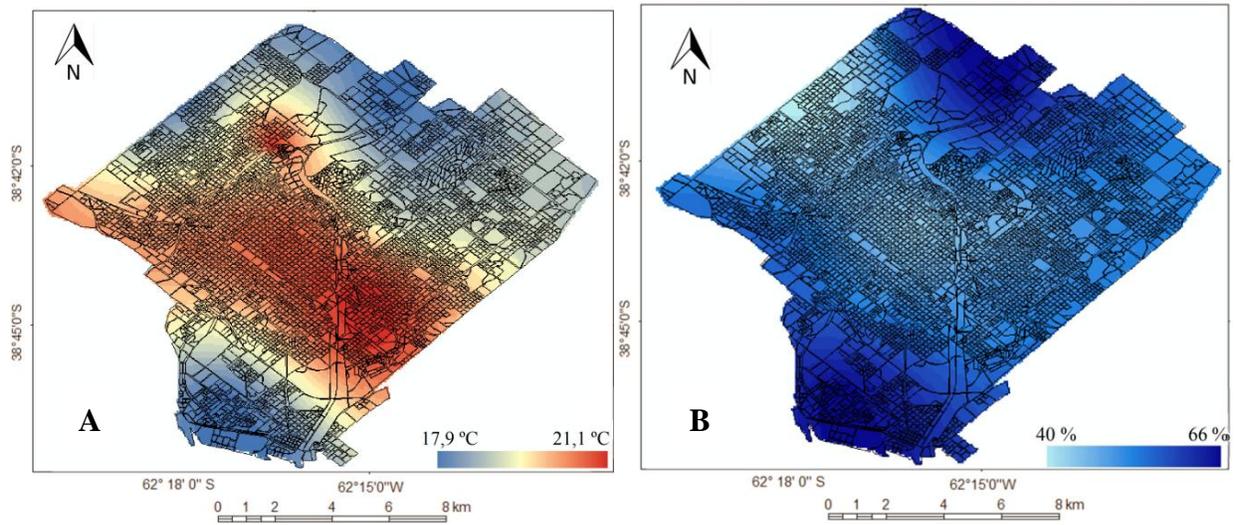
**Figura 7.12.** Situación sinóptica de los días 17 y 18 de agosto de 2014. Fuente:

[www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)

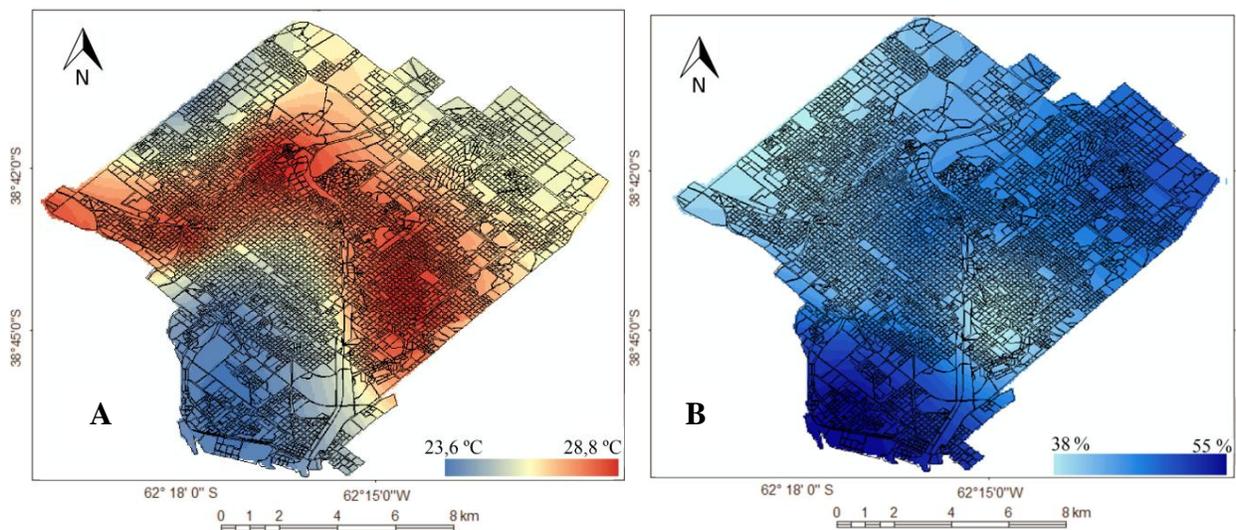


**Figura 7.13.** Situación sinóptica de los días 19 y 20 de agosto de 2014. Fuente:

[www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)



**Figura 7.14.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) media durante la ola de calor de invierno.



**Figura 7.15.** Distribución de la temperatura máxima (A) y la humedad relativa (B) durante la ola de calor de invierno.

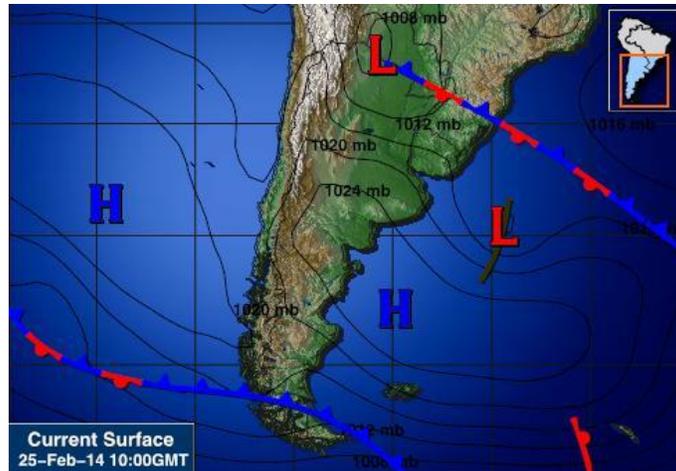
En las olas de calor estudiadas se observó que la distribución espacial de la temperatura media del evento presentó el centro de la ciudad más cálido y los sectores de Ing. White y CONICET más fríos. En el verano, el centro fue más seco que su periferia. El caso contrario se analizó en el invierno. Al horario de la máxima temperatura se identificaron diferencias en el emplazamiento del área con mayores temperaturas. La zona cálida en el evento estival se extendió desde el oeste hacia el centro, mientras que en el invernol lo hizo desde el centro hacia el centro-este y sudoeste. En este momento el centro fue más húmedo durante ambos eventos.

### **3.1.3. Olas de frío**

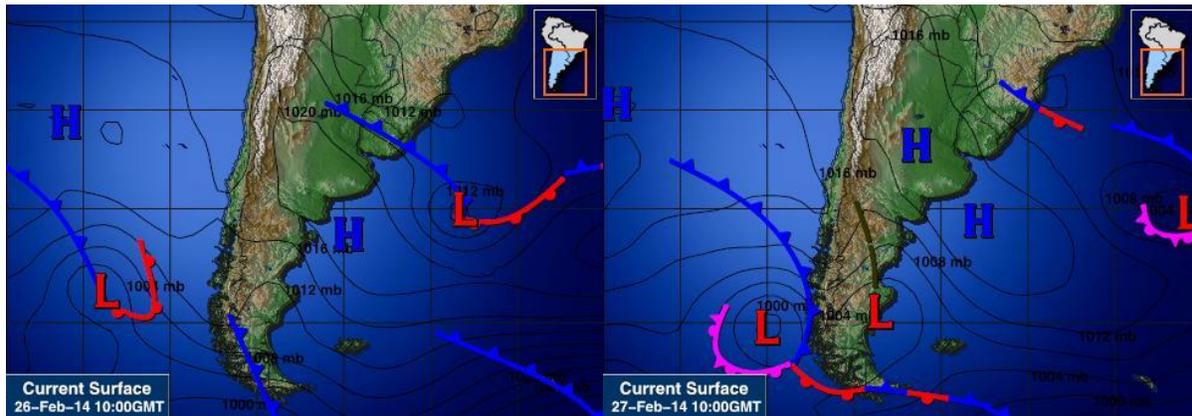
Las olas de frío provocan una alteración del ritmo térmico normal. Se considera en la literatura que las olas de frío son más peligrosas para la salud de la población, ocasionando mayor mortandad y mayor número de enfermedades infecciosas en todos los rangos etarios (Keatinge *et al.*, 2000). Las olas de frío tienen un efecto perjudicial no sólo para la población sino para la agricultura, la ganadería y diversas actividades económicas (Cuadrat Prats, *et al.*, 2015). Si las temperaturas ambientales son extremas, los efectos sobre la salud pueden ser crónicos. Son ejemplos: enfermedades permanentes de tipo respiratorias y circulatorias (Alberdi *et al.*, 1998; García Palomares y Alberdi, 2005). La mortalidad generada por estos eventos es mayor que la provocada por inundaciones (Kunkel *et al.*, 1999).

A diferencia de las olas de calor, las olas de frío tienen un mayor impacto socio-ambiental. Generan la degradación de edificios, ocasionando problemas de infraestructura, aumentan la contaminación urbana, generan un mayor incremento de la utilización de energía para la calefacción, permiten el desarrollo de patologías específicas, aumentan las pérdidas en el sector agropecuario, etc. (Cuadrat Prats, *et al.*, 2015).

En la ciudad de Bahía Blanca se registró un evento de ola de frío estival que se extendió desde el 25 al 27 de febrero de 2014. El mismo fue originado por un centro de alta presión (Figuras 7.16 y 7.17) La temperatura media fue 16,1 °C, la máximo fue 26,8 °C y la mínimo 8,3 °C. La mayor parte del evento presentó calmas, sin embargo se registró una media del viento de 1,9 km h<sup>-1</sup>. Durante este evento se evidenció un descenso de la temperatura urbana de 4 °C.



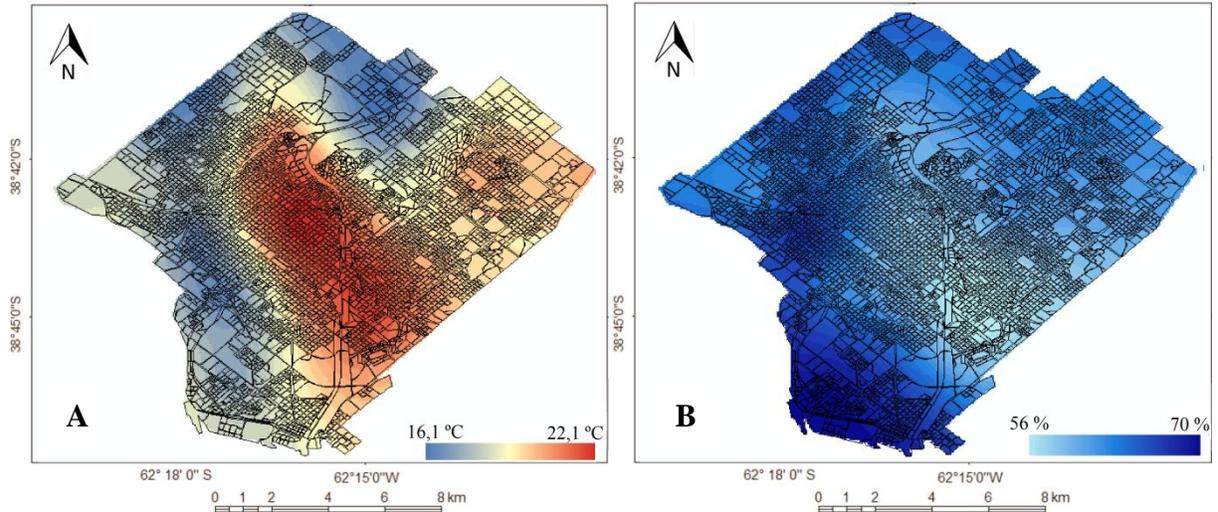
**Figura 7.16.** Situación sinóptica del 25 de febrero de 2014. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)



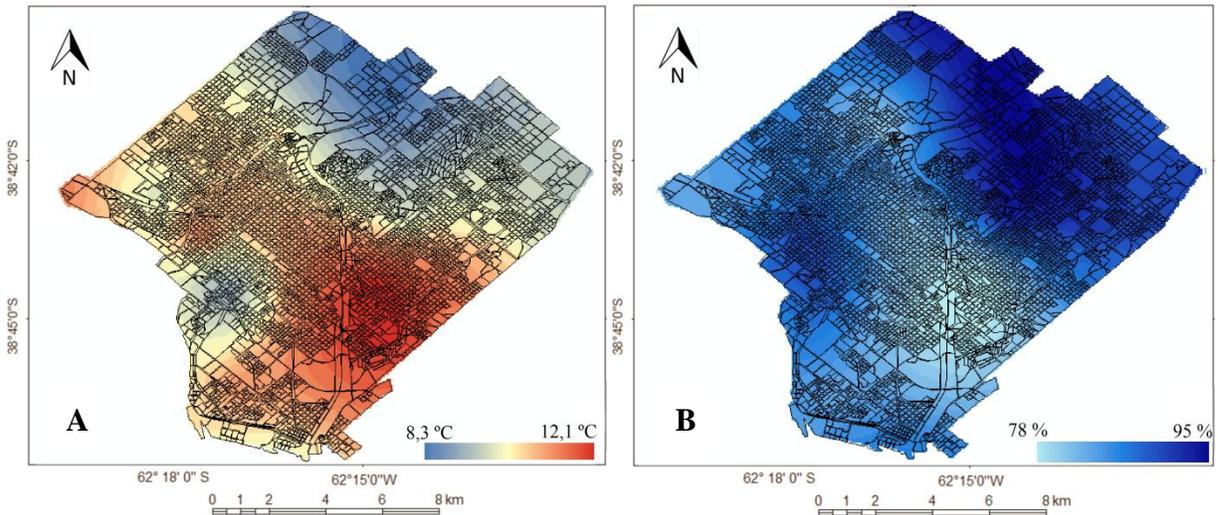
**Figura 7.17.** Situación sinóptica del 26 y 27 de febrero de 2014. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)

Durante este evento se observó que el centro fue más cálido pero esta vez Ing. White no fue el área más fría sino que la misma se localizó en la periferia del norte. La diferencia térmica espacial fue 6 °C. La humedad relativa presentó un mínimo en el centro de la ciudad y los máximos en la zona costera. La diferencia espacial fue 14 % (Figura 7.18).

Al horario de la mínima temperatura el este tuvo los mayores registros. Ing. White presentó valores elevados y las mínimas se emplazaron sobre la zona norte. La humedad relativa fue mayor en el norte y decreció en sentido norte-sudeste. La diferencia térmica espacial fue 3,8 °C y la de humedad relativa de 17 % (Figura 7.19).



**Figura 7.18.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) media durante la ola de frío de verano.



**Figura 7.19.** Distribución de la temperatura mínima (A) y la humedad relativa (B) durante la ola de frío de verano.

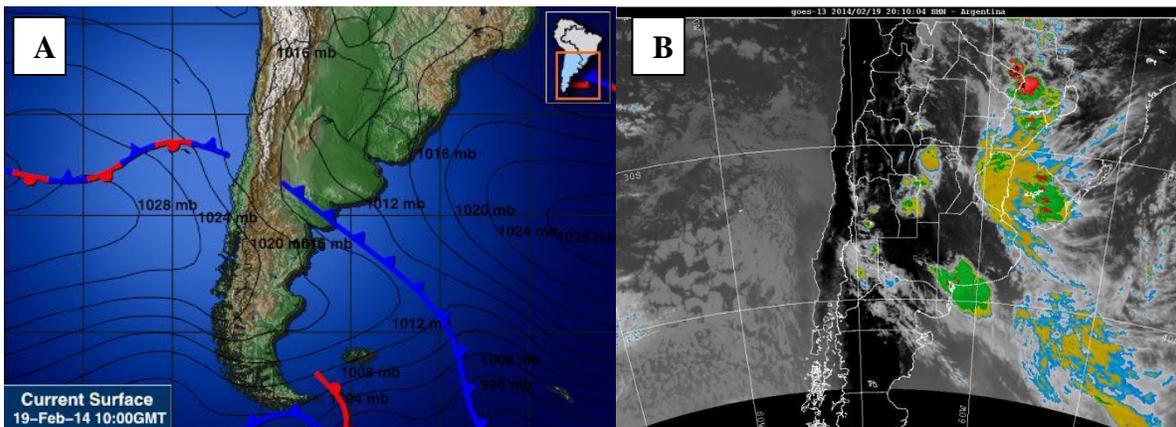
**3.1.4. Tormentas**

La escorrentía superficial es el evento que se produce al finalizar las lluvias o chubascos. En la ciudad de Bahía Blanca existen cursos de agua que estructuran la red de drenaje ellos son el arroyo Napostá Grande y el Canal Maldonado. En general el escurrimiento se da en sentido norte-sur. La ciudades modifican el escurrimiento del agua debido a la impermeabilización de la superficie y a la circulación vial (Zapperi, 2012; Campo *et al.*, 2013; Zapperi, 2014).

Los mayores efectos de las lluvias torrenciales o chubascos concentrados en un período corto de tiempo se profundizan con la presencia de fuertes vientos. Ambos pueden generar inundaciones o anegamiento que afectan a la población urbana (Hardoy y Pandiella, 2007). Además las lluvias intensas desencadenan procesos pluvio-hidrológicos que perturban la dinámica espacio-temporal de los ecosistemas. Estos eventos adquieren importancia dado que podrían modificar la calidad de los suelos (López Bermúdez y Romero Díaz, 1993).

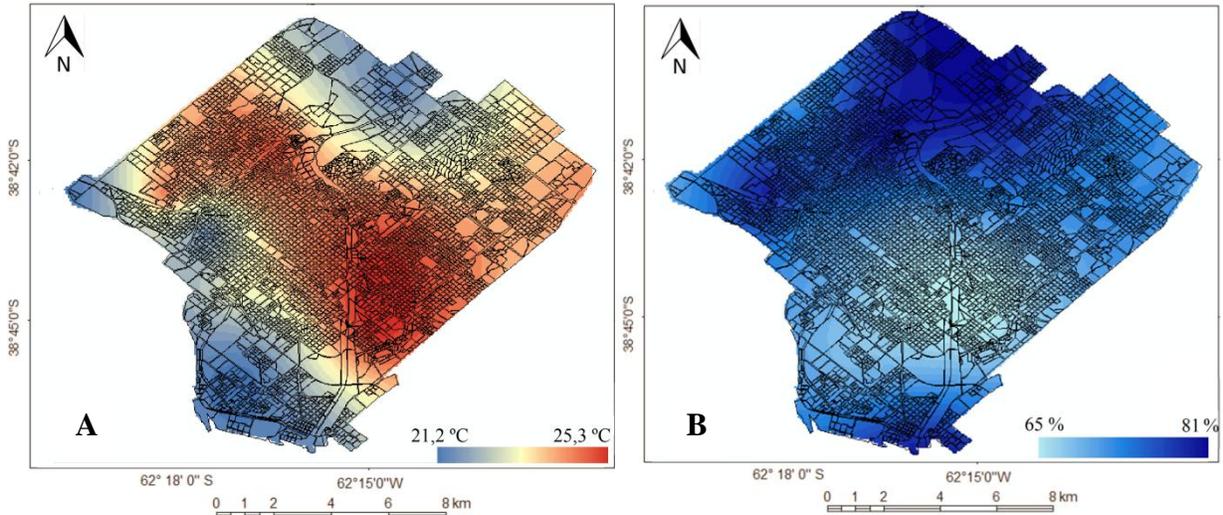
Por otro lado, el aumento constante de gases contaminantes a la atmósfera debido a las actividades urbanas puede ocasionar la presencia de lluvias ácidas. Estas pueden darse en forma de precipitación o de deposición húmeda de sustancias ácidas. Tiene impactos negativos que se extienden más allá de las ciudades afectando a las actividades rurales que se localizan en su periferia. Dentro de estos espacios el principal efecto es sobre la salud del hombre. Además genera deterioro de los edificios, materiales metálicos y electrónicos (Garcés Giraldo y Hernández Ángel, 2004).

Se determinó un período de chubascos de 90 minutos en la ciudad de Bahía Blanca el 19 de febrero de 2014. El mismo se extendió desde las 14:30 a las 16:00 hs. Este día se caracterizó por la presencia de un frente frío proveniente del sudoeste que ocasionó la formación de tormentas sobre la ciudad (Figura 7.20). La velocidad media del viento fue  $2,7 \text{ km h}^{-1}$ , con dirección noroeste. Antes de que comenzara el evento la temperatura fue  $27,9 \text{ }^\circ\text{C}$  y durante el mismo se observó una reducción térmica de  $8,7 \text{ }^\circ\text{C}$  y un incremento de la humedad relativa de 63 a 100 %, manteniendo este último valor hasta el final del día. Precipitó un total de 35,4 mm.



**Figura 7.20.** Situación sinóptica del día 19 de febrero de 2014. Fuente: A. Servicio Meteorológico Nacional, B. [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)

Los mayores registros de temperatura durante el evento se presentaron en el centro-este, en la zona de Villa Mitre. El centro, Villa Floresta, UOM y Cooperación II tuvieron los valores intermedios y la periferia del norte y sur los menores. La diferencia térmica espacial fue 4,1 °C. La humedad relativa media fue mayor en el noroeste, oeste y sudoeste y decreció hacia el este. Los mínimos se registraron en el centro de la ciudad. La diferencia espacial fue 16 % (Figura 7.21).



**Figura 7.21.** Distribución de la temperatura (A) y la humedad relativa (B) durante un período de chubascos.

### 3.1.5. Heladas

Los efectos de las heladas sobre la población son similares a las condiciones de frío extremas o a las de las olas de frío. Este evento se produce en general por el ingreso de frentes fríos (Seluchi, 1992). Los efectos adversos de las heladas en las ciudades se observan mayoritariamente en el deterioro de la vegetación y en la pérdida de biomasa. El efecto dependerá de si el árbol se encuentra o no en estado vegetativo. Las bajas temperaturas causan efectos sobre todo a las especies exóticas. Las que mayores impactos negativos producen son las heladas presentadas en las estaciones intermedias (Cogliati *et al.*, 2006).

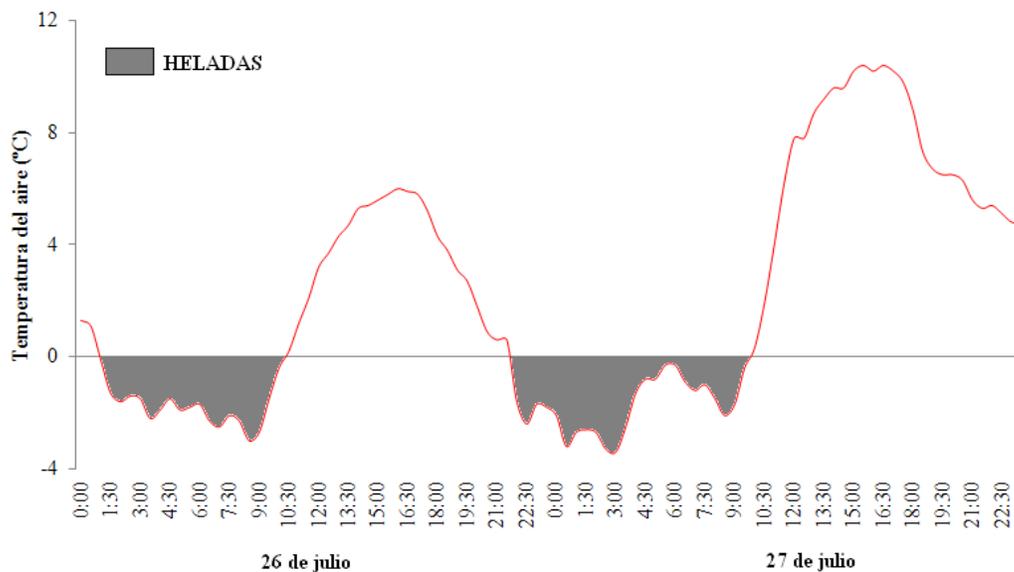
Se estudiaron las heladas ocurridas los días 26 y 27 de julio de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca. La situación sinóptica que favoreció la presencia de este evento fue un centro de alta presión sobre la región (Figura 7.22). La helada del 26 de julio tuvo una duración de 8:30 hs y se extendió desde las 1:00 hasta las 9:30 hs. El 27 duró 11:30 hs y se extendió desde las 22:00 hs

del 26 de julio hasta las 9:30 del 27 de julio (Figura 7.23). La velocidad media del viento fue de  $10,6 \text{ km h}^{-1}$  con dirección sur, sudeste y noreste.

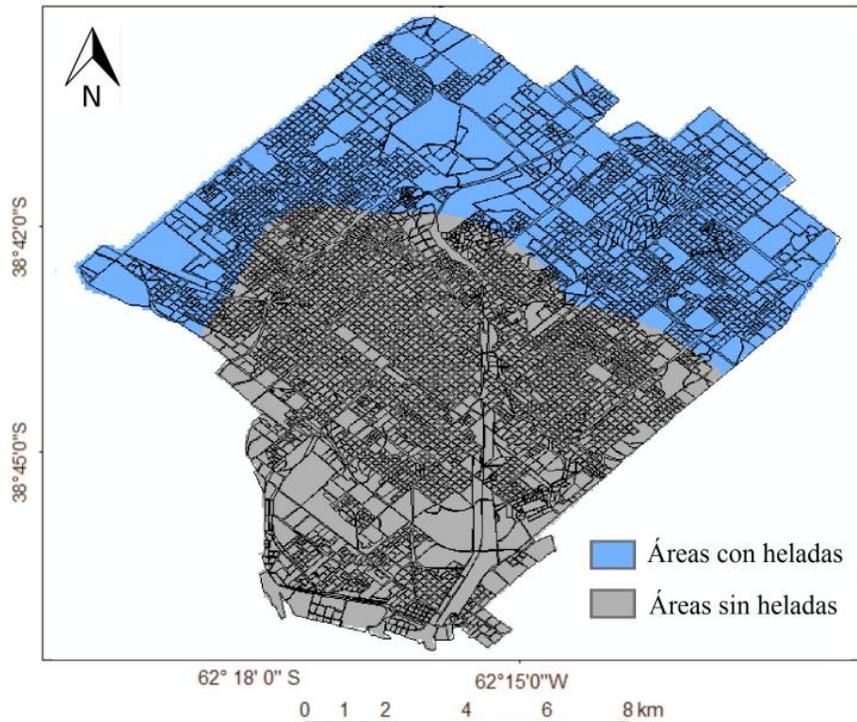
Este evento no impactó de igual manera a toda la ciudad. Se presentó sólo en las zonas periféricas del norte, noroeste y noreste. Las zonas con presencia de edificios no se vieron afectados por las heladas. La misma situación se observó en la costa de Ing. White (Figura 7.24).



**Figura 7.22.** Situación sinóptica del día 26 y 27 de julio de 2014. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)



**Figura 7.23.** Temperatura del aire de la EP – CONICET en los días en los que se presentaron heladas en la ciudad de Bahía Blanca.



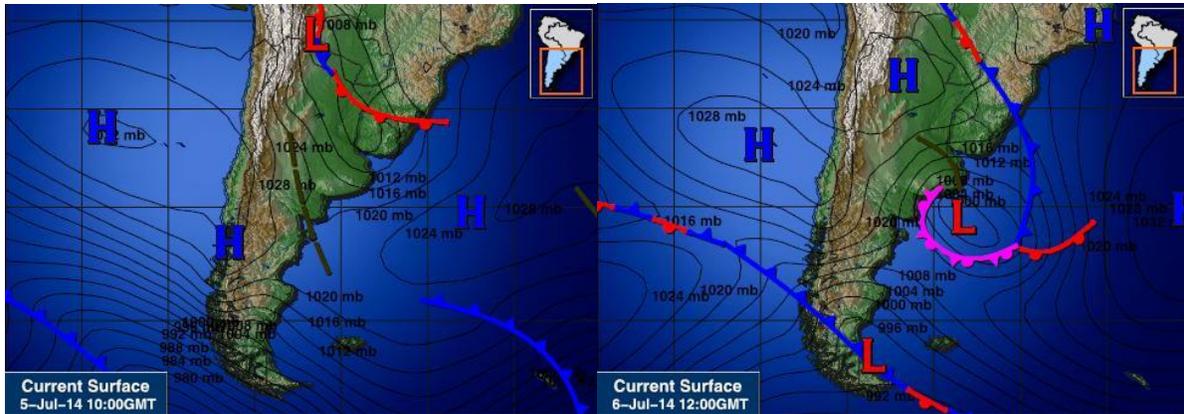
**Figura 7.24.** Áreas con presencia de heladas en la ciudad de Bahía Blanca.

### 3.1.6. Nieblas

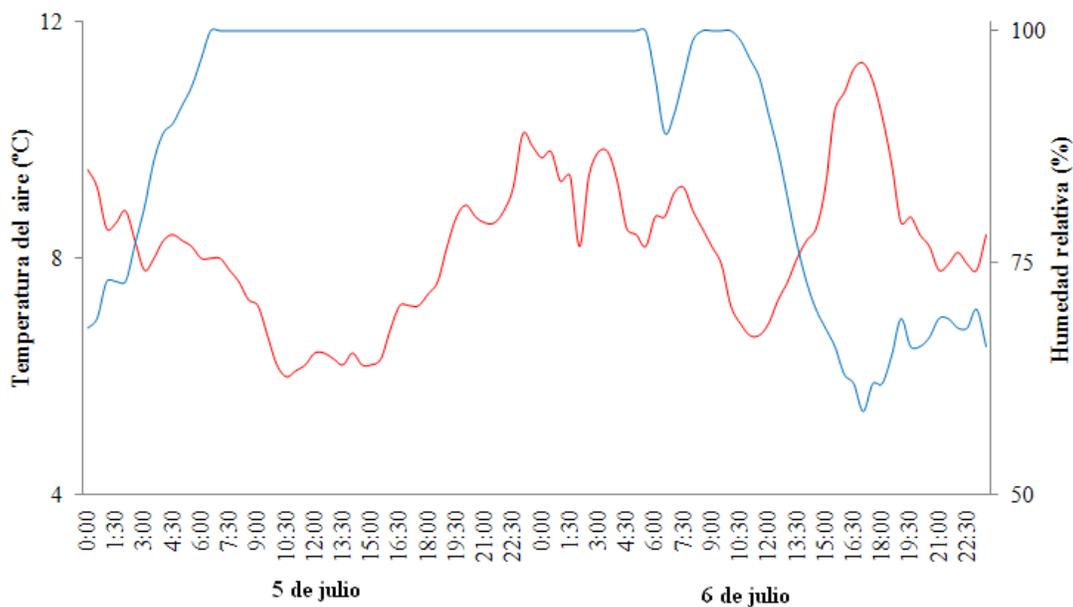
Las nieblas son una fuente indirecta de precipitación. Las mismas son beneficiosas para el arbolado urbano ya que la provee de una fuente de agua (Barradas, 1983). La formación de este evento es mayor en las ciudades que en los campos ya que se intensifica con la presencia de contaminantes en el aire (Albentosa Sánchez, 1979; de la Luz González, 2000). Entre los efectos sobre la población se identifican la reducción de la visibilidad y hasta la interrupción del tránsito vehicular y aéreo como consecuencia del aumento de la posibilidad de accidentes. Sumado a ello, este evento produce una reducción en la recepción de la radiación solar (de la Luz González, 2000).

En la ciudad de Bahía Blanca se presentaron nieblas los días 5 y 6 de julio de 2014. Durante el evento se observó el pasaje de un frente que generó la formación de nubes y un centro de baja presión sobre la costa de la provincia de Buenos Aires. Esta situación generó el pasaje de vientos débiles y húmedos del sector sur favoreciendo la formación de nubosidad y nieblas (Figura 7.25). Este evento tuvo una extensión de 23 horas y se manifestó desde las 6:30 hs del 5 de julio hasta

las 5:30 del 6 de julio. La velocidad media del viento fue de 10 km h<sup>-1</sup> con dirección del sur, sudoeste y sudeste y la presión atmosférica fue normal (1012,8 hPa) (Figura 7.26).



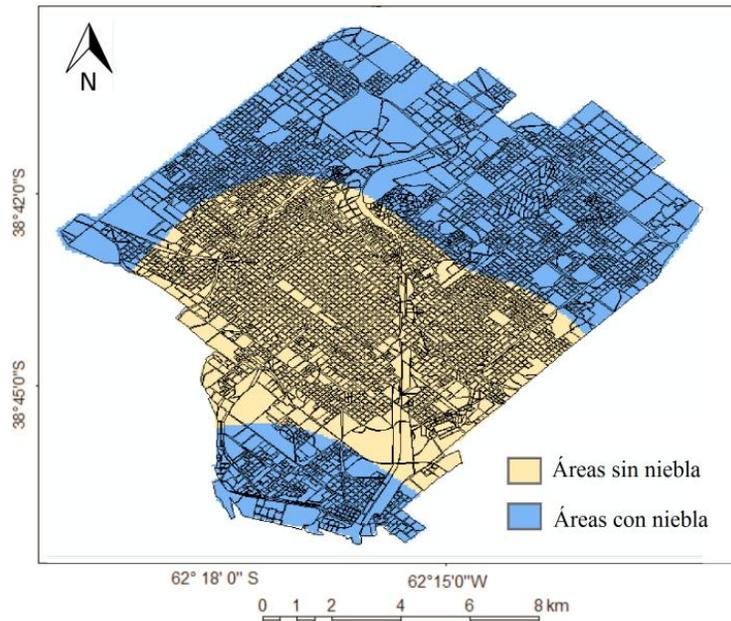
**Figura 7.25.** Situación sinóptica del día 5 y 6 de julio de 2014. Fuente: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)



**Figura 7.26.** Temperatura y humedad relativa de la EP – CONICET en los días con nieblas en la ciudad de Bahía Blanca.

Al tratarse de una situación de viento sur, las nieblas se presentaron en la zona de Ing. White y en la periferia norte, noroeste y oeste. La abundancia de vegetación y la presencia de terrenos al descubierto favorecieron la formación de niebla. La situación opuesta se presentó en las zonas

edificadas, en ellas la humedad relativa media fue de 86 % y no se presentó este evento (Figura 7.27).



**Figura 7.27.** Áreas con presencia de nieblas en la ciudad de Bahía Blanca.

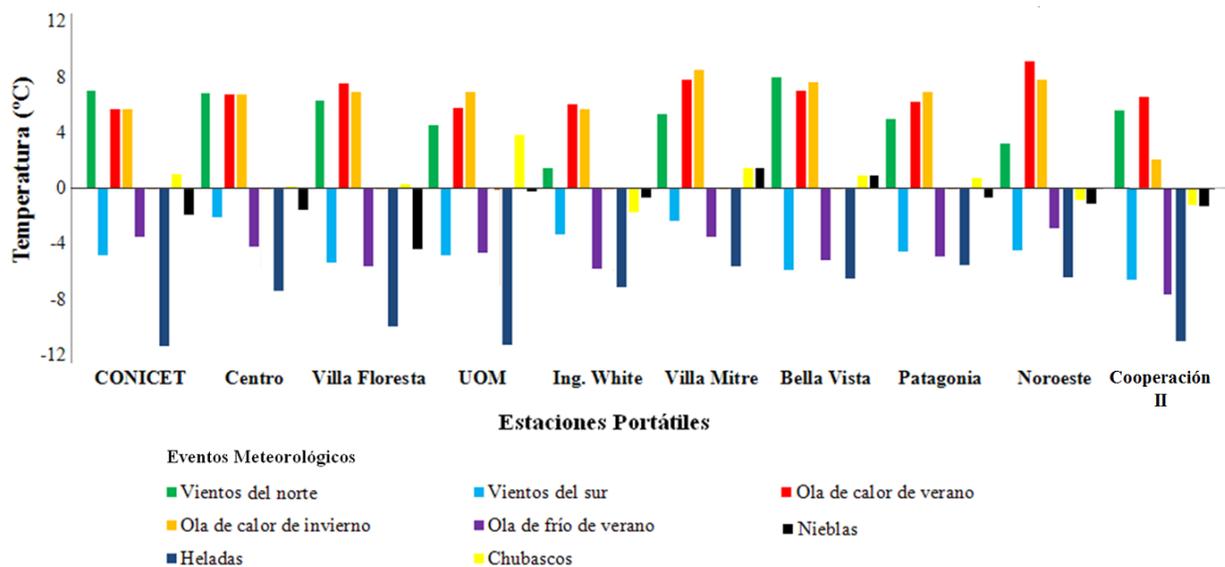
### 3.2. Escala micro-local

Las variaciones en la temperatura y la humedad relativa en cada evento fueron distintas según los barrios de la ciudad debido a las condiciones de sitio. El análisis de los impactos de los eventos meteorológicos a escala micro-local se realizó considerando el valor de temperatura y humedad relativa media mensual y diaria (del día anterior y posterior al evento) en relación con la media calculada para cada evento estudiado. Esto permitió analizar las modificaciones microlocales que se originaron durante los distintos eventos meteorológicos.

Los vientos del norte generaron una amplitud térmica mensual positiva en toda la ciudad y los vientos del sur, negativa. Para el primero, los valores oscilaron entre 8 °C (Bella Vista) y 1,4 °C (Ing. White) (Figura 7.27). Durante las olas de calor de invierno y verano se registraron anomalías iguales en CONICET (5,7 °C) y Centro (6,7 °C). En el invierno, los mayores valores de temperatura se midieron en UOM, Villa Mitre, Bella Vista y Patagonia, mientras que Villa Floresta, Ing. White, Noroeste y Cooperación II lo hicieron en verano. La mayor diferencia en el verano fue 9,1 °C (Noroeste) y la menor de 5,7 (CONICET), mientras que en el invierno el valor más elevado fue de 8,5 °C (Villa Mitre) y el menor de 2,1 °C (Cooperación II) (Figura 7.28).

Durante la ola de frío la ciudad fue 5 °C más fría en relación con su valor medio mensual. El menor valor fue -7,5 °C en Bella Vista y el mayor -5,1 °C en Patagonia. Cooperación II, Ing. White, Villa Floresta y Bella Vista presentaron valores medios inferiores a -5 °C con -7,7, -5,8, -5,6 y -5,2 °C, respectivamente. El resto de la ciudad registró valores mayores a este umbral. Las zonas que presentaron menores diferencias fueron CONICET y Villa Mitre con -3,5 °C (Figura 7.28).

La amplitud térmica entre la media mensual y la calculada durante el evento de heladas fue más intensa en la periferia (CONICET, -11,4 °C) y en la de los barrios residenciales (UOM, -11,3 °C y Cooperación II, -11,2 °C). Las menores diferencias se observaron en Patagonia y Villa Mitre con -5,5 y -5,6 °C, respectivamente. Finalmente, los chubascos y las nieblas tuvieron mediciones de hasta 10 °C menores con respecto a la media mensual para toda la ciudad (Figura 7.28).



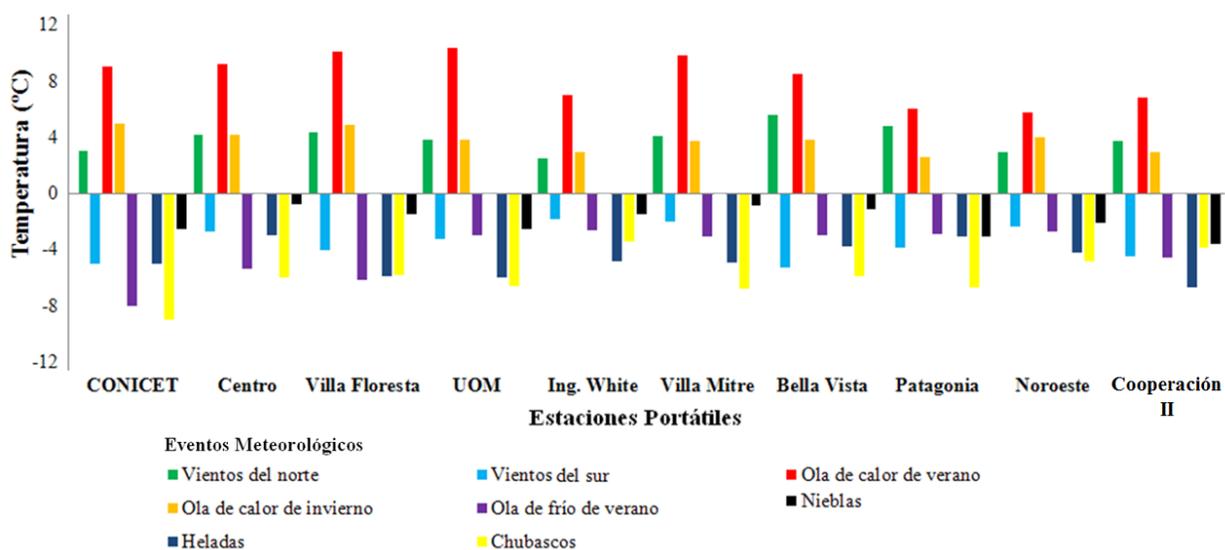
**Figura 7.28.** Anomalía entre la temperatura media mensual y la *in situ* durante distintos eventos meteorológicos.

La escala diaria presentó diferencias notables. El día anterior a la presencia de vientos del norte la ciudad fue 3,9 °C más fría, es decir que este evento aumentó la temperatura urbana. El mayor valor se registró en Bella Vista, localizada en el centro-noreste de la ciudad. La misma presentó una media diaria 5,6 °C mayor durante este evento. El menor impacto se observó en Ing.

White, localizada al sur con 2,5 °C. Los vientos del sur hicieron que la ciudad se enfríe 3,5 °C en relación al día anterior. Esta anomalía fue -4,5 °C en Cooperación II y -2 °C en Villa Mitre.

Las olas de calor presentaron mayores diferencias en el verano que en el invierno. En el verano fue 8,2 °C mayor que el día anterior. El mayor efecto se presentó en Villa Floresta y UOM con 10,4 y 10,1 °C, respectivamente y el menor en Patagonia con 6 °C. El evento de invierno aumentó 3,8 °C la temperatura urbana ciudad con respecto a la media del día anterior. La mayor diferencia se observó en CONICET con 5 °C y la menor en Patagonia con 2,6 °C (Figura 7.29).

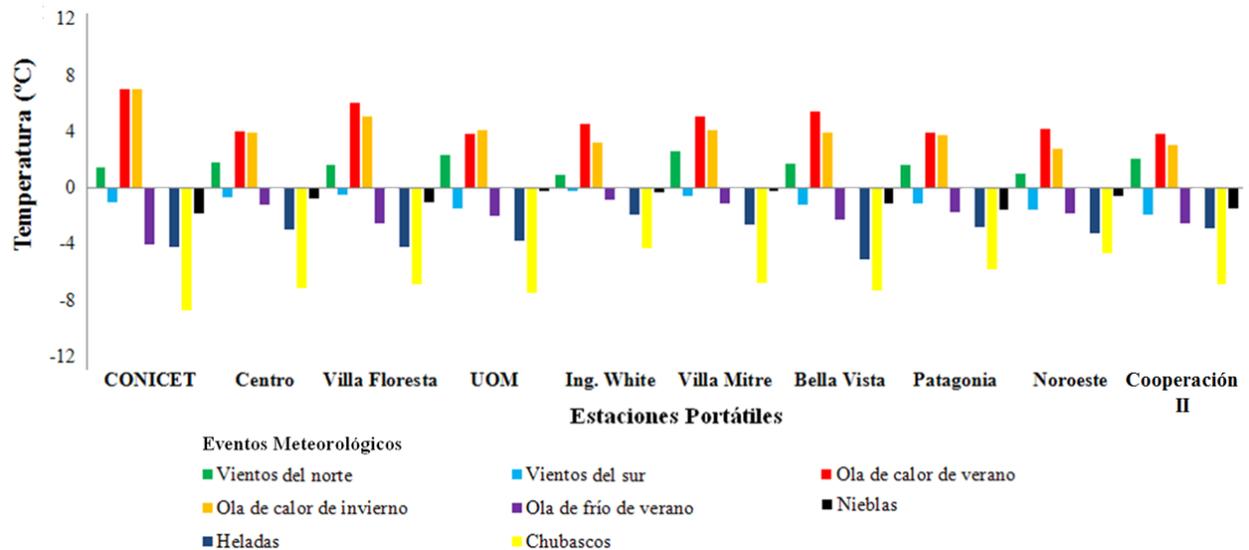
La ola de frío de verano originó un descenso de 4 °C en la ciudad. La mayor amplitud se midió en CONICET con -8 °C. Ing. White manifestó las menores diferencias (-2,6 °C). Durante las heladas, chubascos y nieblas se presentó una diferencia negativa en toda la ciudad. Esta fue mayor durante los chubascos (-5,9 °C), intermedia en las heladas (-4,7 °C) y menor en las nieblas (-1,4 °C) (Figura 7.29).



**Figura 7.29.** Anomalía entre la temperatura media del día anterior y la registrada durante distintos eventos meteorológicos.

La relación entre el valor medio del evento con la del día posterior al mismo permitió afirmar que tanto los vientos del norte como las olas de calor son los eventos que generaron que la ciudad sea más cálida. En el resto de los eventos la temperatura disminuyó. Las mayores

amplitudes se observaron durante los chubascos. La ciudad fue 8 °C más fría durante un chubasco, 3,3 °C durante una helada y 1,7 durante las nieblas (Figura 7.30).



**Figura 7.30.** Anomalía entre la temperatura media del día posterior y la registrada durante distintos eventos meteorológicos.

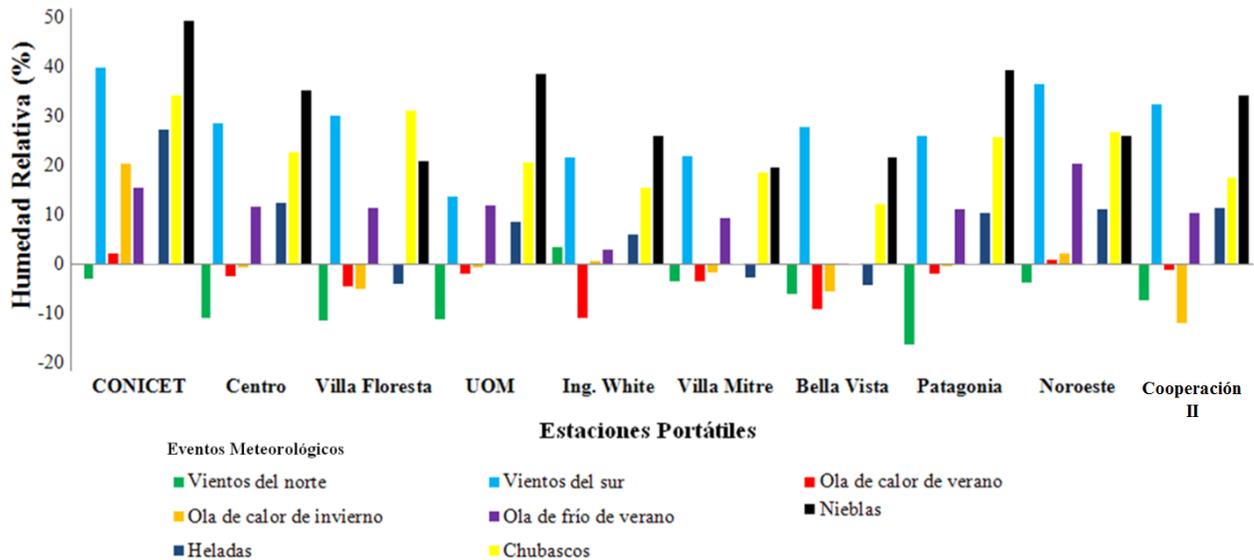
En lo referente a la humedad relativa media mensual y su relación con la media del evento, se observó un incremento de la misma durante vientos del sur, heladas, chubascos y nieblas. Los vientos del norte generaron una ciudad más seca, exceptuando la zona portuaria. La ola de calor de verano tuvo registros positivos en CONICET (2 %) y Noroeste (1 %) y negativos en el resto de la ciudad (Figura 7.31).

La relación entre las medias del evento con las del día anterior presentó valores negativos durante los vientos del norte. En este la ciudad fue 9,2 % más seca. La mayor anomalía se observó en Villa Floresta (-14 %) y la menor en Ing. White (-2 %). La ola de calor de invierno presentó el mismo patrón. Toda la ciudad, exceptuando CONICET (9 %), presentó valores negativos (5 % más seca) (Figura 7.32).

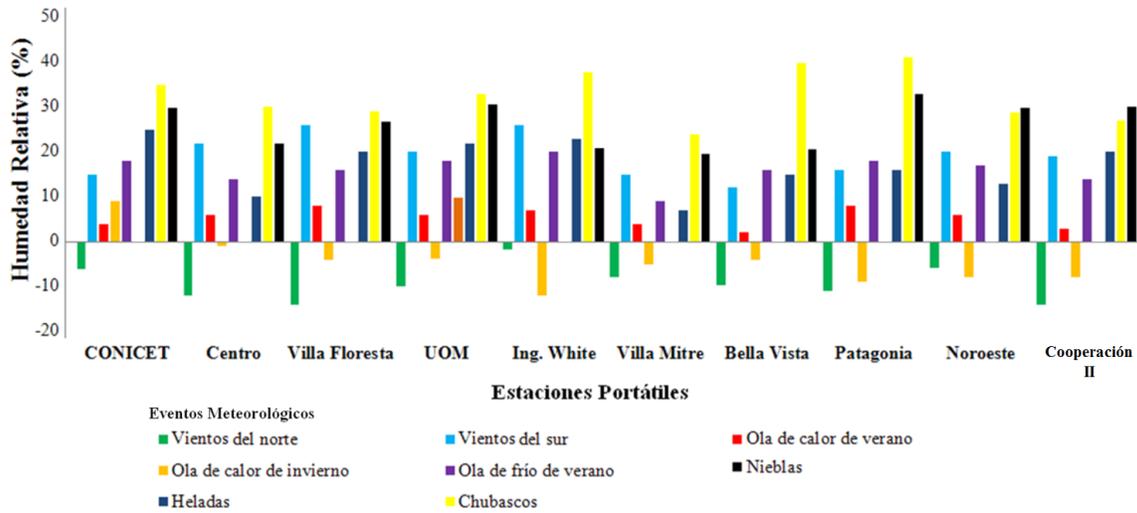
Durante los vientos del sur, la ciudad fue 19 % más húmeda que el día anterior. El mayor registro fue en Villa Floresta (26 %) y el menor en Bella Vista (12 %). Las olas de frío y la de calor generaron una ciudad más húmeda que el día anterior al evento con diferencias de 13, 16 y 5,6 %, respectivamente. Las heladas y las nieblas presentaron una situación similar con valores de 17 y 25 %, respectivamente. Los chubascos fueron los que mayor impactaron en la humedad

relativa, en promedio generaron que la urbanización sea 36 % más húmeda. Los valores más elevados se calcularon en Patagonia (41 %), Bella Vista (39 %) y Villa Mitre (24 %) (Figura 7.32).

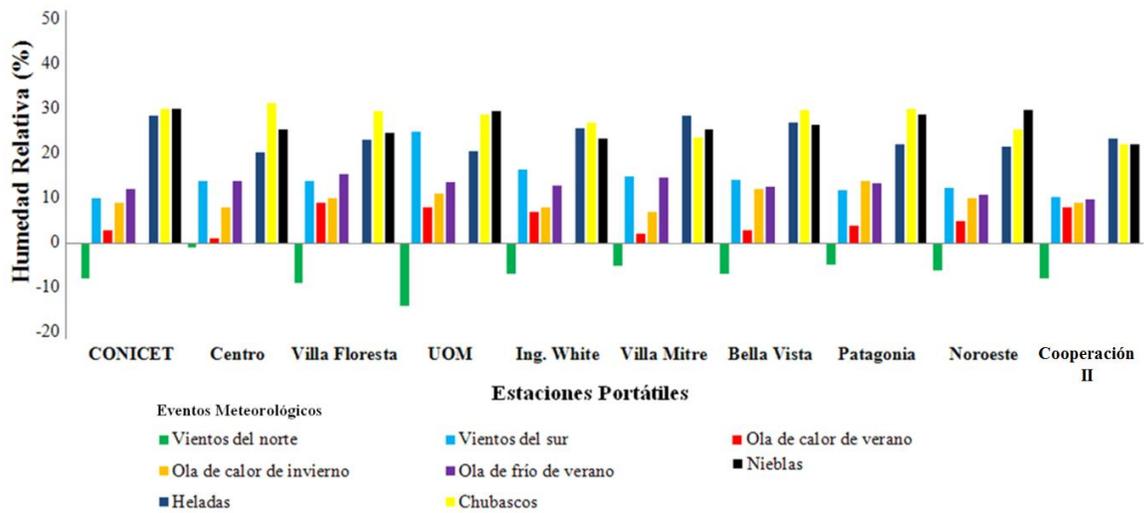
En relación con los valores medios del día posterior se observaron valores negativos sólo durante los vientos del norte (-7 %). El resto de los eventos manifestaron medias positivas. La ciudad fue más húmeda durante las heladas (24 %), las nieblas (26 %) y los chubascos (27 %). Presentó valores intermedios en las olas de frío de verano (10 %) e invierno (12 %) y con vientos del sur (14 %) y los menores en la ola de calor de verano (5 %) (Figura 7.33).



**Figura 7.31.** Anomalía entre la humedad relativa media mensual y la registrada durante distintos eventos meteorológicos.



**Figura 7.32.** Anomalía entre la humedad relativa media del día anterior y la registrada durante distintos eventos meteorológicos.



**Figura 7.33.** Anomalía entre la humedad relativa media del día posterior y la registrada durante distintos eventos meteorológicos.

#### 4. Conclusiones

Los eventos extremos analizados en este capítulo permitieron identificar distintos impactos sobre la temperatura y la humedad relativa en la ciudad de Bahía Blanca. Los vientos del norte incrementaron la temperatura urbana y disminuyeron la humedad relativa. La zona cálida de la ciudad está orientada con la dirección del viento del sector norte. Los vientos del sur fueron fríos

y húmedos. Los mismos redujeron la temperatura e incrementaron la humedad relativa. El efecto de la dirección del viento se observó en la distribución espacial de la humedad relativa. Los mayores valores se observaron en el sur y decrecieron hacia el norte de la ciudad. Se produjeron durante ambos eventos efectos de isla de calor urbana a pesar de superar la velocidad crítica del viento. Esto se debe a que los edificios del centro de la ciudad presentan una situación de barrera que disminuyen los vientos e impiden que se disipe el calor. Por lo analizado, se podría pensar entonces en reformular la Velocidad Crítica según la morfología de la ciudad de Bahía Blanca.

En las olas de calor al horario de la máxima temperatura se presentaron los mayores registros en la periferia del noroeste y oeste. El efecto contrario se encontró durante las olas de frío. Las amplitudes de invierno tanto para la humedad relativa como para la temperatura del aire fueron mayores durante un evento de ola de calor de invierno que en el de verano. Las heladas fueron las que mayor diferencia térmica espacial mostraron. La intensidad de la ICU en este evento fue mayor a 11 °C. Las mismas se presentaron en aquellos espacios en donde la densidad de edificaciones fue menor y donde se localizaron terrenos al descubierto. Las nieblas se observaron además en la zona costera del sur. Los chubascos redujeron la temperatura del aire en aproximadamente 8 °C y aumentaron la humedad relativa 30 %.

El análisis micro-local de los eventos extremos evidenció diferencias al cambiar el umbral de análisis. Al compararlo con la media mensual, se observó que la temperatura del aire fue mayor con los vientos del norte y las olas de calor y menor en el resto de los eventos. En lo referente a las medias diarias posterior y anterior, los vientos del norte, del sur y la ola de frío de otoño no presentaron diferencias significativas. En cambio, sí se observaron durante los chubascos y las olas de calor.

La humedad relativa fue menor cuando sopló el viento del norte. Con respecto a la media estacional se observó una disminución durante las olas de calor y la ola de frío de verano. Las medias diarias posteriores y anteriores permitieron establecer que los chubascos fueron los que más impactaron sobre la humedad ya que presentaron a la ciudad aproximadamente un 28 % más húmeda. Las heladas, las nieblas, las olas de frío y los vientos del sur presentaron un comportamiento similar registrando amplitudes mensuales y diarias superiores al 15 %. El análisis de los eventos extremos adquiere importancia dado que afecta a la población de las ciudades. Los grupos vulnerables durante un evento de ola de calor son los ancianos, niños y

enfermos. Sin embargo, durante las olas de frío y las heladas toda la población que esté expuesta a realizar actividades al aire libre podría verse afectada dado que se aumentan las probabilidades de enfermarse. Durante estos eventos no sólo se afecta a la población sino que también a distintos elementos del ambiente urbano. Por ejemplo las heladas pueden dañar el arbolado y los espacios verdes, las lluvias si adquieren características de lluvias ácidas pueden dañar la infraestructura y generar zonas de anegamientos e inundaciones. Algunos de estos eventos tienen consecuencias positivas. Por ejemplo el aumento de los vientos puede dispersar los contaminantes y mejorar con ello la calidad del aire. Además las nieblas contribuyen una fuente de agua adicional para la vegetación urbana.

A escala micro-local se observó que las olas de calor de verano tienen mayores impactos en la temperatura urbana de Villa Floresta, UOM, Villa Mitre y centro y menores en Patagonia y Noroeste. La ola de calor de invierno generó temperaturas más elevadas en Villa Floresta, CONICET y centro y menores en Patagonia e Ing. White. La ola de frío redujo la temperatura urbana, los barrios más afectados fueron Cooperación II, UOM y Villa Floresta. Los vientos fuertes del norte aumentaron la temperatura urbana afectando más intensamente los barrios de Bella Vista y Patagonia. Por otro lado los vientos fuertes del sur tuvieron los mayores impactos sobre la temperatura urbana de CONICET, Bella Vista y Cooperación II. Las heladas se presentaron en los barrios de CONICET, Cooperación II, UOM y Patagonia, mientras que las nieblas también se extendieron sobre Ing. White. Cabe señalar que durante todos los eventos analizados el centro presentó los mayores valores de temperatura.

La importancia de estudiar los distintos eventos meteorológicos es que permite establecer las regiones que son más vulnerables ante la presencia los distintos eventos meteorológicos y los posibles efectos sobre la sociedad. Por todo el análisis realizado se considera que el conocimiento y análisis de estos eventos a distintas escalas espaciales de análisis son importantes para la generación de información que servirá de base para la propuesta de un manejo adecuada del espacio urbano. El impacto de los mismos es diferente en cada sector de la ciudad por lo que es necesario tomar medidas que se adapten a las condiciones de sitio de cada uno de los espacios urbanos analizados.

## **Capítulo 8**

### **CONFORT CLIMÁTICO**

#### **1. Introducción**

El estudio del confort climático es relevante dado que incide en todos los aspectos de la vida de las personas considerando su salud, su vida cotidiana y sus actividades al aire libre. Las situaciones de desconfort se aprecian al momento de realizar los movimientos urbanos cotidianos y las prácticas turístico-recreativas (García, 2009). Los habitantes de las ciudades deben adaptarse a las condiciones climáticas y a las diversas sensaciones que su organismo debe soportar. La confortabilidad puede definirse como la zona delimitada por umbrales térmicos en la que la mayoría de las personas manifiestan bienestar (Fernández García, 1994). Por este motivo, el estudio de las situaciones de confort colabora con el planeamiento de las actividades que las personas realizan al aire libre (Huamantínco Cisneros, 2012).

El confort es una variable subjetiva y depende de la edad, el género, la forma corporal, la alimentación, el color de la piel, estado de salud, por mencionar algunas. El confort es entonces la relación directa que existe entre el clima de un área y la percepción de la población. Esta situación es distinta en verano e invierno. Durante el verano, las sensaciones de temperaturas extremas pueden generar desestimulación en la población y reduce los esfuerzos físicos y mentales (Jendritzky, 1991; Olgay, 1998). En esta estación la temperatura del aire, la humedad relativa, el viento, las precipitaciones y la radiación solar son las variables que influyen en el confort climático. En el invierno, se perciben sensaciones de desconfort principalmente por efectos del viento. Pero estas circunstancias no son un obstáculo para que los habitantes puedan trabajar al aire libre con los debidos recaudos (García, 2009).

El confort climático se ha estudiado principalmente relacionado con el turismo y las actividades al aire libre (Bustos y Piccolo, 2011). También se han analizado las diferencias entre el área urbana y la costera (García y Piccolo 2008, 2009). Se estudió la influencia del mar y de la vegetación sobre el confort (Weng *et al.*, 2004). Se utilizan diversos índices bioclimáticos para su estudio (García, 2009; Bustos y Piccolo, 2011; Bustos, 2012; Huamantínco Cisneros, 2012). Ellos combinan diferentes elementos del ambiente e indican la sensación de confort o desconfort. Según Huamantínco Cisneros (2012) los más utilizados para las condiciones de verano son el

índice termo-anemométrico (temperatura y viento) y el termo-higrométrico (temperatura y humedad relativa) (Bensancenot, 1991) y en el invierno el de temperatura equivalente (Quayle y Steadman, 1999). Este último incluye la temperatura medida y la velocidad del viento (Capelli de Steffens *et al.*, 2005).

En este capítulo se analiza el confort climático en distintos barrios de la ciudad de Bahía Blanca con el objetivo de delimitar áreas con desconfort y confort. Las mismas serán útiles para orientar políticas públicas destinadas a prevenir las situaciones adversas que el desconfort pudiese generar en la población vulnerable.

## 2. Metodología

Para analizar el confort de Bahía Blanca se utilizaron datos meteorológicos provenientes de las Estaciones Portátiles localizadas en distintos puntos de la ciudad (Cap. 5). Los datos de viento fueron adquiridos de la estación EP-CONICET (Pertenece al CERZOS, Cap. 3 y Cap. 4). Se obtuvieron las medias y máximas de la temperatura y la humedad relativa diarias y se calcularon distintos índices para evaluar el confort.

Se consideraron los índices Humidex (Weather Service of Environment Canada, 2001), Termo-higrométrico (THI Temperature-Humidity Index) propuesto por Thom (1959) y el Termo-anemométrico (P) de Siple y Passel (1945) para el verano (21 de diciembre de 2013- 21 de marzo de 2014) y el de Temperatura Equivalente para las mediciones de invierno (21 de junio de 2014 – 21 de septiembre de 2014). El primero de ellos permitió estimar la temperatura efectiva que siente el ser humano a partir de determinadas condiciones de humedad y temperatura (Capelli de Steffens *et al.* 2005). Estos fueron aplicados con éxito en otras ciudades costeras de la provincia de Buenos Aires, como lo son Pehuén Co, Monte Hermoso, Mar del Plata, Necochea y Quequén (García, 2009; Bustos y Piccolo 2011; Bustos, 2012 y Huamantínco Cisneros, 2012).

Para calcular el Humidex se aplicó la siguiente fórmula:

$$T_H = T + \frac{5}{9} * (e - 10) \quad [1]$$

donde T es la temperatura real y e es la presión del vapor del aire. Los resultados del índice adquieren una valoración cualitativa según los siguientes rangos (Tabla 8.1):

<b>Rango</b>	<b>Caracterización</b>
20-29 °C	<i>Confortable</i>
30-39 °C	<i>Algún Desconfort</i>
40-45 °C	<i>Gran Desconfort</i>
>45 °C	<i>Peligro</i>
>54 °C	<i>Inminente peligro de infarto</i>

**Tabla 7.1.** Rangos de confort del índice Humidex (Modificado de Huamantínco Cisneros, 2012).

El índice THI indica la temperatura que siente el hombre considerando la temperatura máxima del día y la humedad relativa (Huamantínco Cisneros, 2012). Se calculó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$THI = T - [(T - 0.55 - 0.0055 * HR) * (T_{max} - 14.5)] \quad [2]$$

donde HR es la humedad relativa en %, T es la temperatura y  $T_{max}$  es la temperatura máxima. Los resultados también adquieren una valoración cualitativa (Tabla 8.2):

<b>Rango</b>	<b>Caracterización</b>
< 15 °C	<i>Desconfort</i>
15-28 °C	<i>Confort</i>
> 28 °C	<i>Desconfort</i>

**Tabla 7.2.** Rangos de confort del índice THI (Thom, 1959).

El índice P considera la cantidad de calor que se desprende del cuerpo por unidad de tiempo y se expresa en  $Kcal\ m^{-2}\ h^{-1}$ . Se calculó teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$P = (10 * V^{-0.5} + 10,45 - V) * (33 - T_{max}) \quad [3]$$

donde P es el valor refrigerante del aire y  $T_{\max}$  es la temperatura máxima del día. Las condiciones de confort se consideraron en el rango desde los 300 a 600 Kcal  $m^{2-1} h^{-1}$ , las de *algún desconfort* entre 50 y 300 Kcal  $m^{2-1} h^{-1}$ . Por debajo de este límite se encontraron las condiciones de *desconfort* (Bensacenet, 1991; Huamantínco Cisneros, 2012).

Finalmente se calculó el índice de Temperatura Equivalente ( $T_E$ ) de Quayle y Steadman (1999). Además, se obtuvo el factor de enfriamiento propuesto por Capelli de Steffens *et al.*, (2005) donde se consideran los efectos del viento. Este factor tiende a alejar el calor del cuerpo, reemplazando el aire caliente en contacto con la persona por aire frío (Huamantínco Cisneros, 2012). Se calculó con la siguiente fórmula:

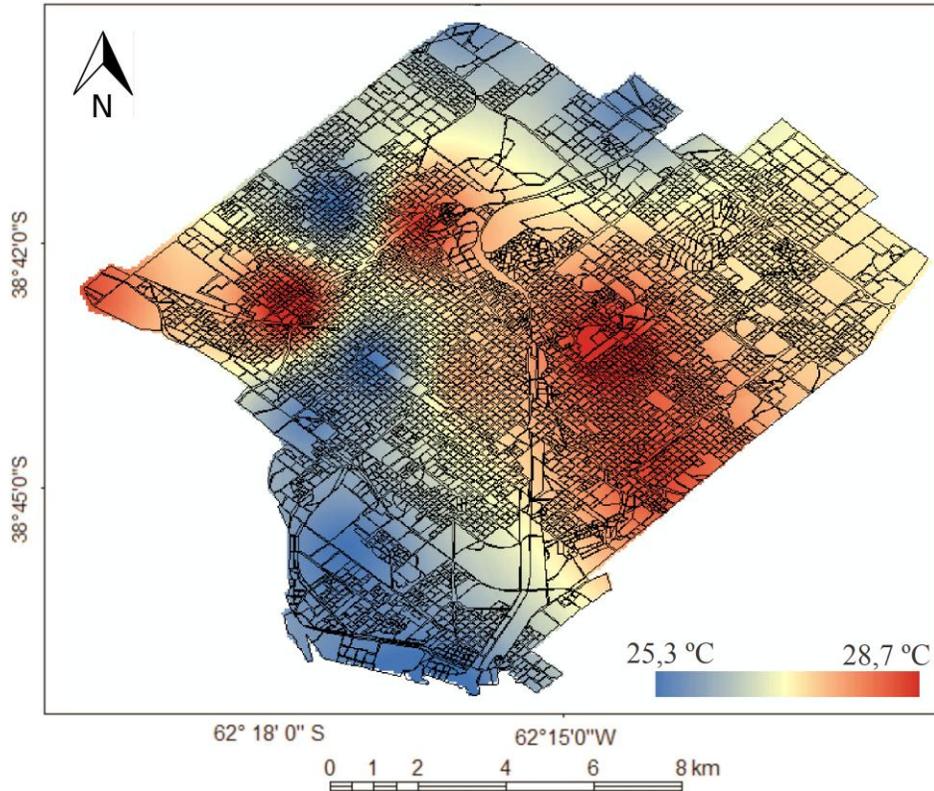
$$\text{Enfriamiento} = \text{Temperatura del aire (T)} - \text{Temperatura Equivalente (T}_E\text{)} \quad [4]$$

El análisis de estos índices se realizó de forma estacional, mensual y diaria. Se seleccionaron los días más cálidos y más fríos de las estaciones estival e invernal y se estudiaron el número de días con desconfort y la intensidad de los mismos teniendo en cuenta la valoración cualitativa de cada índice. Los resultados fueron estudiados con el Software ArcGIS 9.3. Se aplicó el método de interpolación Kriging ordinario de tipo esférico para representar los valores medios de enero y febrero para los índices de verano (marzo se desestimó dado que presentó un comportamiento otoñal) y de junio, julio y agosto para el de invierno. Además se realizaron mapas con el número de días con desconfort. Esta información fue útil para zonificar la ciudad de Bahía Blanca identificando las áreas más desconfortables.

### **3. Resultados**

#### **3.1. Confort climático estival**

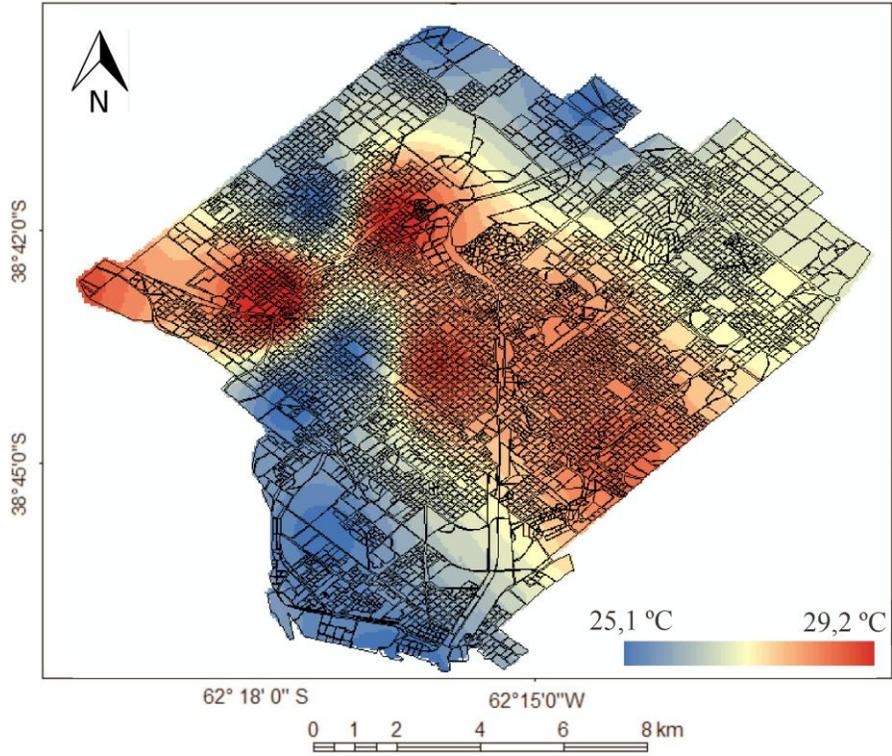
La distribución espacial del Humidex durante el verano de 2014 mostró el centro-este de la ciudad más cálido junto con el centro-norte y el oeste. El centro presentó temperaturas intermedias y el norte y el sur las menores (Figura 8.1).



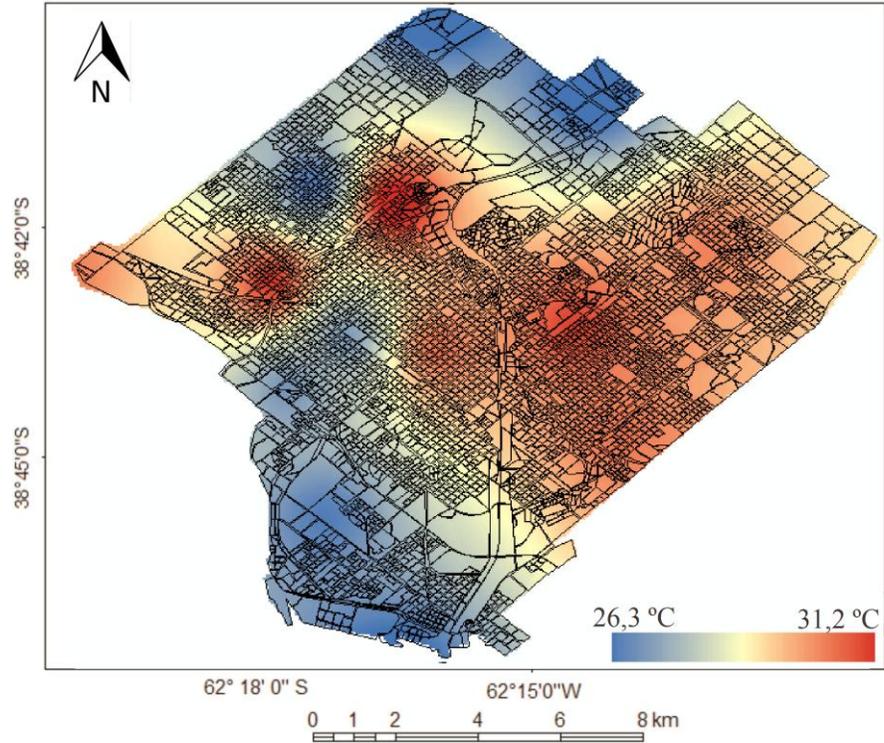
**Figura 8.1.** Distribución espacial del Humidex medio en el verano de 2014 en Bahía Blanca.

La distribución espacial del Humidex de enero presentó las máximas temperaturas en el oeste y centro-norte. El centro y centro-este tuvieron valores intermedios y el sur y sudoeste los menores (Figura 8.2). El mayor valor correspondió Bella Vista con 29,9 °C, seguido UOM (29,2 °C) y Villa Floresta (28,7 °C). Los valores intermedios (aquellos que se encuentran entre los máximos y los mínimos) correspondieron a Villa Mitre (27,8 °C), Centro (26,8 °C) y Patagonia (26,5 °C). Los mínimos se midieron en Cooperación II (25,2 °C), CONICET, Noroeste e Ing. White (25,1 °C).

La estación con mayor cantidad de días desconfortables durante enero fue Villa Floresta con 21 días. UOM tuvo 20 días y Villa Mitre 19. Bella Vista y Centro contabilizaron 16 y 15 días de desconfort, respectivamente. Patagonia 12, Cooperación II 11 y CONICET 10. Las estaciones con menor cantidad de días de desconfort en enero fueron Noroeste con 8 e Ing. White con 3.

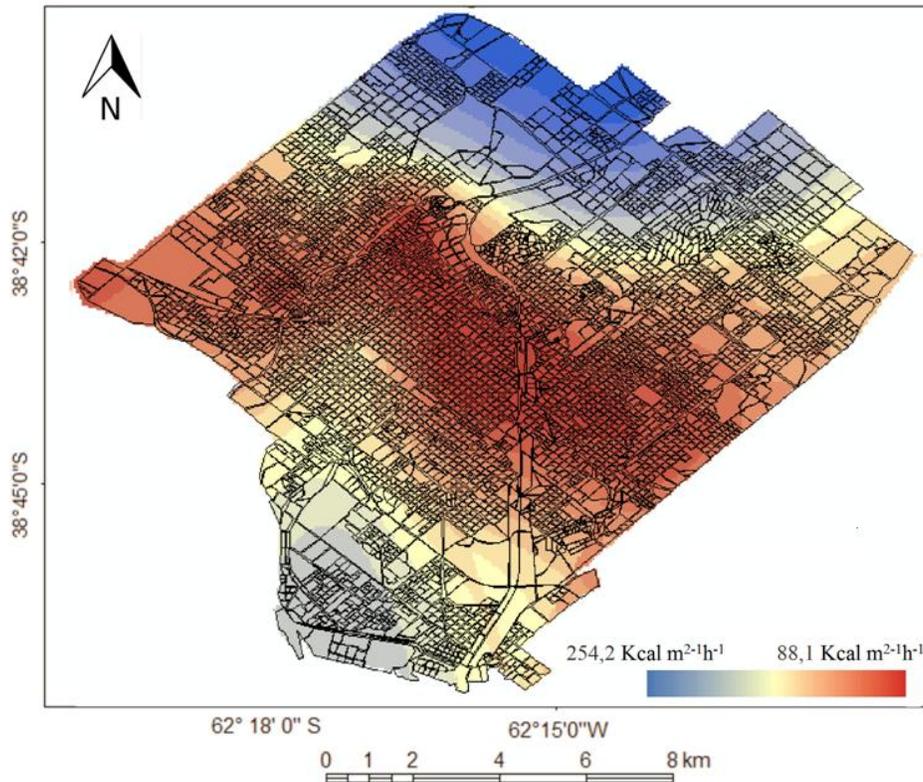


**Figura 8.2.** Distribución espacial del Humidex en el mes de enero de 2014 en Bahía Blanca.



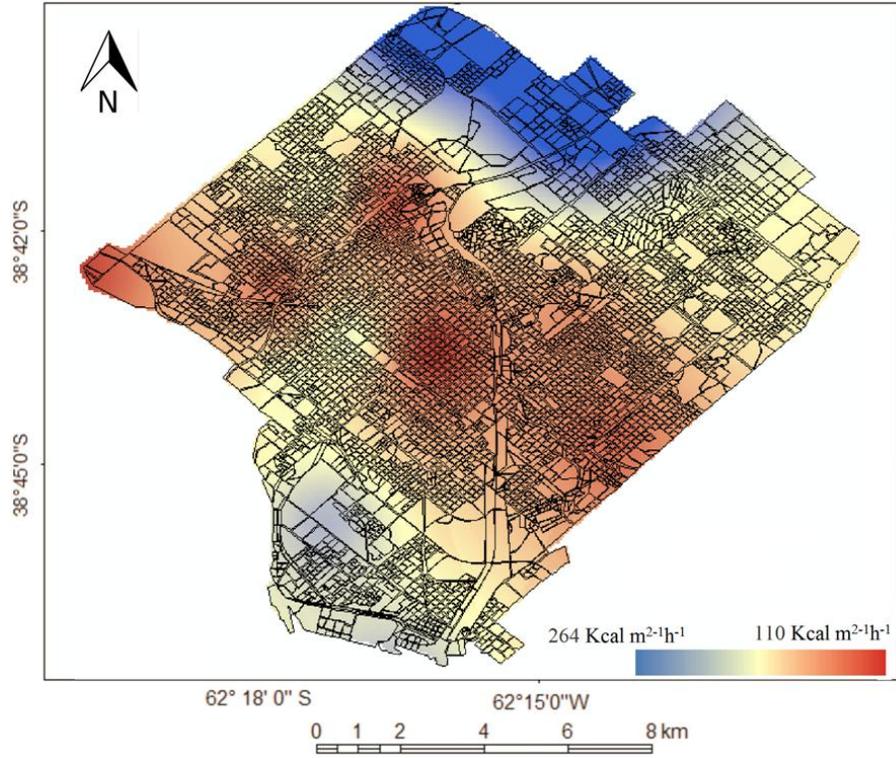
**Figura 8.3.** Distribución espacial del Humidex en el mes de febrero de 2014 en Bahía Blanca.

Al analizar la distribución espacial del índice Termo-anemométrico (P) se observó que los menores valores se extendieron desde el oeste, centro y este de la ciudad. La zona costera presentó los valores intermedios y la periferia del norte y noreste los mayores (Figura 8.4). El menor valor (es decir, la zona con mayor desconfort) se presentó en la estación Centro (88,1 Kcal m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>) y el mayor en CONICET (254,2 Kcal m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>).

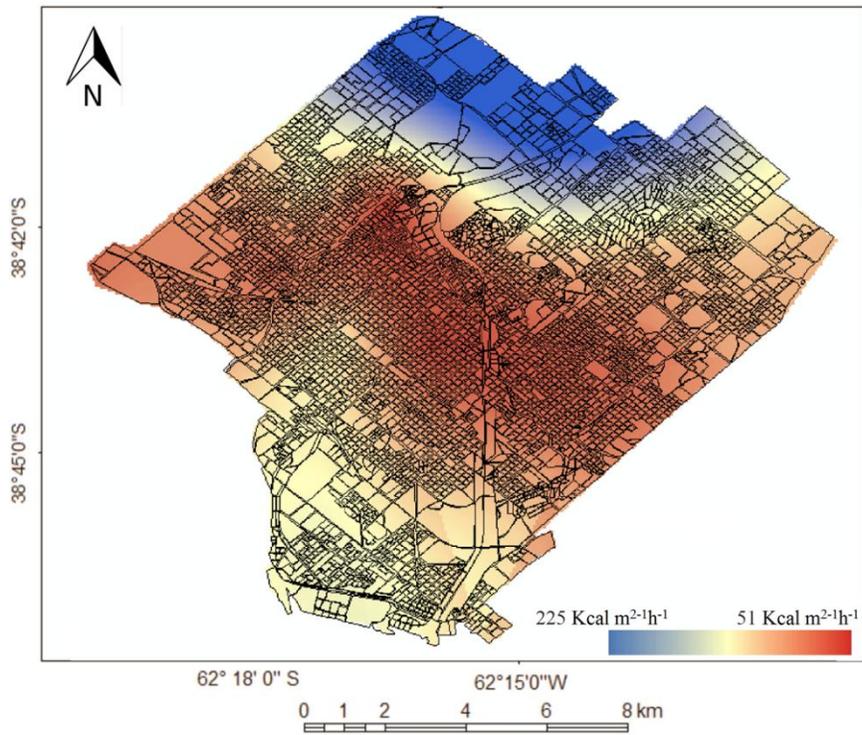


**Figura 8.4.** Distribución espacial del P medio en el verano de 2014 en Bahía Blanca.

Al analizar la variación espacial del P en el mes de enero se encontró un patrón similar al observado en la distribución estacional. Los menores valores se localizaron en el centro, extendiéndose hacia el este y oeste. La zona costera presentó los valores intermedios y el norte los máximos. El mayor valor fue de 264 Kcal m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> en CONICET y el menor de 110 Kcal m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> en Villa Floresta (Figura 8.5). Esta situación también se presentó en febrero (Figuras 8.6). En este, el mayor valor medio fue de 225 Kcal m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> en CONICET y el mínimo de 51 Kcal m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> en Villa Mitre.

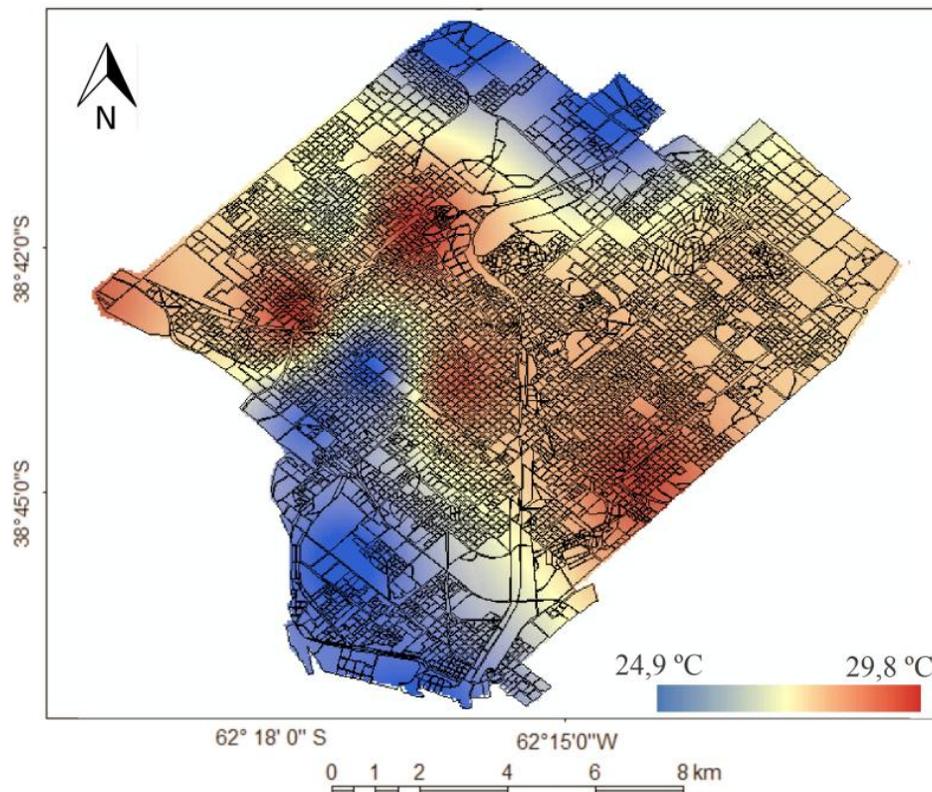


**Figura 8.5.** Índice P medio en enero de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.



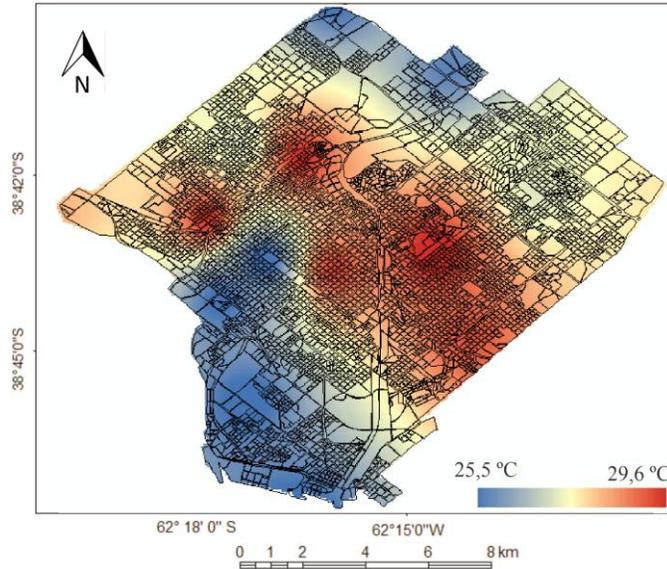
**Figura 8.6.** Índice P medio en febrero de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.

El índice termo-higrométrico (THI) mostró un centro cálido, junto con el este, centro-noreste y oeste. Los valores intermedios se localizaron en el noreste y los menores en la periferia del norte y sur. El mayor valor fue de 29,8 °C registrado en Villa Floresta y el menor fue de 24,9 °C correspondiente a Ing. White (Figura 8.7).



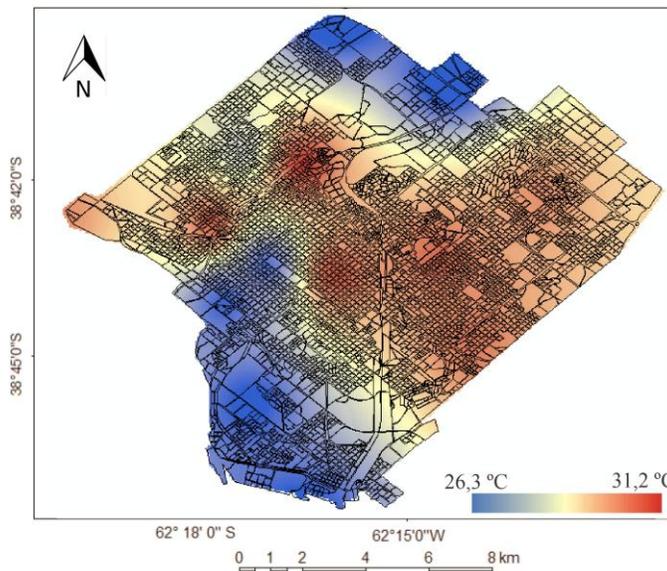
**Figura 8.7.** Índice THI medio en el verano de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.

En el mes de enero se observó una distribución espacial similar a la del verano. El centro, centro-este, centro-noroeste y oeste de la ciudad fueron cálidos, mientras que en la zona norte y noreste decreció el índice alcanzando los menores registros en el sur de la ciudad (Figura 8.8). El valor medio más elevado correspondió a Bella Vista y centro (29,6 °C) seguido Villa Floresta (29,4 °C) y Villa Mitre (29 °C). El menor valor fue 25,5 °C en Ing. White.



**Figura 8.8.** Índice THI medio en enero de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.

En febrero se observaron los menores registros en el norte, sur y sudoeste de la ciudad. Los máximos se presentaron en el centro, centro-este y centro-oeste (Figura 8.9). El mayor valor medio se presentó en Villa Floreste con 31,2 °C, seguido por centro (30,7 °C), UOM (30,6 °C), Villa Mitre (30,1 °C) y Bella Vista (29,9 °C). Los menores se presentaron Ing. White (26,3 °C) y CONICET (26,3 °C).



**Figura 8.9.** Índice THI medio en febrero de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.

El índice **Humidex** permitió establecer 3 áreas distintas en la ciudad de Bahía Blanca (Tablas 7.3 y 7.4):

1. *Zonas de gran desconfort en verano*. Corresponde a la zona más desconfortable del período de estudio y es la región de Bella Vista. Al tratarse de un parque y al registrar la información durante un período de muestreo lluvioso, la humedad relativa de la región fue elevada, modificando el valor calculado para el índice. Esta zona presentó el 55,6 % de los días de verano *confortables*, mientras que el 24,4 % presentaron *algún desconfort* y el 20 % *gran desconfort*.

2. *Zonas con algún desconfort*. Son las zonas urbanas concentradas, residenciales y de la periferia oeste. Corresponden al centro, Villa Mitre, Villa Floresta y UOM. Presentaron situaciones confortables en el 57,8 al 60 % del verano. En ellas se registraron aproximadamente 40 días de *desconfort*, de los cuales del 5 al 15 % fueron de *gran desconfort*.

3. *Zonas Confortables*. Son aquellas representadas por los barrios localizados al sudoeste y oeste, caracterizados por construcciones bajas y de tipo residencial, los barrios-parque, la zona costera y la periferia. La integran Patagonia, Noroeste, Ing. White y CONICET. En estas regiones se presentaron situaciones de *gran desconfort* sólo en el 3,3 % y la presencia de *confort* superó el 75 % de los días

El **THI** identificó Villa Floresta, UOM, Bella Vista y Villa Mitre como las zonas más desconfortables con un 56,6, 50, 46,7 y 41,1 % de los días de verano *desconfortables*, respectivamente. Un segundo grupo lo representaron el centro, Patagonia y Cooperación II con un total de días con *desconfort* que osciló entre 30 y 40 %. Finalmente las regiones confortables, que presentaron menos del 20 % de los días con *desconfort*, fueron Ing. White y CONICET (Tablas 7.3 y 7.4).

Según el índice **P** se presentaron tres situaciones distintas. Las zonas densamente edificadas presentaron la mayor cantidad de días con *gran desconfort* y con *algún desconfort*. En ellas los días con *confort óptimo* fueron mínimos, como es el caso del centro, Villa Mitre y OUM (1,1 % de días con *confort*). Otro comportamiento se observó en Ing. White, en donde se presentó sólo 1 día con *gran desconfort*. Finalmente CONICET no registró días con *gran desconfort*, sino que todos el verano tuvo valores positivos superiores a  $50 \text{ Kcal m}^{2-1} \text{ h}^{-1}$  (Tablas 8.3 y 8.4).

Índices	Días con	EP Centro		EP Villa Mitre		EP Bella Vista		EP Villa Floresta		EP Patagonia	
		Días	% del verano	Días	% del verano	Días	% del verano	Días	% del verano	Días	% del verano
<b>H</b>	Confort	55	61,1	54	60,0	50	55,6	52	57,8	69	76,7
	Algún Desconfort	35	39,9	31	34,4	22	24,4	25	27,8	21	23,3
	Gran Desconfort	0	0,0	5	5,6	18	20,0	13	14,4	0	0,0
<b>THI</b>	Confort	55	61,1	53	58,9	48	53,3	39	43,4	58	64,5
	Desconfort	35	38,9	37	41,1	42	46,7	51	56,6	32	35,5
<b>P</b>	Confort	1	1,1	1	1,1	3	3,4	3	3,4	4	4,5
	Algún desconfort	56	62,2	62	68,9	55	61,1	53	58,9	69	76,7
	Gran desconfort	33	36,7	27	29,0	32	35,5	34	37,7	17	18,8

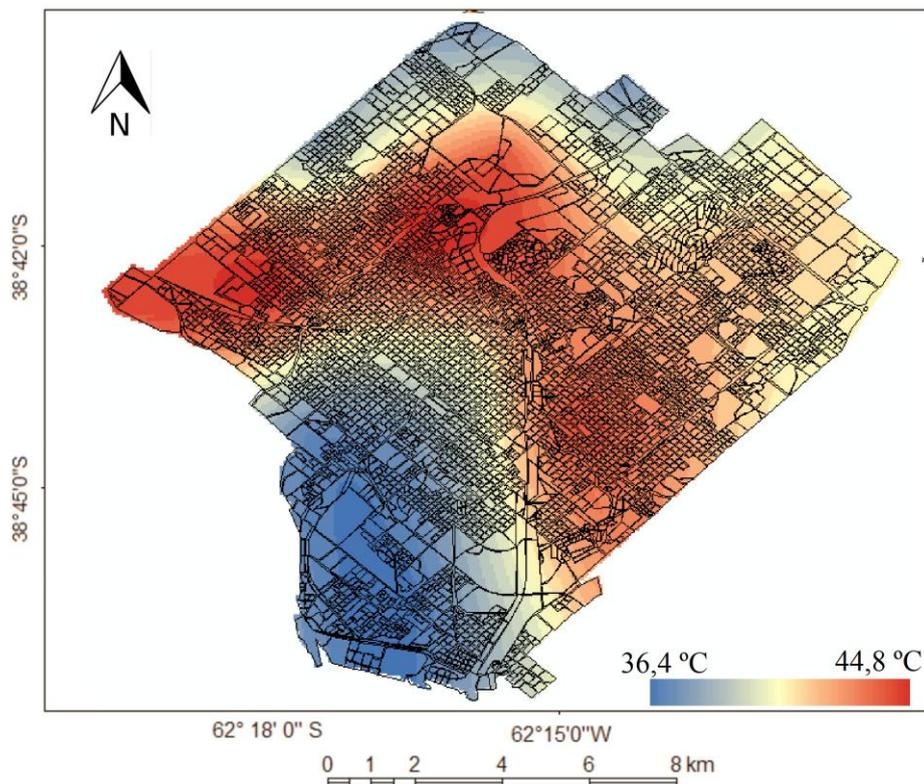
**Tabla 8.3.** Número de días de confort y desconfort en el verano de 2014 según los índices Humidex (H), Termo-higrométrico (THI) y termo-anemométrico (P).

Índice	Días con	EP Cooperación II		EP Noroeste		EP UOM		EP Ing. White		EP CONICET	
		Días	% del verano	Días	% del verano	Días	% del verano	Días	% del verano	Días	% del verano
<b>H</b>	Confort	69	76,7	70	77,8	54	60	79	87,8	71	79,0
	Algún Desconfort	21	23,3	18	20,0	21	23,4	9	10,0	16	17,7
	Gran Desconfort	0	0,0	2	2,2	15	16,6	2	2,2	3	3,3
<b>THI</b>	Confort	57	63,4	70	77,8	45	50	74	82,3	71	78,9
	Desconfort	33	36,6	20	22,2	45	50	16	17,7	19	21,1
<b>P</b>	Confort	3	3,4	3	3,4	1	1,1	6	6,7	27	30
	Algún desconfort	75	83,3	75	83,3	61	67,8	73	92,2	63	70
	Gran desconfort	12	13,3	12	13,3	28	31,1	1	1,1	0	0

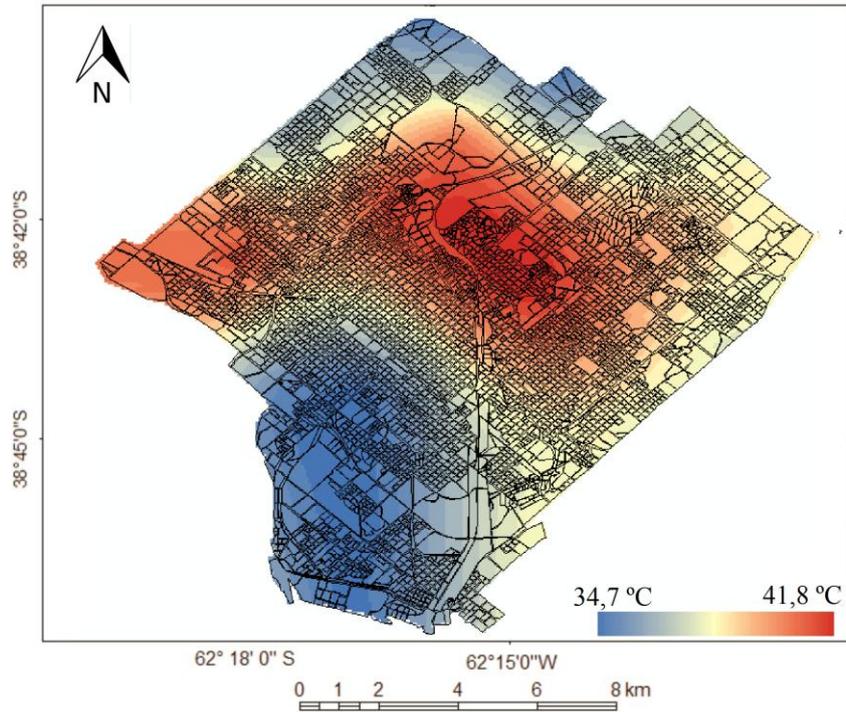
**Tabla 8.4.** Número de días de confort y desconfort en el verano de 2014 según los índices Humidex (H) Termo-higrométrico (THI) y Termo-anemométrico (P).

El día con mayor desconfort de verano fue el 18 de enero de 2014. Este día coincidió con un evento de ola de calor (Cap. 6). La distribución espacial de los tres índices calculados fue similar. El índice Humidex presentó al centro, Villa Floresta, UOM y Villa Mitre como las regiones más cálidas de la ciudad. La misma situación se presentó al analizar el THI. Sin embargo el P mostró un área cálida de menor extensión sobre el centro, Villa Floresta y Bella Vista (Figuras 8.10, 8.11 y 8.12).

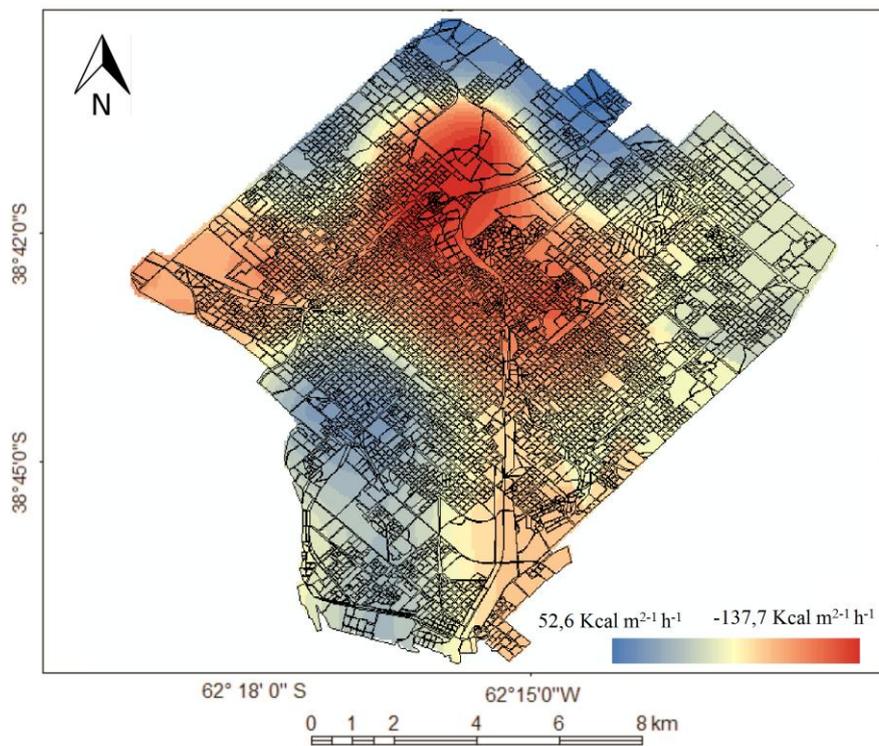
Los mínimos valores calculados coincidieron en los tres índices. El menor valor de Humidex fue 36,4 °C localizado en Ing. White seguido por CONICET (37,1 °C). Lo mismo ocurrió al analizar el THI (Ing. White (34,7 °C) y CONICET (34,9 °C). La diferencia se observó con el P. En él la región de CONICET fue la única que presentó valores positivos (52,6 Kcal m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). El resto de la ciudad tuvo valores negativos, es decir, situaciones de mayor desconfort (Figuras 8.10, 8.11 y 8.12).



**Figura 8.10.** Distribución espacial del Humidex del día 18 de enero de 2014.

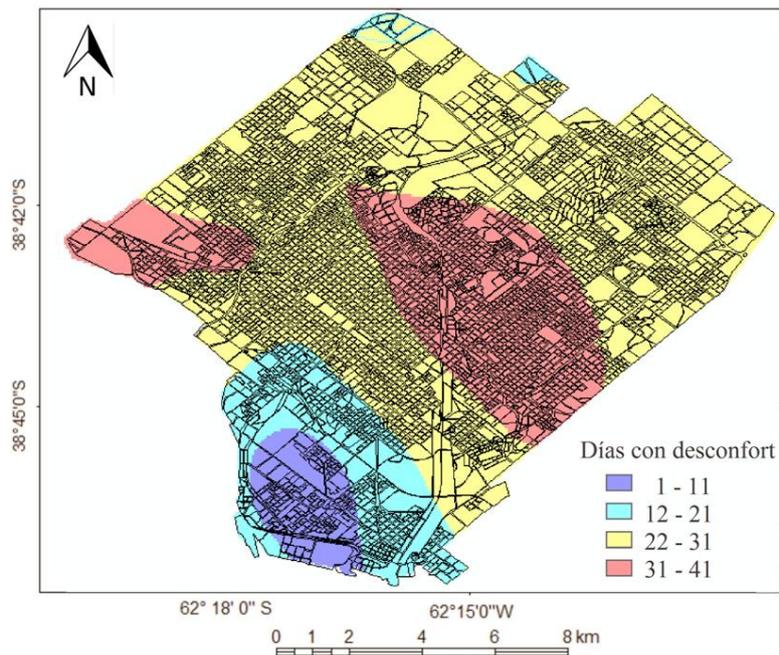


**Figura 8.11.** Distribución espacial del índice termo-higrométrico del 18 de enero de 2014.



**Figura 8.12.** Distribución espacial del P del día 18 de enero de 2014.

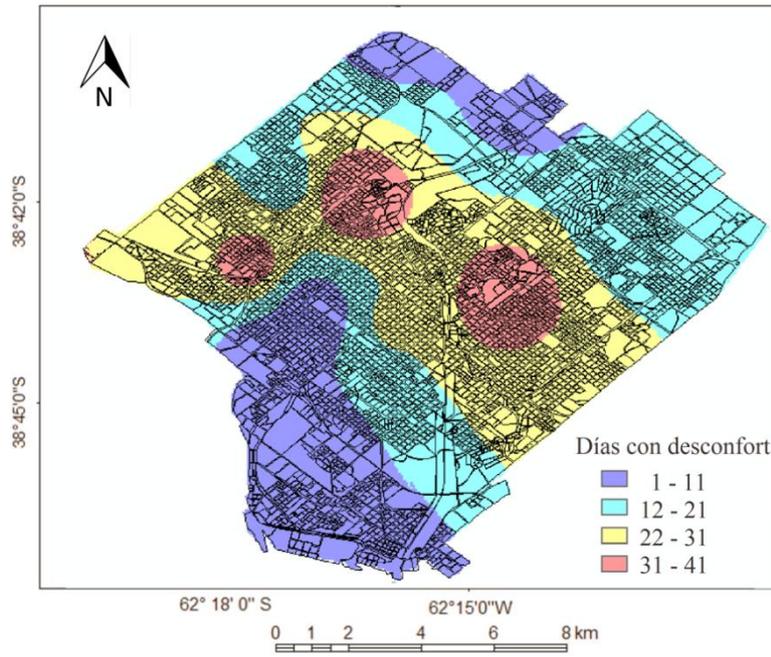
El número de días con *desconfort*, permitió identificar diferentes sub-áreas urbanas. Si se analizan los resultados estivales del Humidex, las zonas del centro y centro-este de la ciudad tuvieron mayor número de días con desconfort de verano y la región costera presentó la menor cantidad. El área que rodea a esta última junto con el extremo noreste de la ciudad registraron entre 12 y 21 días con desconfort (Figura 8.13).



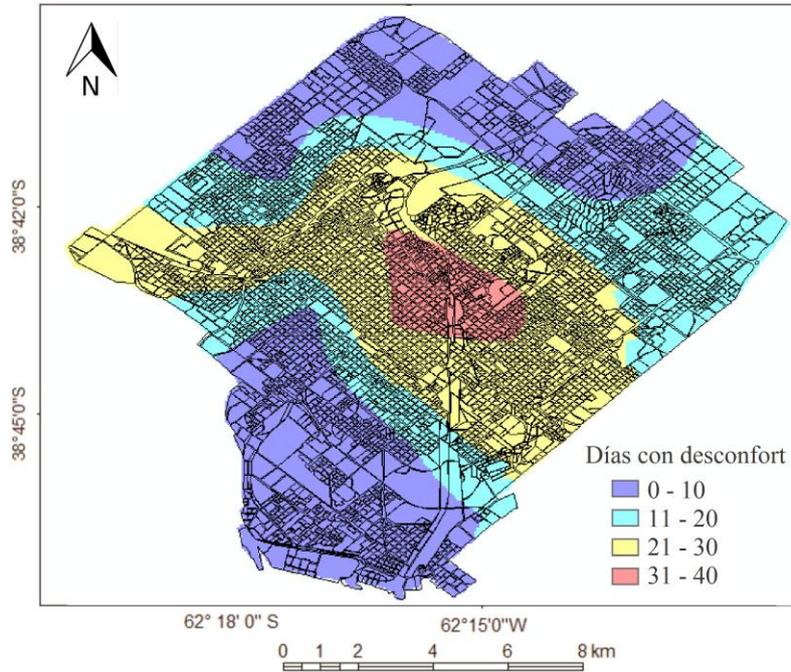
**Figura 8.13.** Número de días con desconfort según el índice Humidex.

La distribución espacial del número de días con desconfort de acuerdo al cálculo del índice THI permitió identificar tres áreas radio-concéntricas en Bella Vista, Villa Floresta y UOM (siendo las regiones más desconfortables de la ciudad). Según este índice la mayor concentración de días con desconfort se presentó en el centro de la ciudad y disminuyó hacia la periferia norte y sur (Figura 8.14).

Finalmente del análisis de los resultados del índice P se estableció que el centro urbano presenta mayor cantidad de días con desconfort. Una segunda región que se extendió desde oeste al sudoeste, atravesando el centro de la ciudad con menor número de días con estas características. Hacia el sur y hacia el norte de la ciudad, las condiciones de desconfort decrecieron significativamente con menos de 10 días con desconfort (Figura 8.15).



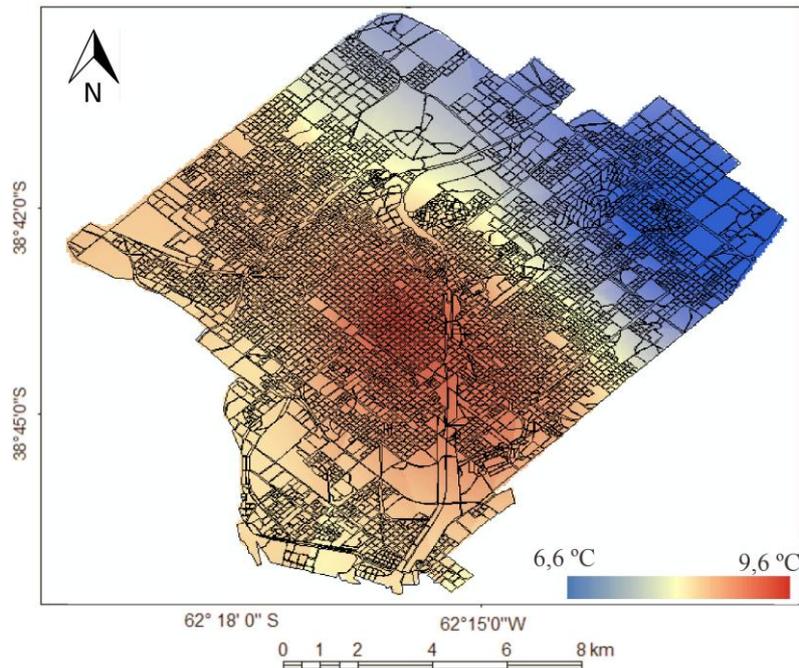
**Figura 8.14.** Número de días con desconfort según el índice THI.



**Figura 8.15.** Número de días con desconfort según el índice P.

### 3.2. Confort climático invernal

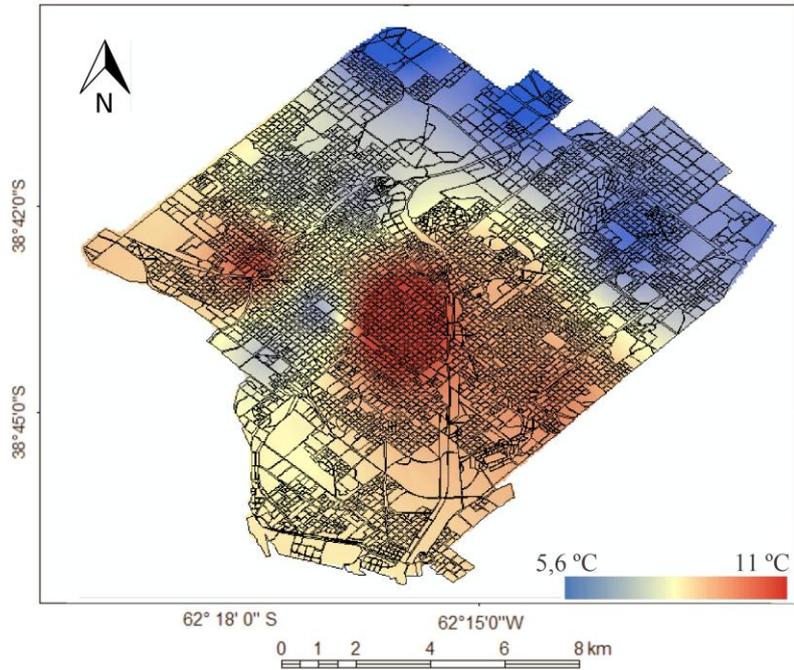
A partir del estudio del confort invernal utilizando el índice TE, se identificó que el centro y centro-este de la ciudad presentaron los mayores valores. Las zonas más frías se localizaron en el norte y noreste. El mayor valor de TE se registró en el centro con 9,6 °C y el menor en Patagonia con 6,6 °C (Figura 8.16).



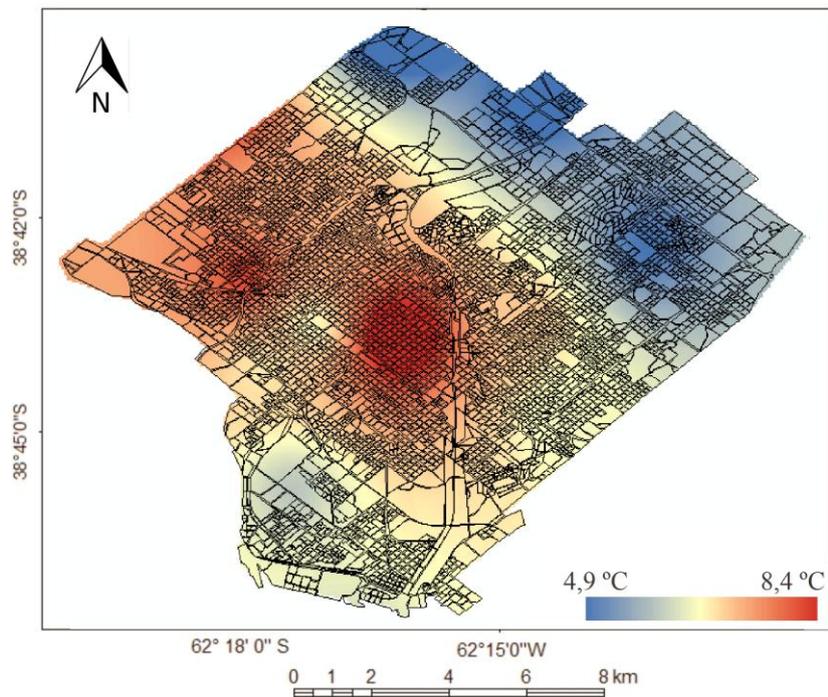
**Figura 8.16.** Índice de TE medio en el invierno de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.

El mes de junio fue el más cálido del invierno. En este, el centro y el oeste de la ciudad presentaron los máximos valores (11 °C), el centro-este y el sur tuvieron los intermedios y el norte, noreste y noroeste los mínimos (Figura 8.17). El centro registró una media mensual de 11 °C, Cooperación II 10,8 °C, Bella Vista 9,2 °C y Villa Mitre 8,6 °C. Los menores valores correspondieron a CONICET con 5,6 °C, Patagonia con 6,2 °C, Noroeste con 6,9 °C e Ing. White con 7,6 °C.

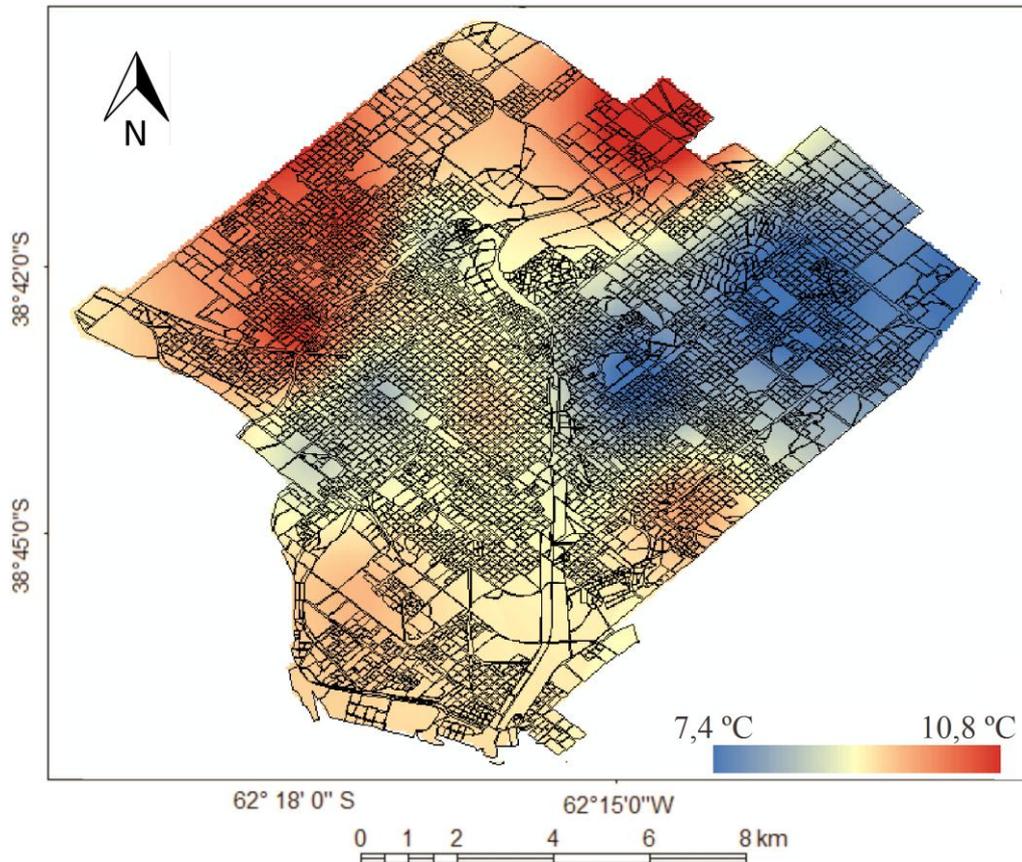
El mes de julio fue el más frío. La distribución espacial de la temperatura fue similar a la analizada en el mes de junio (Figura 8.18). La zona más cálida fue el centro con 8,4 °C y la más fría CONICET con 4,6 °C. Durante el mes de agosto se presentó un área cálida de mayor extensión en el oeste, una costa con valores intermedios y la periferia norte y noreste con los menores registros (Figura 8.19).



**Figura 8.17.** Índice de TE medio en junio de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.



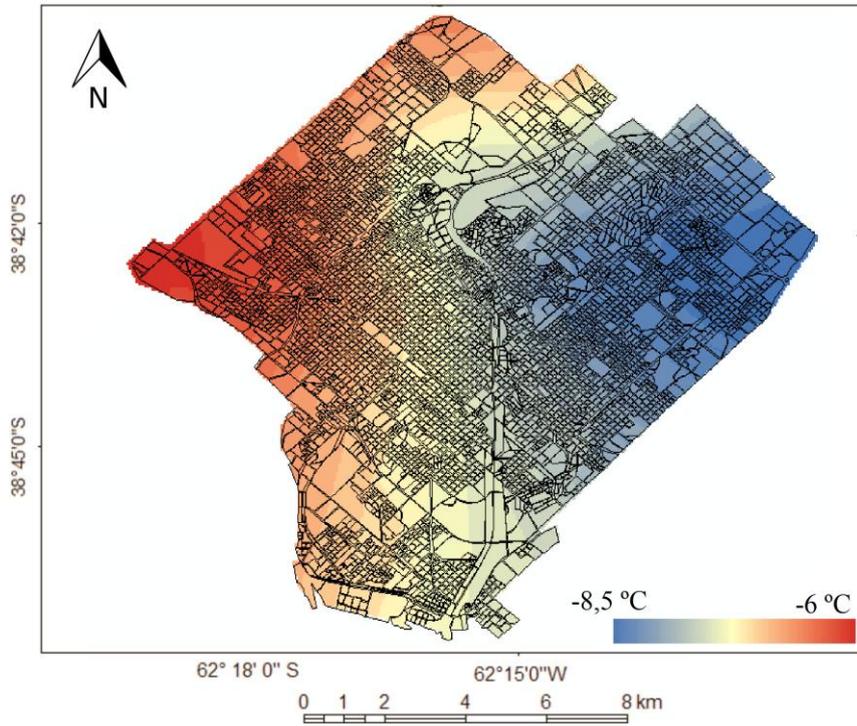
**Figura 8.18.** Índice de TE medio en julio de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.



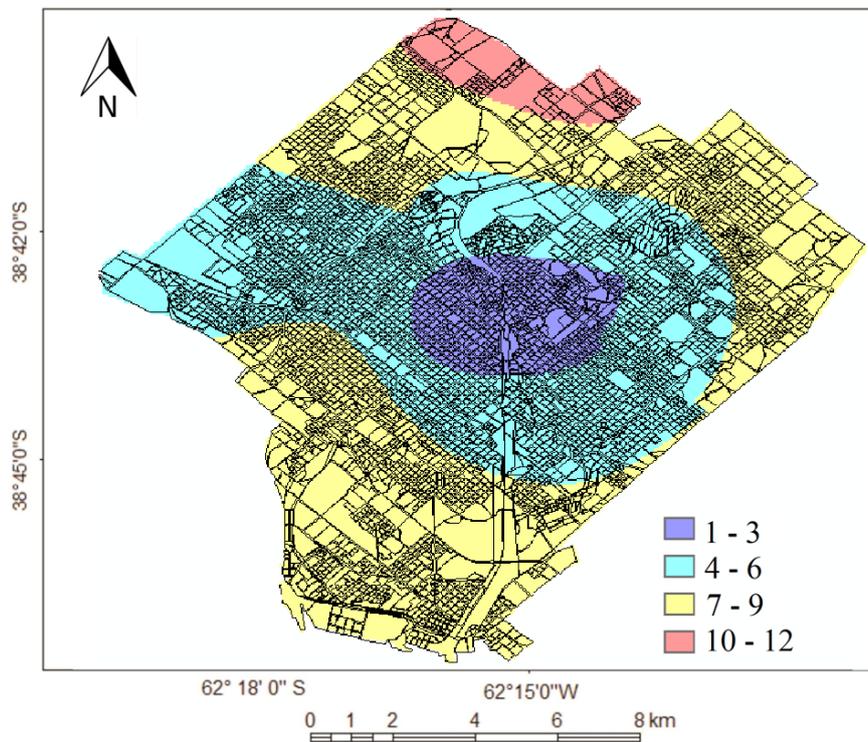
**Figura 8.19.** Índice de TE medio en agosto de 2014 en la ciudad de Bahía Blanca.

El factor de enfriamiento por los efectos del viento fue más intenso el día 25 de agosto de 2014 (15,5 °C). Durante este día, el oeste de la ciudad fue más cálido y se encontró un gradiente térmico que disminuyó en sentido sudoeste-noreste. Los registros intermedios se presentaron en el centro. En toda la ciudad la temperatura fue inferior a 0 °C. El área más cálida fue UOM (-5,6 °C) y la más fría Bella Vista (-8,5 °C) (Figura 8.20).

El número de días con medias diarias inferiores a 0 °C fue distinto según la localización y las condiciones de sitio. En el centro de la ciudad se encontró 1 día con temperaturas bajo cero, seguidos por Bella Vista (3), Villa Mitre (4), Cooperación II y OUM (5), Villa Floresta (6), Noroeste tuvo 7 días e Ing. White 8. Las regiones del norte y noreste presentaron 9 (Patagonia) y 12 días (CONICET) (Figura 8.21).



**Figura 8.20.** Índice de TE del 25 de agosto de 2014.



**Figura 8.21.** Número de días con temperaturas inferiores a 0 °C.

#### 4. Conclusiones

Los distintos índices calculados permitieron analizar el comportamiento espacial del confort urbano estival e invernal. Fue posible identificar distintas zonas según la cantidad de días con desconfort. Los resultados de los índices fueron relativamente similares.

Del análisis estival se consideró que los espacios urbanos con alta densidad de edificaciones, escaso arbolado urbano y menor influencia de los vientos, presentaron un comportamiento similar entre sí con hasta el 40 % de los días de verano desconfortables. Los espacios con vegetación urbana, cercanos al mar o menos modificados presentan situaciones óptimas de confort. Cabe destacar que durante el período de estudio la región del Parque Independencia presentó la situación más extrema debido a que la humedad relativa fue muy elevada por tratarse de un año lluvioso.

El análisis del confort invernal permitió observar las diferencias entre el centro de la ciudad y su periferia. Patagonia e Ing. White se comportaron de manera similar a la periferia norte. El resto de las áreas estudiadas tuvieron un patrón térmico similar a lo observado en el centro.

Del análisis de ambos índices se concluye que la ciudad de Bahía Blanca presenta 3 patrones de comportamiento del confort:

1. *Áreas densamente edificadas.* Estas presentaron una situación cálida durante el invierno con valores de TE de hasta 5 °C mayor que la periferia. Los días con temperatura bajo cero oscilaron entre 1 y 6. Los efectos del viento son modificados por la rugosidad de la superficie dada por la densidad de los edificios. Durante el verano estas áreas presentaron entre el 50 y 60 % de los días con desconfort. Estas podrían afectar la salud de la población por la exposición a condiciones térmicas extremas (Cepis, 2000; Confalonieri *et al.*, 2007; Genchi y Piccolo, 2008; García, 2009). Se englobaron en esta categoría al centro, Villa Mitre y Villa Floresta.

2. *Áreas con construcciones residenciales.* Son aquellos espacios con predominancia de urbanizaciones bajas, de escasa altura y de tipo residencial. Se destaca el ejemplo de Noroeste, donde los valores tanto de verano como de invierno presentaron mayor similitud con Ing. White que con el resto de la ciudad. Las zonas de Cooperación II y UOM presentaron una situación similar a la estación centro en el

invierno pero con valores más bajos. Esta área está caracterizada por los barrios Noroeste, Cooperación II y UOM. Se identificaron entre 0 a 30 días con desconfort en verano y entre 7 y 9 días con temperaturas medias diarias bajo cero en invierno.

3. *Áreas urbanas con predominancia de elementos naturales*. Este es el caso de los barrios-parque, la periferia norte e Ing. White. Estos espacios tuvieron la mayor confortabilidad durante el verano con más del 70 % de los días de confort climático. La definición y caracterización de estas áreas coincide con estudios previos realizados por Simpson, (1998), Capelli *et al.* (2005), del Río Sánchez (2008) y García (2009). La vegetación es un elemento del entorno urbano que reduce las situaciones con desconfort, creando un micro-clima particular. Para lograr estas características el espacio debe tener una alta densidad vegetal (Rojas Cortorreal, 2013). Estas áreas presentaron entre 9 y 11 días con temperaturas medias diarias bajo cero lo que generan la posibilidad de congelamiento por la superación del límite de resistencia al frío, con peligro de hipotermia (Genchi y Piccolo, 2008, Bustos y Piccolo, 2011). Se incorporaron en esta categoría a Ing. White, CONICET y Patagonia.

Este estudio del confort urbano es relevante para orientar las políticas de manejo del territorio dirigidas a mejorar la calidad de vida de la población. La expansión urbana y el crecimiento poblacional que la ciudad de Bahía Blanca está experimentando en los últimos años resaltan la importancia de obtener este tipo de información, sobre todo al planificar los espacios verdes y las actividades al aire libre de la población, teniendo en cuenta los grupos etarios vulnerables a situaciones con desconfort.

## Capítulo 9

### PROPUESTA DE MANEJO URBANO SOSTENIBLE

#### 1. Introducción

Las ciudades se encuentran en constante crecimiento generando impactos sobre el microclima urbano, afectando a la salud de la población, los ecosistemas urbanos, los recursos hídricos y la disponibilidad de agua (Vilani y Sanchez, 2013). Por ello, el proceso de urbanización planificado ha surgido como un mecanismo para afrontar esta situación. Este se basa no sólo en variables sociales y económicas sino que incluye las ambientales, teniendo en cuenta el clima de la ciudad ya que se lo considera como un elemento fundamental para lograr la sostenibilidad en los modelos desarrollados. En este contexto el clima urbano es el recurso limitante para el desarrollo ya que puede exponer a los ciudadanos a situaciones de riesgo ya sea por exceso de calor, frío, inundaciones etc. (Cuadrat *et al.*, 2014).

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) señala que a escala global la temperatura del aire se incrementará. Esta situación será más intensa en las ciudades por la generación de las Islas de Calor. Por este motivo se sugiere poner el estudio del clima urbano en el centro de atención para prevenir los cambios y definir estrategias de adaptación. En el contexto de cambio climático actual, las ciudades son los principales ejes de estudio debido a que en las mismas se concentran las mayores emisiones de gases de efecto invernadero y además son las fuentes artificiales de calor. La gestión del territorio debe estar orientada al desarrollo de infraestructura adecuada, a la provisión de agua potable, a la confortabilidad de los ciudadanos y al beneficio de su salud (Cuadrat *et al.*, 2014). Las arquitecturas bioclimáticas, como las terrazas verdes, se originaron para mejorar el confort climático de las personas. Las mismas son formas de adaptación del ser humano al clima (Ballesteros Zapata, 2013).

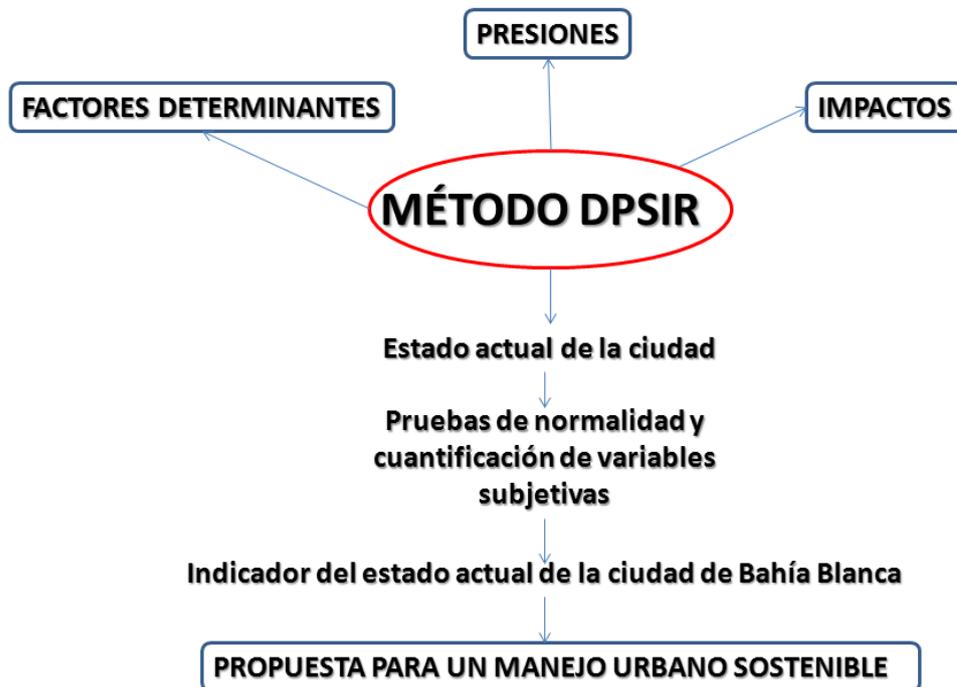
Las ciudades requieren de una planificación que ayude a generar un planeamiento urbano sostenible (Franco Silva y Pérez Salazar, 2008). Actualmente las urbanizaciones costeras en crecimiento generan una degradación del ambiente contribuyendo a intensificar el cambio climático actual (Sekovski *et al.*, 2012). En la literatura se encuentran trabajos realizados en las ciudades costeras a partir del método DPSIR (por sus siglas en inglés, *Driver-Pressure-State-Impact-Response framework*) (Agencia

Europea de Medio Ambiente, 1999 en Jago-On *et al.*, 2009). Este es una herramienta que considera distintos procesos ambientales con la finalidad de desarrollar propuestas de gestión apropiadas a cada espacio. Su desarrollo engloba variables de tipo social, económico y ambiental. Los factores determinantes surgen de las necesidades primarias de la población (comida, vestimenta, vivienda) y secundarias (movilidad, entretenimiento y cultura). Estos conducen a las presiones sobre el medio que por lo general se relacionan con procesos de producción y consumo, tales como el uso excesivo de los recursos y emisiones de gases a la atmósfera. Las presiones manifiestan el nivel de degradación que presenta el ambiente, pudiendo alterar la biodiversidad y la accesibilidad a los recursos naturales. Las respuestas surgen del conocimiento de las condiciones actuales y priorizan la reducción de los impactos negativos sobre el ambiente (Gabrielsen y Bosch, 2003; Kristensen, 2004; Sekovsky *et al.*, 2012).

En este capítulo, el conocimiento del clima de Bahía Blanca permitió diseñar un indicador del estado actual realizado con el fin de conocer las condiciones en las que se encuentra la ciudad. El objetivo del mismo fue analizar variables meteorológicas y sociales para establecer manejos del espacio urbano y así poder beneficiar las condiciones bioclimáticas y ambientales a partir del desarrollo de una propuesta de manejo urbano sostenible.

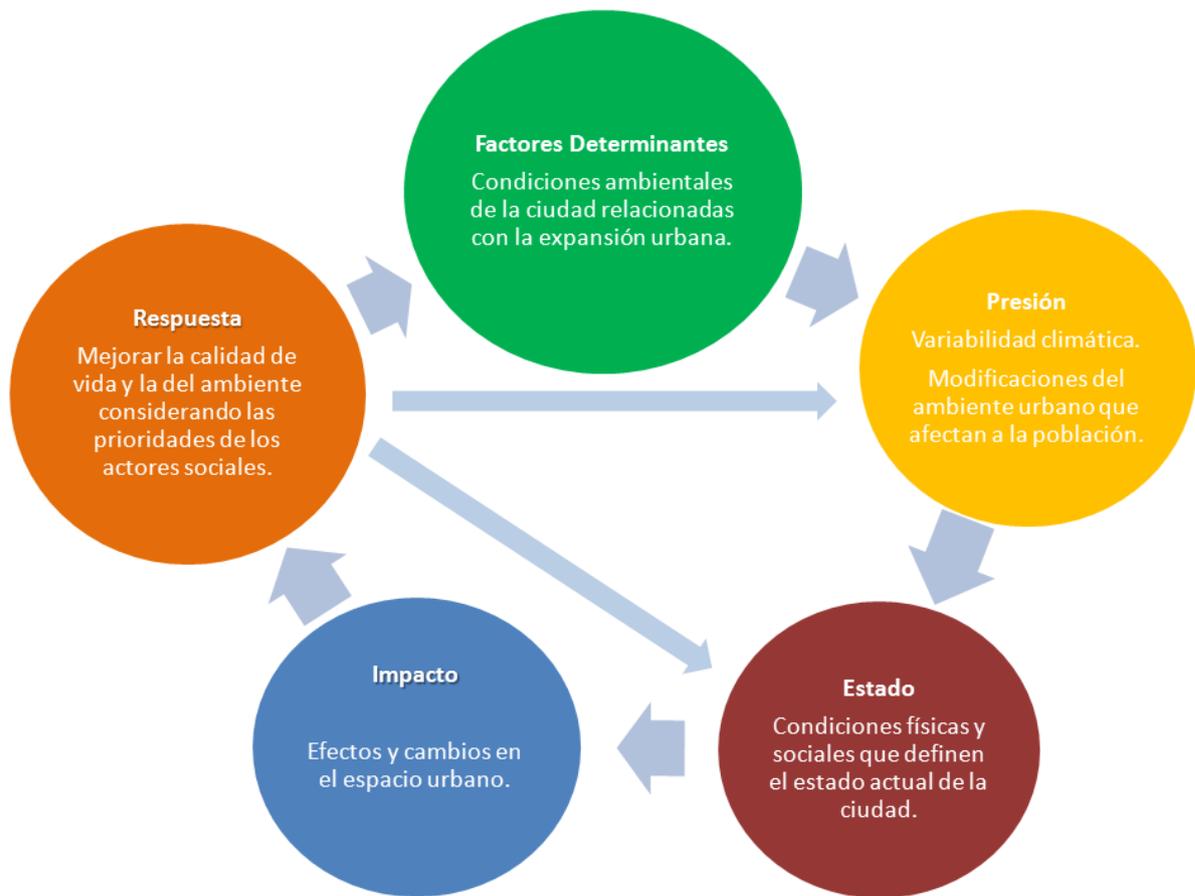
## **2. Metodología**

La metodología aplicada en este capítulo se detalla en la figura 8.1. La misma se basó en la aplicación del método DPSIR. Se diseñó un Indicador de Estado Actual de la ciudad de Bahía Blanca. Para desarrollarlo se realizaron pruebas de normalidad, se estandarizaron los datos y se cuantificaron las variables subjetivas derivadas de la aplicación de los cuestionarios (Anexo 3.1). Este Indicador permitió realizar y orientar una propuesta para un manejo urbano sostenible en la ciudad de Bahía Blanca considerando las distintas condiciones de sitio (Figura 9.1).



**Figura 9.1.** Esquema metodológico aplicado para identificar las propuestas para un manejo urbano sostenible.

El método DPSIR se adapta al estudio de los espacios urbanos. Se ha aplicado al estudio de ciudades costeras demostrando ser una herramienta simple, clara, organizada y fácil de aplicar (Pelling, 2011; Sekovsky *et al.*, 2012). El mismo está compuesto por cinco componentes principales: los factores determinantes (*Drivers*), Las presiones (*Pressure*), Estado (*State*), Impacto (*Impact*) y Respuesta (*Responses*). Las propuestas se basan en la recopilación de información de la sociedad y del ambiente con el objetivo de interpretar el efecto de las fuerzas externas sobre los posibles cambios sociales y económicos. En síntesis es un modelo que permite describir las inter-relaciones entre la sociedad y su ambiente. Se identificaron las problemáticas actuales de las ciudades costeras para contextualizar una propuesta de manejo urbano sostenible (Figura 9.2). Para la aplicación de esta metodología se realizó una búsqueda bibliográfica para fundamentar cada uno de los elementos caracterizados y además se incluyó la información derivada de los capítulos anteriores.



**Figura 9.2.** Esquema DPSIR para la ciudad de Bahía Blanca. Adaptado de Sekovski *et al.*, 2012.

Se utilizaron los datos obtenidos de los cuestionarios para incluir el análisis de la percepción de la población de los distintos barrios de la ciudad (Cap. 4 y Cap. 6 y Anexo 3.1). Por otro lado, se diseñó un *indicador de estado actual de Bahía Blanca* considerando la información analizada en los capítulos anteriores. Con los mismos se establecieron parámetros cuantitativos y cualitativos para caracterizar el estado actual de la ciudad. Las variables cuantitativas fueron las medias diarias de temperatura y humedad relativa (408 días) y los índices de confort (90 días). Todas ellas fueron estandarizadas para tener una ponderación de los datos que osciló entre 0 y 1. Para ello se tuvieron en cuenta los aportes de Berenson y Levine (1996). Se llevaron los valores a una distribución normal  $N(0, 1)$  a partir de la aplicación de distintas pruebas para verificar la existencia de la normalidad sobre los datos obtenidos con cada EP. Se tomó como representativa la zona Centro. La hipótesis nula  $H_0$  fue: Las variables meteorológicas de la EP- Centro siguen una distribución normal y la hipótesis

alternativa  $H_1$ : Las variables meteorológicas tienen una distribución distinta a la normal. Para probarlas se aplicaron las pruebas de Kolmogorov Smirnov y Shapiro Wilks con un  $\alpha$  0,05. Además, se realizaron los gráficos de QQ-Plot e histogramas de frecuencia y se calcularon la asimetría y el coeficiente de Curtosis (Lévy-Mangin y Varela Mallou, 2006). Los análisis se realizaron con el Software SPSS 17 (Anexo 9.1). Las variables cualitativas fueron las derivadas de los cuestionarios. Las mismas adquirieron una ponderación que osciló entre 0 y 1 teniendo en cuenta un criterio que se detalla más adelante.

Una vez analizada la normalidad de la serie de datos, las siguientes variables se consideraron para diseñar el indicador del estado actual de la ciudad de Bahía Blanca:

1. *Densidad edilicia*. Los edificios modifican la circulación del viento acentuando la presencia de aire contaminado por las actividades urbanas. Por este motivo se consideró con un valor 1 a aquellas regiones de la ciudad de Bahía Blanca en donde la densidad edilicia fue mayor y 0 a las que tuvieron menor (Cap. 5).

2. *Espacios Verdes*. Se estableció que los mismos son elementos importantes para el ambiente urbano ya que poseen la capacidad de reducir la carga radiante, favorecen la infiltración de las precipitaciones y permiten la realización de actividades recreativas. Este parámetro incluyó la importancia relativa que los encuestados le adjudicaron a los espacios verdes de los distintos barrios. Las zonas con mayor densidad de vegetación se las representó con un valor 0 y la escasez de los espacios verdes generó valores cercanos a 1 (Cap. 4 y 5).

3. *Isla de Calor Urbano*. La intensidad de la ICU fue distinta según la época del año (verano o invierno) y según la localización. Los valores se normalizaron y se hicieron representativos de cada una de las EP (Cap. 3).

4. *Temperatura de Superficie Terrestre (TST)*. Fue analizada desde el concepto de la expansión urbana. Permite inferir el crecimiento edilicio a partir de la rugosidad del espacio y la generación de sombras que generan valores bajos del parámetro. Para establecer su cuantificación se tuvo en cuenta el comportamiento que la TST presentó sobre cada cobertura urbana en el verano. Donde este parámetro presentó mayor variación espacial los valores fueron cercanos a 1 y cuando la variación fue mínima, cercanos a 0 (Cap. 5).

5. *Temperatura del aire.* Las zonas altamente edificadas presentaron valores de temperatura mayores que el resto de la ciudad. Aquellas estaciones que presentaron los mayores registros fueron las que se las identificó con 1 (Cap. 6).

6. *Humedad Relativa.* Se consideró que los espacios con mayor humedad relativa podrían verse favorecidos por la presencia de árboles y cercanía al mar por ello se los ponderó con 1 (Cap. 6).

7. *Efecto de los eventos extremos.* En esta sección se incorporaron por separado a todos los eventos meteorológicos analizados en esta investigación. La respuesta de la temperatura y la humedad relativa y sus intensidades ante estos eventos fueron distintas. Las zonas más afectadas se las consideró con el valor 1 y las menos con 0. Se consideraron las anomalías térmicas y de humedad relativa de cada barrio de la ciudad en relación con los umbrales estacionales, mensuales y diarios. De esta manera se incluyeron las variaciones térmicas y de la humedad relativa en todas las escalas temporales. Se consideraron: vientos del norte y del sur, las olas de calor de verano e invierno, las olas de frío estival, los chubascos, las heladas y las nieblas (Cap. 7).

8. *Confort climático estival.* Las zonas con mayor número de días de desconfort fueron las que presentaron el valor 1. Este criterio incluye los 3 índices analizados dado que presentaron situaciones diferentes entre sí (Cap. 8)

9. *Confort climático invernal.* Se estandarizaron los datos de confort obtenidos con el índice de Temperatura Equivalente (Cap. 8).

10. *Percepción sobre la calidad ambiental.* Se consideró 0 al estado ambiental Muy Bueno, 0,25 a Bueno, 0,5 a Regular, 0,75 a Malo y 1 a Muy Malo (Cap. 4, Anexo 3.1)

11. *Percepción sobre el Incremento del tránsito Vehicular.* El criterio adquirido fue 0 para el crecimiento Sin cambios, 0,5 para el Medio y 1 para Alto (Cap. 4, Anexo 3.1)

12. *Aumento de las edificaciones.* Se consideró 0 al aumento Muy Bajo, 0,25 al Bajo, 0,5 al Medio, 0,75 al Alto y 1 al Muy Alto (Cap. 3, Anexo 3.1).

13. *Problemas ambientales.* Los encuestados identificaron distintos problemas ambientales en los diferentes sectores de la ciudad. Aquellas que presentaron mayor número se identificaron con 1 y el 0 correspondió a las que no lo tuvieron (Cap. 4, Anexo 3.1).

14. *Sensación térmica urbana.* Incluye la sensación de la población ante los cambios térmicos analizados. El valor 1 fue para Gran aumento térmico, 0,66 El aumento fue moderado, 0,33 Aumento leve, 0 La temperatura disminuyó (Cap. 5, Anexo 3.1).

15. *Eventos extremos percibidos.* La cantidad de eventos extremos percibida por los habitantes de cada barrio fue distinta. Aquellos que presentaron mayor número fueron los que adquirieron 1 y los que no presentaron ninguno 0 (Cap. 3, Anexo 3.1).

De esta manera se definió el Indicador de Estado Actual de Bahía Blanca de la siguiente manera:

$$IEA_{BB} = D_e + E_v + I_{cu} + T_{st} + T_a + H_r + Ev_{ex} + CC_e + CC_i + CA_p + TV + A_{ed} + PA_p + S_t + Ev_{exp}$$

donde IEA<sub>bb</sub> es el Indicador del estado actual de Bahía Blanca,

D<sub>e</sub> es la densidad edilicia en los distintos coberturas de la ciudad,

I<sub>cu</sub> Son los efectos de la Isla de Calor Urbana tanto en temperatura como en la humedad relativa,

T<sub>st</sub> son los efectos de la Temperatura de Superficie Terrestre sobre las coberturas del suelo,

T<sub>a</sub>, Temperatura del aire,

H<sub>r</sub>, Humedad Relativa,

Ev<sub>ex</sub>, es el efecto sobre la temperatura y la humedad relativa de los distintos eventos extremos analizados,

CC<sub>e</sub>, Confort climático estival considerando el Humidex, el THI y el P,

CC<sub>i</sub>, Confort climático de invierno teniendo en cuenta el índice Te,

CA<sub>p</sub>, Calidad ambiental percibida,

TV, tránsito vehicular percibido,

A<sub>ed</sub>, Aumento de las edificaciones percibido,

PA<sub>p</sub>, Problemáticas ambientales percibidas,

S<sub>t</sub>, Sensación térmica urbana,

EV<sub>exp</sub>, Cantidad de eventos extremos percibidos,

Los resultados para la ciudad de Bahía Blanca oscilaron entre 9 y 18. Con este rango se identificó los valores 8-10 como *Región I*, 11-13 *Región II*, 14-16 *Región III* y > 16 *Región IV*. Los resultados de este indicador fueron incorporados y analizados con un Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.3. El documento cartográfico generado tuvo en cuenta las distintas regiones representadas por los sitios de medición y sirvió de base para generar una propuesta de desarrollo urbano sostenible.

### **3. Resultados**

#### **3.1. Método DPSIR**

##### **3.1.1. Factores determinantes de los problemas ambientales de las ciudades costeras**

El primer factor determinante es la expansión urbana. La ciudad de Bahía Blanca se expandió un 110 % en los últimos 30 años (Cap. 4). El crecimiento de las ciudades genera un desarrollo industrial, económico y social que impactan en el territorio urbano. Las consecuencias son el acelerado crecimiento de la población, la expansión de la ciudad, migraciones rural-urbanas y el incremento de los sistemas de transporte. Estos factores hacen que las ciudades se transformen en espacios dinámicos en constante crecimiento (Rojas Quezada *et al.*, 2009). Las ciudades latinoamericanas de tamaños medios han manifestado un incremento poblacional, de tal manera que en la actualidad el ambiente urbano es el principal nicho ecológico de la mayor parte de los habitantes del continente (Romero *et al.*, 2008).

Como consecuencia, se generan en las urbanizaciones altos niveles de segregación socio-ambiental, contaminación de las aguas, aire y suelos y una degradación del paisaje (Romero y Vásquez, 2007; Vásquez *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2009). Las migraciones rural-urbanas se incrementan en las ciudades costeras debido a las oportunidades laborales que tienen y por la variedad de actividades que pueden desarrollar, como pesca, transporte y su potencial turístico-recreativo (Timmerman y White, 1997; Jiang *et al.*, 2001). La ciudad de Bahía Blanca es la más grande de la región del sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Esta característica es percibida por los migrantes como una potencial fuente de empleo, educación de nivel universitario y económico que pueden generar hasta flujos extrajeros de capitales (Brockerhoff, 1999).

Otro de los factores limitantes son la reducción de los espacios verdes. Las ciudades actuales presentan, en general, una urbanización de tipo difusa y extendida, policéntrica y basada especialmente en el uso de automóviles para el transporte de los ciudadanos (Borsdorf, 2006). A raíz de ello se han aumentado las superficies construidas y se ha impermeabilizado la superficie. Como consecuencia se ha extendido el espacio urbano sobre los terrenos que anteriormente eran agrícolas o representaban paisajes naturales (Romero *et al.*, 2007).

Las transformaciones generadas producto del crecimiento urbano han modificado la estructura y organización interna. La expansión de los usos residenciales, de los servicios y las industrias se han hecho sobre los espacios verdes disponibles. Históricamente estos últimos fueron utilizados para la recreación y contención del crecimiento urbano, a pesar de ello, los procesos de urbanización recientes comprometieron la preservación de las áreas verdes, especialmente en aquellas ciudades que no cuentan con una planificación o un plan de ordenamiento territorial (García y Guerrero, 2006).

Los espacios verdes pueden ser agrupados en espacios abiertos, lugares recreativos y de esparcimiento como los parques y plazas y sitios de acceso restringido. Estos últimos corresponden a los barrios-parque en donde los lugares altamente vegetados de tipo residencial adquieren estatus social (García y Guerrero, 2006). 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 y Ridd, 1998; Goetz *et al.*, 2000; Dimoudi y Nikolopoulou, 2003; Weng *et al.*, 2004; Sepulveda Moreno, 2006; Sarricolea *et al.* 2006; Oltra-Carrió *et al.* 2010). Actualmente, las funciones ecológicas de los espacios verdes se ven afectadas por distintos usos del espacio: turismo, recreación, poda de árboles, etc.

El uso del espacio urbano también se comporta como un factor determinante de los problemas ambientales. Debido a las diferencias en las condiciones socio-económicas de la población urbana, se generan distintos tipos y densidades de ocupación del espacio. Cada uno de ellos presenta una diversa calidad ambiental y un paisaje urbano

diferente. Las diferentes coberturas urbanas representan los procesos de segregación socio-ambiental y compromete en ciertas ocasiones a las actividades urbanas sobre la salud de los ecosistemas y las poblaciones (Arriagada y Rodríguez, 2003; Vásquez y Romero, 2007; Romero y Vásquez, 2007; Romero *et al.*, 2007). Las distintas ocupaciones del espacio urbano generan que las poblaciones presenten distintos grados de vulnerabilidad social debido a que las condiciones geofísicas son heterogéneas en estos ambientes. Para conocer el funcionamiento de una ciudad, es importante tener en cuenta el conjunto de centros urbanos de diferentes tamaños. Estos están funcionalmente integrados. La expansión urbana ha generado un territorio caracterizado por la presencia de núcleos que pueden organizarse en distintos tipo de estructuras. De esta manera se obtiene una ciudad constituida por diversos núcleos urbanos estrechamente relacionados entre sí que conforman una unidad funcional. Entre ellos se generan flujos de bienes y servicios (Vásquez *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2008).

En general las distintas coberturas del suelo presentes en una ciudad podrían relacionarse con un patrón espacial que es común a un mismo espacio. Son ejemplo, 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).

### **3.1.2. Presiones sobre el ambiente urbano**

El clima urbano genera distintas presiones sobre el ambiente. La ciudad de Bahía Blanca presenta una marcada estacionalidad relacionada con la latitud y la circulación atmosférica global que le dan las características de un clima templado (Cap. 2). Se han observado cambios en todas las variables meteorológicas, algunas relacionadas con el crecimiento de la ciudad, como la disminución del viento y otras relacionadas a variaciones naturales del clima, como la alternancia de ciclos húmedos y secos.

La mayor modificación producida por las ciudades es la generación de un clima local, denominado clima urbano. El mismo es uno de los elementos más significativos de las diferencias socio-ambientales en el interior de todas las ciudades de América Latina. Los distintos barrios, cuya localización está relacionada con los ingresos económicos, presentan diversas situaciones de usos y coberturas del suelo, generando modificaciones más o menos favorables para la calidad ambiental (Romero *et al.*, 2007).

La presencia y crecimiento de las Isla de Calor Urbana se relacionan con la absorción y retención de la radiación solar (Oke, 1995). Como ya se mencionó con anterioridad en esta tesis, esto depende de la naturaleza del suelo, la pendiente, la densidad de las construcciones, los materiales de construcción y la presencia (o no) de vegetación.

Las condiciones de sitio y el crecimiento desigual de la ciudad generan diferentes densidades edilicias. Estas impactan no sólo en las condiciones atmosféricas locales sino que además genera 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 y McGeehin, 2008) Todo ello impacta sobre la calidad de vida de la población.

### **3.1.3. Estado ambiental**

La calidad del aire en las ciudades se ve modificada por la masiva emisión de gases a la atmósfera (Sekovski *et al.*, 2012). Las fuentes de calor antrópico como las utilizadas para la refrigeración y calefacción, el tránsito y las industrias impactan sobre la calidad del aire debido a la escasa ventilación de las ciudades (Capelli de Steffens *et al.*, 2001). Además la contaminación sonora relacionada con las condiciones del aire y con el tránsito vehicular, puede generar niveles peligrosos para los habitantes de la ciudad (Murthy *et al.*, 2001).

El crecimiento de la ciudad de Bahía Blanca generó que la velocidad del viento se modifique por la forma y orientación de los edificios. Estos originan vórtices y torbellinos en ciertos sectores de la ciudad (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). El movimiento continuo del aire en la ciudad es fundamental para el bienestar térmico y las condiciones bioclimáticas de la población (García, 2005). La morfología urbana produce barreras que modifican este parámetro. El centro de la ciudad presenta una velocidad del viento menor que su periferia debido a la gran cantidad de obstáculos y barreras que debe atravesar (Piccolo *et al.*, 1994; Higuera, 1998).

La temperatura del aire se incrementó 0,9 °C y la humedad relativa fue 6 % menor en 2014 en relación con 1986. Estos cambios en los parámetros meteorológicos estarían relacionados con el aumento del tránsito y la sustitución de suelo natural por

edificaciones que modifican el albedo urbano e impactan sobre el clima de la ciudad (Sepulveda Moreno, 2006). 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 y Nikolopoulou, 2003).

El confort climático analizado permitió establecer que las áreas construidas presentan mayor número de días de desconfort en la ciudad mientras que las áreas con menor cantidad de construcciones fueron las más confortables. Si bien las situaciones de desconfort son subjetivas a las personas y dependen en muchos aspectos de sus características físicas, los extremos de confort podrían poner de manifiesto situaciones críticas para la población, sobre todo a aquel grupo que realiza actividades al aire libre (García, 2009; Bustos y Piccolo, 2011). Las situaciones adversas de confort en las ciudades de clima templado ponen de manifiesto la necesidad de contar con abundante cantidad de espacios verdes. El arbolado urbano de tipo caduco es el ideal para mitigar los efectos adversos del desconfort ya que provee de sombras en verano y en invierno, al perder el follaje permite el ingreso de la radiación, además mejora la calidad del aire y el paisaje urbano (Puliafito *et al.*, 2009). Por otro lado, el viento adquiere importancia al momento de disipar las condiciones de calor del cuerpo durante los eventos cálidos (García, 2005).

#### **3.1.4. Impactos que alteraron las condiciones del ambiente**

Las condiciones actuales de las ciudades generan un entorno caracterizado por la contaminación sonora, la presencia de abundantes edificios en altura que impactan en la pérdida de biodiversidad y degradación del ambiente humano. La creciente concentración de las industrias en las ciudades está acelerando estos procesos e incrementando la vulnerabilidad de los ciudadanos ante desastres naturales (Kreimer y Munasinghe, 1992). La constante demanda de espacios urbanos ha empujado a las ciudades a expandirse sobre terrenos rurales, generando en muchos casos asentamientos de alta vulnerabilidad climática. Además las ciudades portuarias se ven afectadas por el tráfico marino que puede generar alteraciones físicas producto de la introducción de especies exóticas derivadas de las descargas de agua de los barcos (Tamburri *et al.*,

2002). Además, los estuarios se ven muchas veces contaminados por la presencia de metales pesados y por las actividades de dragado (Zhang, *et al.*, 2006). Este es el caso del estuario de Bahía Blanca que limita con la localidad de Ingeniero White.

En los últimos años se ha producido una modificación de los ecosistemas como resultado de las actividades humanas y de las formas de intervención del hombre sobre la naturaleza (Hoffmann, 1996). La deforestación a gran escala, el cambio climático y el crecimiento desordenado de la población pusieron en riesgo comunidades biológicas (Rozzi *et al.*, 2001) y a los servicios ecosistémicos que ellos proporcionan (Almeida-Leñero *et al.*, 2007). Estos últimos son todos aquellos beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). La reducción de los servicios ecosistémicos en las ciudades se relaciona principalmente con la impermeabilización de los suelos (Cram *et al.*, 2007) y la reducción de la vegetación (Avilés y Guitierrez Chaparro, 2010). Teniendo en cuenta los autores anteriormente citados, se pueden mencionar:

- Reducción de la infiltración del agua por la impermeabilización de los suelos,
- Pérdida de soporte y suministro de nutrientes del suelo a las plantas,
- Reducción de las capturas de carbono,
- Disminución de las barreras contra la contaminación sonora,
- Aumento de la contaminación del aire por la reducción del arbolado urbano,
- Pérdida de la capacidad de reciclaje de compuestos orgánicos del suelo,
- Pérdida de la estética urbana para el desarrollo del turismo urbano o recreación,
- Pérdida de la biodiversidad,
- Destrucción del paisaje y los sitios para la recreación,
- Reducción de las sombras del arbolado urbano por exceso de poda o por inexistencia del mismo,
- Escasez de producción de oxígeno, etc.

Por otro lado, la Isla de Calor Urbano genera la pérdida de calidad de vida en las ciudades, destacándose como fuente principal el desconfort térmico que en ciertas ocasiones puede comprometer la vida de la población. Además estos fenómenos pueden

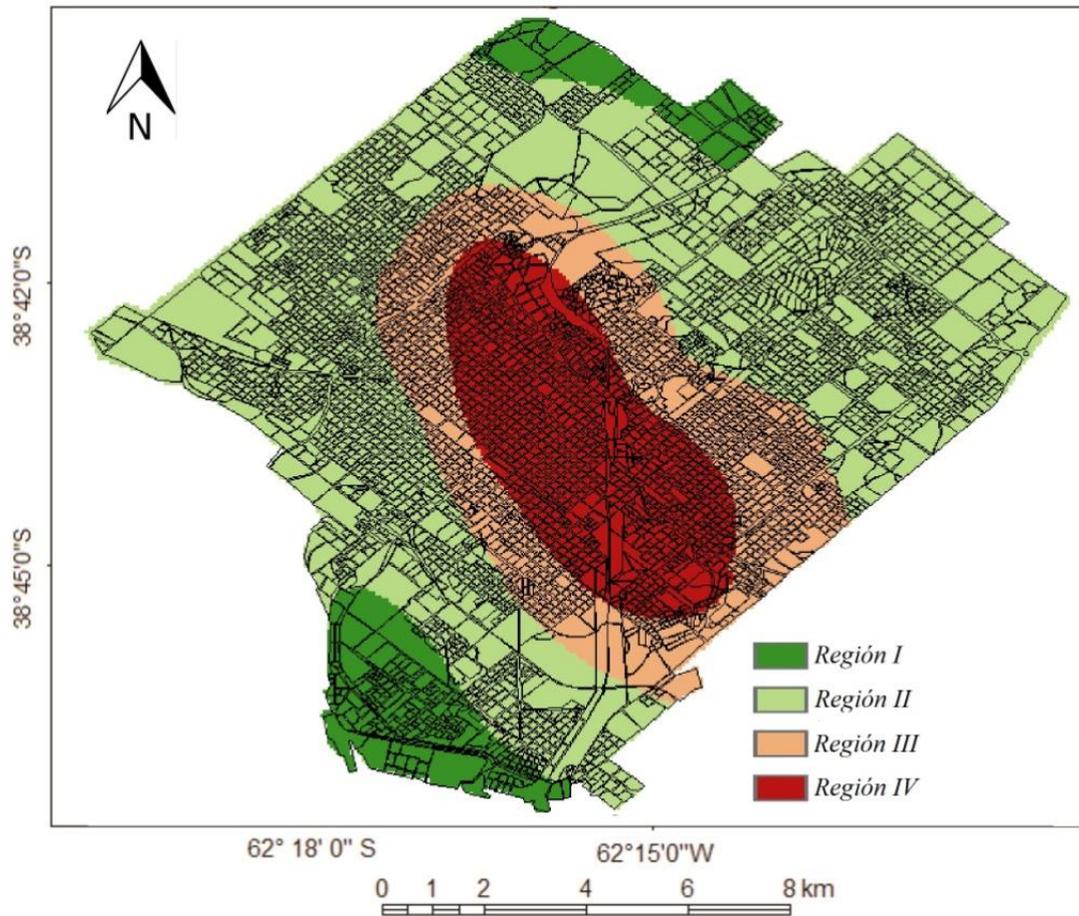
causar enfermedades respiratorias debido a las oscilaciones térmicas diarias que favorecen la concentración de contaminantes atmosféricos (Patz, *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2007). La ICU además contribuye a aumentar la presencia de gases de efecto invernadero. Estos efectos se ven agravados por la retención del calor de las zonas construidas. Estas liberan la radiación absorbida en la noche, creando una fuente artificial de calor (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). La degradación del ambiente urbano afecta los recursos naturales, generando que se perjudique la calidad del aire al aumentar la cantidad de bióxido de carbono que es perjudicial para la salud de la población (Wark y Warner, 2001).

La contaminación del agua, el desigual acceso a la misma y los basurales a cielo abierto son tres problemas que más afectan a las poblaciones urbanas (Vlahov y Galea, 2002). La contaminación del aire genera enfermedades respiratorias como cáncer de pulmón, problemas cardiorrespiratorios y mortalidad prematura (Molina y Molina, 2004). Además se generan impactos sobre las condiciones socio-económicas de la población. Las actividades agropecuarias se reducen producto de la expansión de las ciudades, pudiendo insatisfacer las demandas alimenticias de los habitantes (Pingali, 2006). Las degradaciones en los ambientes costeros pueden afectar la industria pesquera, las floraciones de algas son producidas, en algunos casos, por la contaminación de las ciudades costeras (Jiang *et al.*, 2001). Finalmente la actividad turística puede verse afectada como producto de la degradación ambientales (presencia de basura, deterioro de las costas, etc.) que afectan en la decisión del turista de visitar un sitio u otro (Li, 2003).

En ciertas ocasiones, los eventos extremos como las sequías, las inundaciones, las olas de calor y frío o las tormentas pueden desabastecer a la población de los servicios públicos. Entre ellos es posible mencionar la disponibilidad de agua, el acceso a la red eléctrica, gas natural, cortes de las redes de comunicaciones, etc. Según los ciudadanos de Bahía Blanca, las problemáticas ambientales que más efectos tienen sobre la ciudad son la presencia de olas de calor, de frío, modificaciones en los vientos, aumento de las tormentas severas y de las precipitaciones.

### 3.2. Estado actual de la ciudad de Bahía Blanca

El estado actual de la ciudad de Bahía Blanca permitió establecer cuatro zonas según el IEA. Las mismas se identificaron como Región I, Región II, Región III y Región IV (Figura 9.3).



**Figura 9.3.** Indicador de Estado Actual de la ciudad de Bahía Blanca.

*Región I.* Corresponde a aquellas áreas localizadas en la periferia norte y noreste de la ciudad y a la zona costera de Ing. White donde el IEA medio es 9,65. Las mismas se caracterizan por presentar urbanizaciones poco densas, de escasa altura y densidad. Presentan una temperatura media anual inferior a los 17 °C. Además tienen las menores amplitudes térmicas anuales. En la zona de Ing. White, la humedad relativa tiene una función importante que es la de regular la temperatura del aire y generar situaciones de confort en casi todo el verano. En el norte y noreste, los efectos del viento generan variaciones significativas en la humedad relativa, sin embargo, la ausencia o escasez de

edificaciones no generan una fuente de calor artificial, por lo que su comportamiento es como el de la periferia urbana. Estas áreas presentan el menor número de días con desconfort en el verano, con un promedio de 10. Sin embargo, son las áreas más desconfortables en invierno. El norte presenta un mayor valor de TST que el centro de la ciudad por su temprana exposición al sol, mientras que el sur tiene menores variaciones producto de la influencia del estuario. Los espacios verdes son abundantes. Durante las mediciones de isla de calor realizadas tanto en 1985 como en 2014 presentaron los menores valores de intensidad de ICU (diferencia térmica entre el espacio construido y la periferia).

A pesar de ello, esta región tiene grandes impactos en la temperatura y la humedad relativa durante los eventos extremos analizados. Los vientos del norte aumentan la temperatura del aire y reducen significativamente su humedad, ocurriendo lo contrario durante los eventos de vientos del sur. Las olas de calor y de frío no afectan de forma intensa a estos espacios. La región I se caracteriza por la presencia de niebla y las heladas se registran en la zona norte.

En cuanto a la percepción sobre estos espacios, el tránsito vehicular se consideró en un 54 % que su aumento fue Medio y en un 44 % que fue Alto. El 63 % consideró que este espacio tiene un estado ambiental regular, mientras que el 37 % lo caracterizó como Malo. Ello se debe en un 61 % a la presencia de las industrias localizadas en el puerto de la ciudad y en menor medida (17 %) a la falta de conciencia social sobre el cuidado del ambiente. Además la zona norte ha aumentado en los últimos años la construcción de barrios residenciales incrementando el tránsito vehicular. El 22 % restante consideró que las actividades que ocasionan impactos sobre el ambiente son el aumento del tránsito vehicular, el crecimiento de las edificaciones y el loteo de espacios rurales para la urbanización. Los problemas ambientales percibidos demuestran que la escasez de arbolado urbano (55 %) es lo que más afecta a la población en el sector sur, seguido por cloacas y calles en mal estado (42 %) y presencia de basura en la vía pública (3 %). El 72 % de la población percibió cambios en la temperatura, de ellos el 51 % consideró un aumento moderado, un 39 % un incremento alto y un 10 % un crecimiento leve del parámetro. El mismo porcentaje de población percibió un incremento de los eventos extremos sobre estos espacios. De ellos el 50 % percibió un aumento de las precipitaciones y el otro 50 % un aumento de los eventos de olas de calor.

*Región II.* Son aquellas zonas urbanas de tipo residencial que rodean el centro de la ciudad junto con los barrios parque. La componen los barrios Noroeste, UOM, Cooperación II y Patagonia. El IEA medio es 11,8. Se caracterizan por presentar una temperatura media de 17,2 °C. La región tiene edificaciones bajas con arbolado urbano abundante en algunos sectores. La humedad relativa es mayor en Patagonia y disminuye hacia Noroeste. Se observaron 25 días con desconfort en el verano y 8 días con temperaturas bajo cero en el invierno. El mayor desconfort se presenta en UOM y el menor en Cooperación II. Los eventos extremos presentan los efectos menores que en las Regiones III y IV. Los vientos del sur producen un aumento mayor de la humedad relativa en el barrio Noroeste. Las heladas y nieblas se presentan sobre la región de Patagonia, UOM y Cooperación II pero no sobre la Noroeste. Los efectos de la isla de calor urbano presentan intensidades de hasta 2,3 °C mayor que la periferia. La TST tiene variaciones significativas producto de la alternancia entre edificios y terrenos al descubierto. Los espacios verdes son numerosos en Patagonia.

En cuanto a la percepción de la población se encontró un caso particular al analizar esta región. En el barrio Patagonia los encuestados manifestaron la necesidad de estar conformes con la cantidad de espacios verdes presentes (51 %). En las demás, la población requirió un aumento de estos espacios (80 %). El estado ambiental de esta región es Regular (50,1 %) y en menor medida Malo (25,9 %) y Muy Malo (16 %). Sólo el 8 % considera que el estado ambiental de esta región es Bueno. El 82,2 % de los encuestados consideraron un aumento en el número de edificaciones, mientras que un 17,8 % no lo hizo. En cuanto al tránsito vehicular, el 77 % consideró que se observa un incremento del mismo de los cuales el 57 % consideró un aumento Alto, un 29 % Medio, 10 % Muy Alto y 4 % Bajo. En lo que respecta a los problemas ambientales, los ciudadanos las atribuyeron que la mayoría están relacionados a la falta de arbolado urbano y a la escasez de plazas (51,6 %), a las calles en mal estado (25,8 %), presencia de basura en la vía pública (12 %) y en menor medida a la contaminación del aire por mal olor (10,6 %). El 77,6 % consideró un incremento en la temperatura de los cuales el 70 % percibió un gran aumento del parámetro. Finalmente, el 89 % notó un incremento de los eventos extremos, siendo mayoritario las olas de calor (48 %) y el aumento de las precipitaciones (38 %).

*Región III.* Es aquella zona representada por los barrios Bella Vista y Villa Floresta. Se caracteriza por ser un espacio con presencia de edificios en altura pero más dispersos que en el centro. La densidad edilicia es mayor que en la Región III. En ambos espacios se encuentran los parques más importantes de la ciudad, Parque de Mayo y Parque independencia. El valor medio del IEA es 14,25. La temperatura media anual de esta región es de 17,8 °C y la humedad relativa de 58 %. La temperatura de superficie terrestre mantuvo un comportamiento uniforme sobre los espacios verdes pero fue irregular sobre las áreas con construcciones. Los espacios verdes son abundantes pero según los ciudadanos los mismos están en mal estado. Los índices de confort de verano permitieron establecer que esta región presenta 36 días con desconfort en verano y 5 días con temperaturas medias diarias inferiores a 0 °C en invierno. La intensidad de la Isla de Calor Urbana sobre estas regiones fue 2,5 °C. Los eventos extremos manifestaron un impacto moderado sobre la región. No se genera la formación de nieblas ni heladas y los efectos de los vientos fueron iguales a los registrados en la Región III.

Según la población, el estado ambiental de esta región es Regular (65 %) y en menor medida Malo (23 %) y Muy Malo (12 %). No calificaron en ninguno de los cuestionarios el estado ambiental como Bueno. El 77 % consideró un aumento en las construcciones, de los cuales el 43 % lo consideró Alto, el 30,5 % Muy Alto y el 26,5 % Medio. El 92 % consideró un aumento del tránsito siendo en su mayoría Alto (76 %) y en menor medida Medio (24 %). En cuanto a los problemas ambientales, los ciudadanos reconocieron en primer lugar a las calles en mal estado (32,3 %), seguido por mal estado de los espacios verdes (26,5 %), poda de árboles (12,8 %) y escasez de arbolado urbano (10,2 %). El 18,2 % restante fueron problemas como presencia de basura en las calles, fugas de gas, caños de agua rotos y contaminación del aire por mal olor. La población consideró un aumento de la temperatura (69 %), el mismo fue percibido principalmente como Alto (64 %), Moderado (20 %) y en menor medida Leve (16 %). El 72 % de los encuestados notó un aumento de los eventos extremos, entre los que destacaron aumento de las precipitaciones (51 %), olas de calor (39 %), olas de frío (8 %) y aumento de las sequías (2%).

*Región IV.* Corresponde a la zona representada por el centro y Villa Mitre. El valor medio del IEA es 16,65. Corresponden al centro de la ciudad caracterizado por la

presencia de una gran densidad de edificios en altura. La temperatura de superficie terrestre presenta los menores valores producto de la generación de sombras. Los espacios verdes son escasos, por lo que se dificulta la infiltración del agua y aumenta la escorrentía en épocas de lluvias. La temperatura media de esta región es 18,2 °C y la humedad relativa 53,4 %.

Los eventos extremos de olas de calor generan un aumento en las temperaturas medias diarias. Las olas de frío reducen las temperaturas, pero sin embargo esta zona se presenta más cálida durante estos eventos. Los efectos de los vientos no son muy importantes en comparación con las otras regiones y no se presentan nieblas ni heladas. La Isla de Calor Urbana manifiesta su máximo valor en esta región siendo mayor a 7 °C. Esta zona es la más desconfortable durante el verano con más de 40 días de desconfort pero la que menos días con temperatura inferiores a 0 °C presenta en invierno (2 días).

Según la población el estado ambiental es Regular (44 %) y Malo (36 %) y en menor medida Muy Malo (11 %) y Bueno (9 %). El 82 % consideró un aumento de las construcciones de edificios calificando a la misma como Alta (35 %), Muy Alta (32 %), Media (25 %) y Baja (8 %). El 91 % consideró un aumento del tránsito siendo este Alto (66 %) y Medio (34 %). Los problemas ambientales identificados fueron: escasez de arbolado urbano (27,3 %), calles en mal estado (25,8 %), escasez de desagües (24,8 %), contaminación sonora (11,9 %), contaminación del aire por mal estado de cloacas (10,2 %). En lo que respecta a la temperatura el 85 % de la población percibió un incremento de la misma. Este fue Alto (54 %), Moderado (39 %) y Leve (7 %). Finalmente el 91 % consideró un aumento en el número de los eventos extremos. Los principales fueron incremento de las Precipitaciones (48 %), Olas de Calor (32 %), Aumento del viento (16 %) y Olas de frío (4%).

### **3.3. Propuesta de manejo urbano sostenible**

Las propuestas fueron dirigidas y orientadas a cada una de las regiones generadas a partir de la aplicación del IEA. Las mismas se resumen en la Tabla 9.5. Ellas están referidas al aumento y conservación de los espacios verdes; a la reducción de la contaminación sonora/acústica y del aire; a la reglamentación de las construcciones, repavimentación y control de desagües; y a la capacitación social.

IEA	Propuestas para un manejo urbano sostenible
<b>Región I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortinas de viento</li> <li>• Conservación de la vegetación nativa</li> <li>• Restauración de vegetación nativa</li> <li>• Conservación de la biodiversidad</li> <li>• Protección de eco-sistemas acuáticos</li> <li>• Planificación de las actividades de la población al aire libre durante el invierno.</li> <li>• construcción de reservorios de agua.</li> <li>• Capacitación ciudadana para la conservación del ambiente</li> </ul>
<b>Región II</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar la calidad de los espacios verdes</li> <li>• Aumento de la seguridad de los espacios verdes</li> <li>• Medidas de conservación de la biodiversidad</li> <li>• Cortinas de viento</li> <li>• Construcción de reservorios de agua.</li> <li>• Capacitación ciudadana para la conservación del ambiente</li> </ul>
<b>Región III</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar el número de espacios verdes y su seguridad</li> <li>• Conservación de la biodiversidad</li> <li>• Reducción de la contaminación del aire y sonora</li> <li>• Medidas de re-pavimentación y edificación</li> <li>• Planificación de las actividades de la población al aire libre durante el verano</li> <li>• Edificaciones de bajo impacto (calles y edificios).</li> <li>• Extensión de zanjas de infiltración</li> <li>• Aumento de las superficies de infiltración</li> <li>• Capacitación ciudadana para la conservación del ambiente</li> </ul>
<b>Región IV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de los espacios verdes y su seguridad</li> <li>• Terrazas verdes</li> <li>• Mejorar los espacios de infiltración</li> <li>• Restricción de la edificación y mejoramiento del estado de los desagües</li> <li>• Control del tránsito vehicular</li> <li>• Reducción de la contaminación del aire y sonora</li> <li>• Aumento del arbolado urbano</li> <li>• Preservación de las especies vegetales y animales</li> <li>• Reducción de la basura en la vía pública</li> <li>• Edificaciones de bajo impacto (calles y edificios)</li> <li>• Extensión de zanjas de infiltración</li> <li>• Aumento de las superficies de infiltración</li> <li>• Planificación de las actividades de la población al aire libre durante el verano</li> <li>• Capacitación ciudadana para la conservación del ambiente</li> </ul>

**Tabla 9.5.** Propuestas para un manejo urbano sostenible en la ciudad de Bahía Blanca.

Es importante realizar propuestas de manejo urbano sostenible dado que este concepto hace referencia a la importancia de asegurar las necesidades del presente sin comprometer a la capacidad de las futuras generaciones. Se incluyen dentro de este concepto a todas aquellas actividades que no perjudiquen o modifiquen un ecosistema (Jimenez *et al.*, 2014). Los ciudadanos de la ciudad de Bahía Blanca consideraron que el

estado actual de la ciudad es Regular. Esto se debe a los efectos negativos que causan las actividades industriales, al tránsito, la presencia de basurales a cielo abierto y el crecimiento de las construcciones (Cap. 4). Por tal motivo, fue necesario generar una propuesta de manejo urbano sostenible que considerase las características climáticas y la percepción de la población en su conjunto. Para ello se tuvo en cuenta que las ciudades costeras presentan condiciones de tiempo muy variable por lo que necesitan de un plan de manejo sostenible (Reguero *et al.*, 2015).

### **3.3.1. Referidas al aumento y conservación de los espacios verdes**

El aumento de los espacios verdes es necesario implementarlo en las *Regiones III y IV* debido a que en ellas son escasos. En estas regiones la pavimentación es muy densa por lo que se mejoraría la capacidad de infiltración del agua. Además, la vegetación urbana tiene el rol de reducir la carga radiativa de los habitantes, reducir las temperaturas extremas y mejorar la calidad del aire. En las *Regiones III y IV*, la densidad de edificaciones impide la circulación del aire debido a que los edificios modifican la circulación del viento, creando con ello torbellinos y cambiando su dirección. Por este motivo es que en estos espacios se concentran los contaminantes y su depuración natural se dificulta.

Es importante para la *Región IV* incorporar las terrazas verdes dado que representan una alternativa para incrementar el número de espacios verdes en las áreas altamente edificadas. Las mismas embellecen las infraestructuras desde el punto de vista estético y aumentan los espacios de infiltración, que en general son escasos en el centro de la ciudad de Bahía Blanca. Esta capacidad de infiltración permite filtrar el agua para reutilizarla con otros fines. Otra de las ventajas es que reduce el efecto invernadero que se genera en la atmósfera local como consecuencia de la baja depuración del aire, además reducen el uso de la energía fósil para la calefacción y aumentan el control del CO<sub>2</sub> debido al aumento de la vegetación. Finalmente, colaboran con la disminución de la contaminación sonora ya que absorben el ruido de la ciudad (Jimenez *et al.*, 2014).

Las *Regiones I y II* se ven muy afectadas por los eventos extremos de viento tanto del norte como del sur y por las olas de calor y de frío. Por ello, una alternativa para mitigar sus efectos son las cortinas de viento (Monelos y Peri, 1998, Peri, 1998). Las mismas están constituidas por vegetación que ayuda a reducir los efectos que los vientos

tienen sobre los habitantes de la ciudad. En estos espacios y sobre todo en las *Regiones II y III* la percepción sobre los espacios verdes no es buena, según la población son espacios inseguros. Por ello se resalta también la necesidad de aumentar la seguridad en estos espacios para que vuelvan a ser sitios de recreación social.

En toda la ciudad, se observó un número significativo de habitantes que percibieron a los espacios verdes como terrenos abandonados, con presencia de basura y generalmente en mal estado. Por ello, es que medidas de reacondicionamiento de los espacios verdes, dirigidas a toda la ciudad son necesarias para mejorar la calidad ambiental percibida por los habitantes. La ciudad de Bahía Blanca cuenta con una ordenanza municipal (N° 15.523: “*Arbolado Urbano y Espacios Verdes*”). Con ella se busca la protección de los árboles y el mejoramiento de los espacios verdes. Se considera que los espacios verdes o sitios sin construcciones son bienes públicos de la ciudad y ayudarán al mejoramiento de la calidad ambiental, a la recreación y a la realización de eventos culturales en la ciudad. Se busca la plantación, reposición y sustitución de ejemplares que no cuenten con las características de adaptación, resistencia, sanidad y belleza ornamental. A su vez, esta prohíbe la poda, erradicación y/o destrucción de los ejemplares, pintarlos y disminuirles el espacio de recinto. Para ello, la Comisión de Protección y Desarrollo del Arbolado Público se crea para la implementación y cumplimiento de esta ordenanza. En este contexto, la importancia del cuidado y del aumento de los parques y plazas en las ciudades recae en la posibilidad de conservar y aumentar la biodiversidad. Los espacios verdes urbanos deben contar con vegetación nativa. Por ello es necesaria la implementación de un plan de reemplazo y cultivo de especies nativas. Esto aumenta la protección de la biodiversidad natural del espacio urbano. La participación de los ciudadanos en estos proyectos tanto en la conservación como en la vigilancia del cumplimiento es un requisito indispensable para la conservación de la biodiversidad (Sodhi *et al.*, 2004; Duarte *et al.*, 2008). Por otro lado, las aves presentes en las ciudades adquieren importancia dado que su número y diversidad son indicadores del estado ambiental de las ciudades (Fernández-Juricic, 2000). En la mayoría de las urbanizaciones, los efectos que las mismas generan son perjudiciales para la mayoría de las especies de aves y favorece sólo a algunas (Chace y Walsh, 2006), por este motivo, mejorar la calidad del ambiente urbano beneficiará a la biodiversidad no sólo vegetal sino también animal.

Por otro lado, en las ciudades costeras la conservación de la biodiversidad se relaciona con las actividades portuarias. Por ello es necesario tener medidas de regulación de la limpieza y descarga de los barcos para conservar el ecosistema costero de la ciudad (Sekovski *et al.*, 2012).

### **3.3.2. Referidas a la reducción de la contaminación sonora/acústica y del aire**

Ante ambos eventos de contaminación, los espacios verdes toman importancia para la reducción de los contaminantes y de los ruidos. La contaminación sonora o acústica en la ciudad de Bahía Blanca fue mayormente percibida en las *Regiones III y IV* estuvo relacionada con el incremento del tránsito vehicular. El ruido en las ciudades es un factor importante dado que puede dañar la salud de la población y el valor económico de las propiedades (Alfonso, 2003). En este contexto, la ciudad de Bahía Blanca cuenta con una ordenanza municipal (N° 13.032 “*Régimen de Ruidos Molestos*”). La misma incluye a los locales comerciales que pueden generar ruidos molestos pero considera al tránsito vehicular como una actividad colectiva que puede desarrollarse durante las 24 hs. Por tal motivo, surge la necesidad de contar con medidas que reduzcan el ruido del tránsito dado que el mismo es considerado actualmente como uno de los problemas más importantes que afectan a la salud de la población urbana. Las medidas contra el ruido urbano derivado de los vehículos debe ser un tema prioritario en las políticas de ordenamiento del territorio urbano (Alfonso, 2003).

Alguna de las medidas que se han tomado para la reducción de la contaminación sonora ha sido la prohibición del uso de autos privados y el mejoramiento del transporte público para reducir la densidad de autos en el interior de la ciudad. Sin embargo, lo más destacable es el desarrollo de sistemas de transporte urbano sostenibles. El mismo se refiere a la libre circulación por las ciudades priorizando la calidad del ambiente y la salud de los habitantes. Estos proyectos requieren de una modificación en la conducta de los pobladores (Mollinedo, 2006). Uno de los ejemplos tradicionales que se han implementado es el uso de transportes multimodales. Los mismos están compuestos por distintos modos de transporte integrados, coordinados y conectados eficientemente entre sí (Replogle, 1991).

En las *Regiones III y IV*, el aumento del consumo energético, atenuado sobre todo durante un evento extremo térmico genera un aumento en la cantidad de contaminantes

en la ciudad, por ello es necesario reducir las emisiones de gases de efectos invernaderos para disminuir los efectos que las olas de calor y los diversos eventos extremos de temperatura pueden generar sobre la población (Junyer, 2010).

En toda la ciudad se observó la preocupación social por la presencia de basura en la vía pública que generaba contaminación del aire y en el cierre los desagües, dificultando la circulación de la escorrentía. Para llevar a cabo una solución a estos problemas se han propuesto en otras ciudades argentinas la creación de plantas de tratamiento de residuos sólidos (Berent y Vedoya, 2006). En la ciudad de Bahía Blanca existe la planta que surge como resultado de un acuerdo municipal entre el gobierno de Bahía Blanca con la Cooperativa Obrera de Consumo Limitada. La misma se encarga de residuos orgánicos derivados de la utilización de fertilizantes (Schetjman y Cellucci, 2014). Por lo tanto la reducción de la basura en la vía pública constituirá un desafío para los actores sociales de la ciudad.

### **3.3.3. Referidas a la reglamentación de las construcciones, re-pavimentación y control de desagües**

Las *Regiones III y IV* los habitantes encuestados manifestaron un gran crecimiento de la edificación. Esto genera un aumento del consumo energético de la ciudad y mayor presión sobre el sistema cloacal, generando problemas por la sobreutilización de su capacidad actual. La ciudad de Bahía Blanca cuenta actualmente con un Código de Planeamiento Urbano (ordenanza 11.484) que establece las normativas para la construcción. El fin de la misma no es el de limitar o restringir la actividad sino la de proveer mejores condiciones de desenvolvimiento. Entre la normativa se propone respetar la diversidad de ambientes de la ciudad para poder preservar el ambiente costero y la topografía. En la ordenanza se propone generar un equilibrio de densidades edilicias entre el centro y la periferia y se promueve la participación de la población. Se incluye una propuesta para el reordenamiento del tránsito garantizando la existencia de un sistema vial primario, con una ramificación secundaria y otra terciaria. Se pondera la preservación de los edificios de valor histórico y se pretende mantener el estado ambiental considerando las exigencias de salud, seguridad y bienestar de la población, entre otras.

En todas las regiones definidas con el IEA, se observó un mal estado de las calles, por ello es necesario un proyecto de re-pavimentación que mejore la circulación de los habitantes. La ciudad de Bahía Blanca cuenta con ordenanzas que amparan este tema. Las ordenanzas número 18.012 (*Utilidad Pública y Pago Obligatorio: Obra de Pavimentación varias calles de Bahía Blanca*) y las 17.328 (*Utilidad Pública y Pago Obligatorio: Pavimentación de varias calles de la ciudad de bahía Blanca, Etapa II, año 2013 (27 cuadras)*) proponen un proyecto de repavimentación de distintos tramos de la ciudad. La primera de ellas fue decretada a partir de noviembre de 2014 y la segunda a partir de diciembre de 2013. Por otro lado, existe un Programa Municipal de Seguridad Vial (*Bahía Conduce*) vigente desde 2008 que incluye el desarrollo de obras de infraestructuras viales como la creación de puentes peatonales, semi-peatonales y pavimentación de calles. La característica principal es la impermeabilidad de las calles y rutas en las ciudades. La infiltración y como consecuencia la recarga de los acuíferos se dificulta en estos espacios. La impermeabilización de las ciudades modifica además el flujo de la escorrentía. Por este motivo en las ciudades no sólo se infiltra menos agua sino que las características radiativas de los materiales con que se construyen las calles generan un aumento de la temperatura (Vázquez Rodríguez e Iturbe, 2014).

La escorrentía urbana genera la acumulación de contaminantes sólidos en distintos sitios de las ciudades que pueden afectar la salud de los habitantes, el crecimiento de las plantas y la calidad del suelo (Vázquez Rodríguez e Iturbe, 2014). El nuevo paradigma de las ciudades es el desarrollo de Edificaciones de Bajo Impacto. Se considera que estas edificaciones son importantes para las *Regiones III y IV* dado que el estado actual es de mucha impermeabilización y de alta densidad edilicia. En las futuras pavimentaciones, que puedan realizarse en las *Regiones II y I* se debe tener en cuenta este tema. Estas edificaciones permiten la infiltración del agua. Se tratan de adoquines separados con espacios entre las juntas, celdas prefabricadas de concreto o de plástico que se rellenan con grava y los pavimentos porosos (Vázquez Rodríguez e Iturbe, 2014). Estos se enmarcan dentro de los denominados Sistemas de Drenaje Sostenible (Woods-Ballard *et al.*, 2007, Puertas Agudo, *et al.*, 2008; Butler *et al.*, 2008; Ávila, 2012).

El control y manejo de los desagües es un factor fundamental. Las precipitaciones son el evento extremo mayormente percibido por las personas en la ciudad por eso es

necesario contar con un control de los desagües para evitar los procesos de anegamiento e inundación que podrían afectar a la población. Si bien el año de mediciones en esta investigación fue húmedo, el control de los desagües debe hacerse para evitar los conflictos derivados de lluvias extremas. En Bahía Blanca, el drenaje natural se modificó como consecuencia del parcelamiento de la ciudad generando una reconfiguración del escurrimiento natural. Las características del drenaje de la ciudad es sub-dendrítico. Las mejoras en la calidad del drenaje de la ciudad se relacionan con la extensión de zanjas de infiltración, aumento de las superficies de infiltración, aumento de los materiales de bajo impacto, construcción de terrazas verdes (en las *Regiones III y IV*) y reservorios (en las *Regiones I y II*) (Zapperi, 2014).

#### **3.3.4. Referidas a la capacitación social**

El desarrollo local sostenible es el elemento que surge en el último tiempo para hacer referencia al crecimiento económico priorizando las cuestiones ambientales. Dentro de este contexto toman relevancia los actores del desarrollo local sostenible como lo son los gobiernos sociales, las universidades, los ciudadanos, entre otros. Los actores sociales y los tomadores de decisiones son los encargados de que sea posible la implementación de una propuesta de desarrollo urbano sostenible dado que son quienes viven en el espacio urbano (Ahern, 2011; Ahern *et al.*, 2014). Los actores sociales tienen participación activa en las políticas de sostenibilidad e implementación (Gray, 1989) así como también en su control y permanencia en el tiempo (Blomgren Bingham, 2006; Wolch *et al.*, 2014; Reckien *et al.*, 2014).

Dentro de este contexto se considera que para que la propuesta de manejo urbano sostenible pueda llevarse a cabo es necesario considerar la participación activa de los actores sociales. Las autoridades disponen de ordenanzas y proyectos orientados a mejorar la calidad de vida, la circulación, la calidad de los espacios verdes, etc. Sin embargo, los ciudadanos no conocen estas normativas. Del cuestionario realizado (Anexo 3.1), el 96,6 % manifestó desconocer medidas municipales para mejorar la calidad ambiental de los distintos sitios de la ciudad. El 3,4 % identificó reducción del uso de bolsas plásticas, separación de los residuos sólidos, repavimentación de calles y sustitución de árboles enfermos por ejemplares jóvenes. Las medidas propuestas en este capítulo sólo podrán llevarse a cabo a partir de la educación de la población y

concientización sobre los efectos adversos o impactos negativos que tiene el estado actual de la ciudad. Por ello, se considera necesaria una capacitación de la población para la conservación del ambiente urbano en toda la ciudad y debe incluir:

1. Generación de grupos de acción vecinal para controlar y concientizar a la población sobre la importancia de mejorar la calidad ambiental a partir del conocimiento del estado actual de la ciudad;

2. Concientizar a la población sobre los problemas ambientales que se generan a partir del exceso de basura en la vía pública;

3. Educar sobre los efectos adversos de los eventos extremos y cómo estos afectan a los distintos sectores de la ciudad;

4. Capacitar a la población sobre el término de desarrollo urbano sostenible, cómo llevarlo a cabo e incluir sus propuestas para mejorar la calidad ambiental de la ciudad;

5. Proponer a las autoridades locales el desarrollo de proyectos de terrazas verdes, el aumento de los espacios verdes, sistemas de drenaje sostenibles, separación y tratamiento de los residuos sólidos, tratamiento y control de los basurales para implementar una propuesta de manejo urbano en la ciudad de Bahía Blanca considerando las diferentes regiones identificadas con el IEA.

#### **4. Conclusiones**

El método DPSIR resultó ser una herramienta sencilla de utilizar en la ciudad de Bahía Blanca. El *Indicador de Estado Actual* de la ciudad de Bahía Blanca fue un buen elemento para resumir la información obtenida y generar regiones para dirigir las propuestas necesarias para un desarrollo urbano sostenible.

Los diferentes impactos de las distintas variables en la ciudad de Bahía Blanca permitieron identificar 4 Regiones bien diferenciadas entre sí. La participación de los actores sociales en la delimitación de estas regiones fue un elemento fundamental dado que se incluyó la percepción de la población y se enmarcó de esta manera al trabajo dentro del paradigma de la Percepción Social del Cambio Climático.

Si bien la ciudad de Bahía Blanca dispone de normativas y ordenanzas municipales para hacer frente a muchos de los problemas que la sociedad percibe, es necesario reordenar algunos de ellos para poder beneficiar al ambiente urbano. El control de las

edificaciones, la promoción de terrazas verdes, la reorganización del tránsito, la reducción de la contaminación del aire y acústica, el desarrollo de sistemas de drenaje sostenibles, etc. debería ser parte de la agenda de los gobernantes locales con el fin de mejorar la calidad ambiental. Además estas medidas se relacionan directamente con el desarrollo sostenible, por lo que las acciones tomadas beneficiarán a la población actual sin perjudicar a las generaciones futuras.

Finalmente, se considera importante que en la puesta en marcha de la propuesta de manejo urbano sostenible participen activamente todos los actores sociales como los gobernantes y los ciudadanos. De igual manera, la concientización de la población sobre el estado actual de la ciudad de Bahía Blanca debería ser un tema prioritario. Con estas herramientas, la población local sabría cómo actuar antes diversos eventos extremos, cómo mejorar su calidad de vida, cómo cuidar el ambiente y sobretodo se podría generar un cambio en el comportamiento para que las medidas aplicadas perduren en el tiempo.

## Capítulo 10

### CONCLUSIONES FINALES

La ciudad de Bahía Blanca se expandió 110 % entre 1985 y 2014, es decir que actualmente ocupa una superficie de 111 km<sup>2</sup>. Durante este período se observaron modificaciones en la Isla de Calor Urbana. En el verano de 1985 se determinó mediante el método de transectas y mediciones con termo-higrómetros convencionales que el centro de la ciudad fue más cálido que las zonas periféricas. La zona más confortable fue la costera y las diferencias de temperatura dentro de la ciudad no superaron los 5 °C durante las mediciones diurnas. En 2014 se aplicó un nuevo dispositivo de mediciones en alta frecuencia que permitió evidenciar diferencias en la distribución térmica más intensas que las observadas en los estudios previos. En el centro de la ciudad se presentaron las temperaturas más altas y las zonas más confortables fueron las periféricas y los parques. Las temperaturas de 2014 y 1985 variaron de acuerdo a la densidad de edificaciones y la expansión del área construida. Por otro lado, las mediciones de invierno no registraron diferencias considerables entre sí. En general, las temperaturas de 2014 fueron más elevadas que las de 1985.

El crecimiento urbano modificó los parámetros de TST, NDVI, temperatura del aire, humedad relativa y velocidades máximas del viento. Asociado al aumento de las sombras generadas por los edificios, se determinó una reducción de los valores medios de TST (-0,6 °C). A su vez, los valores de NDVI también disminuyeron (0,32) debido a la expansión del área construida. La temperatura media del aire se incrementó 0,9 °C durante el período 1960-2014. La velocidad máxima del viento fue menor como consecuencia del aumento de la edificación (7,5 km h<sup>-1</sup>).

La distribución térmica de Bahía Blanca se analizó a través de imágenes satelitales. La intervención del hombre sobre el medio generó distintas coberturas del suelo urbano que tuvieron patrones térmicos diferentes. Las fluctuaciones de TST dependieron directamente de las sombras y la densidad de las construcciones urbanas. Esta fue un parámetro útil para interpretar los cambios de temperatura que ocurren dentro de las ciudades como consecuencia de la presencia de edificios. Bahía Blanca presentó una gran amplitud térmica durante el verano. Mediante el análisis de los mapas de distribución espacial de la TST referidos a la Isla de frescor matutina, se identificó un

patrón para el período 2008-2012: la periferia y las áreas con escasa construcción fueron más cálidos que el centro de la ciudad y los espacios verdes.

El desarrollo de Estaciones Portátiles de medición en alta frecuencia facilitó el estudio del clima local y micro-local. Las mismas permitieron demostrar que la temperatura del aire y la humedad relativa manifiestan comportamientos diferentes según las distintas condiciones de sitio de los barrios de Bahía Blanca. Además, la información recopilada con estas EP posibilitó el estudio de los impactos de los eventos meteorológicos sobre la temperatura y humedad relativa urbana. Los vientos del norte aumentaron la temperatura urbana y disminuyeron la humedad relativa. Los vientos del sur fueron fríos y húmedos y sus mayores impactos se observaron en la humedad relativa. Durante ambos eventos se registraron efectos de ICU a pesar de que los vientos superaran la Velocidad Crítica. Las heladas fueron el evento que mayor Intensidad de ICU presentaron (11 °C). Se emplazaron sobre las áreas urbanas de escasa densidad edilicia y sobre los terrenos al descubierto. Las nieblas se observaron además sobre la zona de Ing. White. Los chubascos redujeron la temperatura urbana en 8 °C y aumentaron 30 % la humedad relativa.

A escala micro-local se encontraron diferencias al cambiar el umbral de análisis de los eventos meteorológicos. Al compararlo con la media mensual, se observó que la temperatura del aire fue mayor con los vientos del norte y las olas de calor y menor en el resto de los eventos. En lo referente a las medias diarias posterior y anterior, los vientos intensos del norte y del sur no presentaron diferencias térmicas significativas. En cambio, sí se presentaron durante los chubascos y las olas de calor. La humedad relativa fue menor durante los vientos del norte. Las medias diarias posteriores y anteriores permitieron establecer que los chubascos fueron los que mayor impactaron sobre la humedad ya que presentaron a la ciudad aproximadamente un 28 % más húmeda. Las heladas, las nieblas, las olas de frío y los vientos del sur presentaron un comportamiento similar registrando amplitudes mensuales y diarias superiores al 15 %.

El confort climático estival e invernal estudiado con datos adquiridos en alta frecuencia permitió diferencias tres sub-regiones en la ciudad de Bahía Blanca:

La primera de ellas corresponde a las zonas de Villa Mitre, Villa Floresta y el centro. Tienen alta densidad de edificios y presentan una situación más cálida durante el invierno con valores de Temperatura Equivalente 5 °C mayores que la periferia. El

número de días con medias diarias inferiores a 0 °C no superan los 6. El viento se ve modificado por la rugosidad del espacio urbano. El confort estival definió que el 50 y 60 % del verano es desconfortable.

Noroeste, UOM y Cooperación II integraron la segunda sub-región. Esta se caracteriza por la presencia de edificios residenciales de escasa altura. Los días con desconfort estival oscilan entre 0 y 30 y durante el invierno tuvieron entre 7 y 9 días con número medias inferiores a 0 °C.

Ing. White, Patagonia y CONICET integraron la tercera sub-región. La misma se caracteriza por la abundancia de arbolado urbano y por tener confort estival durante el 70 % de los días. En ellos la vegetación y la cercanía al mar reduce las situaciones de desconfort. El número de días con temperaturas medias diarias inferiores a 0 °C oscila entre 9 y 11.

Finalmente, con toda la información recopilada en la tesis se realizó una propuesta de manejo urbano sostenible basado en las variables cuantitativas y en la percepción de la población. Para desarrollarla, se aplicó el método DPSIR y se diseñó un Indicador de Estado Actual de la ciudad de Bahía Blanca. Mediante la aplicación de este último se establecieron 4 Regiones bien diferenciadas entre sí teniendo en cuenta los distintos impactos de las variables consideradas. La participación de los actores sociales en la delimitación de las mismas fue un elemento fundamental para enmarcar el estudio en el paradigma de Percepción Social del Cambio Climático. El estudio social del cambio climático es una herramienta fundamental para complementar los estudios climáticos dado que permite incorporar la opinión de los actores sociales, sus intereses, etc. La percepción de los habitantes de Bahía Blanca mantuvo una relación con el análisis climático desarrollado. Por ejemplo, la mayoría de los habitantes reconoció haber notado un aumento de la temperatura del aire.

La ciudad de Bahía Blanca tiene normativas y ordenanzas municipales para solventar algunos problemas que manifestó la sociedad. En algunos casos las mismas requieren de un reordenamiento para poder beneficiar al ambiente urbano. El control de las edificaciones, la promoción de terrazas verdes, la reorganización del tránsito, la reducción de la contaminación de aire y sonora, el desarrollo de sistemas de drenaje sostenibles, etc. deberían incorporarse en las políticas municipales con el fin de mejorar la calidad ambiental.

Por todo el análisis desarrollado es importante considerar que una pronta implementación de la propuesta de manejo urbano sostenible y una promoción de la participación activa de la población mejorarían el estado actual de la ciudad. La concientización de los actores sociales y los gobernantes son importantes para garantizar la permanencia de la propuesta. Cabe destacar que la misma está integrada por distintas medidas a implementar sobre las 4 Regiones discriminadas. Con estas herramientas, la población de Bahía Blanca sabrá cómo actuar ante la presencia de diversos eventos meteorológicos, cómo mejorar la calidad del ambiente urbano y cómo cuidarlo.

## REFERENCIAS

- Aceituno, P., 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Monthly Weather Review* 116: 505-524.
- Adger, W. N. 2003. Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change *Economic Geography*, 79 (4): 387-404.
- Ahern, J. 2011. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100 (4): 341–343.
- Ahern, J.; Cilliers, S. y Niemelä, J. 2014. The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning*, 125: 254-259.
- Albentosa Sánchez, L. M. 1979. Contaminación atmosférica y nieblas en las áreas urbanas industrializadas. *Acta Geológica Hispánica*, 14: 529-533.
- Alberdi J.C.; Díaz J.; Montero J.C.; y Mirón I.J. 1998. Daily mortality in Madrid Community (Spain) 1986-1991: relationship with atmospheric variable. *Eur. J. Epidemiol.* 14: 571-578.
- Alventosa, C., Paniagua. E., y Vicent, D. 1993. Isocronas sanitarias: accesibilidad geográfica a los recursos de la Red Sanitaria Pública en la Comunidad de Madrid. España.
- Alcoforado, M.J. y Andrade, H. 2006. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology* 151-159.
- Alfonso, E. 2003. Contaminación Acústica y Salud. *Observatorio medioambiental*, 6: 75-93.
- Aliaga, V., Ferrelli, F., Alberdi Algorañaz, E.D., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2016). Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana argentina.

*Cuadernos de Investigación Geográfica*, Universidad de La Rioja, España. En prensa.

Almeida-Leñero, L.; Nava, M.; Ramos, A.; Espinosa, M.; Ordoñez, M. J. y Jujnovsky, J. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica número especial*, 84-85: 53-64.

Alomar Garau, G. 2013. Las brisas marinas y su significación geográfica. El caso de Mallorca. *SEMATA, Ciencias Sociales e Humanidades*, 25: 8-25.

Arriagada, C. y Rodríguez J. 2003. *Segregación residencial en ciudades latinoamericanas: tendencias, factores subyacentes e implicaciones de política*. CEPAL, serie Población y Desarrollo Chile.

Ávila, H. 2012. Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático. Caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia. *Revista de Ingeniería*, 54-59.

Avilés y Guitierrez Chaparro, 2010. Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Revista de estudios urbanos, regionales, territoriales, ambientales y sociales*, 1: 96-102.

Ballesteros Zapata, E. E. 2013. Clima y condiciones de confort en la ciudad de Villavicencio. *Cap&Cua*, 10: 28-34.

Barradas, V. L. 1983. Capacidad de captación de agua a partir de la niebla en *Pinus Montezumaelambert*, de la región de las grandes montañas del estado de Vreacruz. *Biotica*, 8 (4): 427-431.

Barton, E.D., Lavín, M.F. y Trasviña, A., 2009. Coastal circulation and hydrography in the Gulf of Tehuantepec, Mexico, during winter. *Continental Shelf Research*, 29: 485-500.

Beigt, D. y Piccolo, M. C. 2009. Tendencia de la temperatura en una planicie de marea del estuario de Bahía Blanca (Período 2000-2007). *Investigaciones Geográficas*, 48: 253-271.

- Bello Fuentes, V. 1994. La isla de calor y los usos del suelo en Guadalajara. *Serie Geográfica*, 4: 83-97.
- Bello Fuentes, V. 1995. La isla de calor nocturna y los usos del suelo en Alcalá de Henares. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 15: 119-130.
- Bensancenot, J. P. 1991. *Clima y Turismo*. Masson S. A., Madria, España.
- Berenson, M. L. y Levine, D. M. 1996. *Estadística Básica en administración: conceptos y aplicaciones*. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A., segunda edición, México.
- Berent M. R. y Vedoya, D. E. 2006. *Tratamiento de residuos sólidos urbanos en ciudades intermedias del NEA*. Sistema de gestión y elementos funcionales. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste.
- Berkhout, F., Hertin, J. y Gann, D.M. 2006. Learning to adapt: Organizational adaptation to climate change impacts. *Climatic Change* 78: 135-156.
- Bertz H. Heusinkveld, B.G.; Hove, L.W.A. van; Jacobs, C.M.J.; Steeneveld, G.J.; Elbers, J.A.; Moors, E.J.; Holtslag, A.A.M. 2010. Use of a mobile platform for assessing urban heat stress in Rotterdam. En *Freiburg : 2010 7th Conference on Biometeorology, 2010-04-12/2010-04-14* ISSN 1435-618X - 433 - 438.
- Blomgren Bingham, L. 2006. The new urban governance: processes for engaging citizens and stakeholders. *Review of Policy Research*, 23 (4): 815-826.
- Bolognesi, E., 1971. *Análisis de criterios para clasificar totales mensuales de precipitación aplicados a series de República Argentina*. Meteorología. Centro Argentino de Meteorólogos. Vol II N° 1, 2 y 3. Buenos Aires, Argentina.
- Borsdorf, A.; Hidalgo, R. y Sánchez, R. 2006. Los megadiseños residenciales vallados en las periferias de las metrópolis latinoamericanas y el advenimiento de un nuevo concepto de ciudad. En Capel H. e Hidalgo, R. (Eds.), *Construyendo la ciudad del siglo XXL: retos y perspectivas urbanas en España y Chile*. Universidad de Barcelona-Pontificia Universidad Católica de Chile: 323-336.

- Brockerhoff, M. 1999. Urban Growth in Developing Countries: A Review of Projections and Predictions *Population and Development Review*, 25: 757-778.
- Bustos, M. L. y Piccolo, M. C. 2011. Desconfort térmico en verano e invierno para la localidad de Pehuen Co, Argentina. *Nimbus. Revista de meteorología, Climatología y Paisaje* 27/28: 63-76.
- Bustos, M. L. 2012. Estudio integrado ambiental del balneario Pehuén Co. Tesis de Doctor en Geografía, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- Bustos M.L., Ferrelli, F., Huamantínco Cisneros, M. A., Piccolo, M. C. y Gil, V. 2016a. Estudio preliminar del ajuste entre datos meteorológicos in situ y del Reanálisis (NCEP/NCAR) en distintos ambientes de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Estudios Geográficos*, España. En prensa.
- Bustos, M.L., Ferrelli, F. y Piccolo M. C. 2016b. El rol del arbolado urbano sobre la temperatura invernal de la villa balnearia de Pehuén Co (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina*. En prensa.
- Butler, T.M.; Lawrence, M.G.; Gurjar, B.R.; Van Aardenne, J.; Schultz, M. y Lelieveld, J. 2008. The representation of emissions from megacities in global emission inventories. *Atmospheric Environment* 42:703-719.
- Camilloni, I. y Vicente Barros, R. 1995. Influencia de la isla urbana de calor en la estimación de las tendencias seculares de la temperatura en Argentina subtropical. *Geofísica Internacional*, 34: 161-170.
- Camilloni, I. y Vicente Barros, R. 1997. On the urban heat island effect dependence on temperature trends. *Climatic Change*, 37: 665-680.
- Campo de Ferreras, A.M., Capelli de Steffens, A.M. y Diez, G.P. 2004. *El Clima del Suroeste Bonaerense*. EdiUns, Argentina.

- Campo, A. M., Zapperi, P. A. y Piccone, N. 2013. Precipitation and rainwater pH spatial distribution in Bahía Blanca and Tandil, Argentina. *Journal of Earth Science and Engineering*, 3: 683-389.
- Cañada Martínez, A.; García Gonzáles, J. V.; Rodriguez Suarez, V.; Fernández Noval, F.; Fernández Rodriguez, C. y Huerta Gonzalez, I. 1999. Efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad: resultados del proyecto EMECAM en dos ciudades de Asturias. *Rev Esp Salud Pública*, 73: 187-197.
- Capelli de Steffens, A.M.; Piccolo, M. C. y Campo de Ferreras, A. M. 2000. Variaciones térmicas y mortalidad en Bahía Blanca, Argentina. *Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*: 11-18.
- Capelli de Steffens, A.M. y Campo de Ferreras, A.M., 1994. *La transición climática del sudoeste bonaerense*. Sección de Investigaciones del Departamento de Geografía (Sigeo), Universidad Nacional del Sur.
- Capelli de Steffens, A. y M. C. Piccolo, 2000. *La temperatura diurna asociada a condiciones de nubosidad*. Actas III Jornadas Nacionales de Geografía Física. Univ. Católica de Santa Fe. Santa Fe: 105-111.
- Capelli de Steffens, A.; Piccolo, M. C.; Hernandez Gonzalez, J. y Navarrette, G. 2001. La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de Geografía*, 33: 49-60.
- Capelli de Steffens, A., Piccolo, M. C., Campo de Ferrera, A. 2005. *Clima urbano de Bahía Blanca*. Editorial Dunken, Buenos Aires, Argentina.
- Calvo, E. 2008. Cambio climático y salud humana: un mensaje reiterado desde 1995. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 25(4): 410-412.
- Carmona, F., Rivas, R., Thomas, L. y Marino, B. 2011. Caracterización espectral del estuario del río Quequén Grande por medio de imágenes Landsat. Rivas, R., Carmona, F. y Ocampo, D. (eds) *Teledetección. Recientes aplicaciones en la región pampeña*, Editorial Martín, Argentina.

- Carfan, A.C.; Galvani, E. y Texeira Nery, J. 2012. Study of thermal comfort in the city of San Paulo using ENVI-met model. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 78: 34-47.
- Carvalho, H.; Corbella, O. y Gonçalves da Silva, F. 2007. *Repercussões negativas no clima da cidade de João Pessoa PB devidas ao escalonamento dos edifícios na sua orla marítima*. Arqutextos 082. Brasil.
- CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. 2000. *Calor y Frío*. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 42: 1-62.
- Chace J. F. y Walsh, J. J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning*, 74: 46-69.
- Chandler, T. J., 1967. Absolute and relative humidities in towns. *Bull. Americ. Meteorology Society*, 48: 394-399.
- Chanampa M.; Alonso Ojembarrena, J.; Vidal Rivas, P.; Guerra Aragonés, R.; Oliveri, F.; Neila Gonzales, F. J. y Bedoya Frutos, C. 2009. Sistemas vegetales que mejoran la calidad de las ciudades. *Cuaderno de Investigación Urbanística*, 67: 49-66.
- Chang, H.; Franczyk, K. y Bae, D. H. 2006. *Climate change and future flood regimes*.  
Página web: [www.sea-user.org/download\\_pubdoc.php?doc=3449](http://www.sea-user.org/download_pubdoc.php?doc=3449)
- Chen, X., Zhao, H., Li, P. y Yin, Z. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment* 104: 133-146.
- Chiozza, E. 1975. *El país de los argentinos. La Pampa Surera*. Centro Editor de América Latina S. A. Tomo I Fascículo 42, Buenos Aires, Argentina.
- Chiozza, E. y Figueira, R. 1981. *Atlas total de la República Argentina*. Centro Editor de América Latina. Buenos Aires, Argentina.

- Cogliati, M. G.; Britos, P. y García Martínez, R. 2006. *Análisis de variables agrometeorológicas en noches de heladas utilizando mapas autoorganizados y algoritmos de inducción*. XI Reunión Argentina de Agrometeorología, Argentina.
- Confalonieri, U., B. Menne, R. Akhtar, K.L. Ebi, M. Hauengue, R.S. Kovats, B. Revich y A. Woodward, 2007. *Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 391-431.
- Comarazamy, D. E.; González, J. E. y Luvall, J. C. 2007. *Impacts of urbanization in the coastal tropical city of San Juan, Puerto Rico*. Seventh Symposium on the Urban Environment.
- Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) Página web: <http://www.conae.gov.ar> Fecha de consulta: noviembre de 2014.
- Cony, M.; Hernández, E. y Del Teso, T. 2008. Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe. *Atmósfera*, 21: 389-401.
- Cony, M.; Martín, L.; Hernández, E. y Del Teso, T. 2010. Synoptic patterns that contribute to extremely hot days in Europe". *Atmósfera*, 23: 295-306.
- Coronel, A.; Feldman, S. y Piacentini, R. 2014. *Efecto de agricultura y forestación urbana y peri-urbana sobre la mitigación y adaptación al cambio climático: impactos sobre la temperatura*. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Correa, E.N., Flores Larsen, S. y 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.
- Cram S.; Cotler, H.; Morales L. M.; Sommer, I. y Carmona, E. 2007. Identificación de los servicios ambientales potenciales en los suelos del paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas UNAM*, 66: 81-104.

- Cúnsulo, M. E.; Kurbán, A. y Hermes Papparelli, A. (2012) Inferencia de la temperatura del aire urbano a partir del NDVI utilizando imágenes satelitales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 16: 11.01-11.07.
- Cuadrat, J. y Pita, M. F. 2000. *Climatología*. Ediciones Cátedra, Grupo Amaya S.A. España.
- Cuadrat Prats, J. M.; de la Riva Fernández, J. M.; López Martín, F y Martí Ezpeleta, A.1993. El medio ambiente urbano en Zaragoza: observaciones sobre la isla de calor. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 13 Edic. Complutense.
- Cuadrat, J.M.; Saz, M. A.; Serrano, R. y Tejedor E. 2014. *El clima del término municipal de Zaragoza en el contexto del cambio global*. Departamento de Geografía y Orientación del Territorio, Universidad de Zaragoza, España.
- De la Luz González, G. 2000. *Calidad del aire en las principales ciudades de México*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Del Rio Sanchez, J. 2008. *El Papel del arbolado urbano en la mejora climática y el ahorro energético de las ciudades*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. La cultura del árbol, 51: 27-29.
- Delgado, A. L. 2013. Estudio integrado ambiental de la plataforma continental interior y media de la zona de El Rincón, Argentina. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- Deosthali, V. 1999. Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bio-climatic index. *Atmos Environ* 33: 4125–4133.
- Díaz, J.; García, R.; Prieto, L.; Linares, C. y López, C. 2005. Mortality impact of extreme winter temperatures. *International Journal of Biometeorology*, 49: 178-183.

- Díaz, R. A. y Mormeneo I. 2002. Zonificación del clima de la región Pampeana mediante análisis de conglomerados con censo. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 2 (2): 125-131.
- Dietz, T., Ostrom, E. y Stern, P. 2003. The Struggle to Govern the Commons. *Science*, 302 (12): 1907-1912.
- Dimoudi, A. y Nikopoulou, M. 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35: 69-76.
- Dorighello Tomas, D. 2002. Estudio del comportamiento de la humedad relativa del aire en centros urbanos. *Boletín de la A.G.E.* 33: 159-170.
- Duarte, C.; Dennison, W.; Orth, R. y Carruthers, T. 2008. The charisma of coastal ecosystems: addressing the imbalance. *Estuaries and Coasts*, 3: 233-238.
- Edwards D. y McKee T. 1997. Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report Number 97-2, Estados Unidos.
- Escourrou, G. 1991. *Le climat et la ville*. Editions Nathan. Francia.
- Esteban Talaya, A.; Lopez Palomeque, F. y Aguilo Perez, E. 2005. *Impactos sobre el sector turístico*. En informe Impactos España. Madrid.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2003. *Manual curso análisis espacial ArcVIEW 8.2*.
- Fernández García, F. 1994. Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos. *Serie Geográfica*, 4: 109-125.
- Fernández García, F. 1995. *Manual de Climatología Aplicada*. Ed. Síntesis S. A., España..
- Fernández-Juricic, E. 2000. Bird community composition patterns in urban parks of Madrid: the role of age, size, and isolation. *Ecological Research*, 15: 373-383.

- Ferrelli, F. 2010. “La sequía 2008-2009 en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires”. *Tesis de Licenciado en geografía*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Ferrelli, F. Bohn, V. Y. y Piccolo M. C. 2011. Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia de Buenos Aires, Argentina). *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 11: 355-374.
- Ferrelli, F. 2012. La sequía 2008-2009 en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Asociación Española de Ecología Terrestre*. 21(1-2), 235-238.
- Ferrelli, F., Bohn, V. y Piccolo, M.C. 2012. Variabilidad de la precipitación y ocurrencia de eventos secos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). ISBN 978- 987-1648-32-0. *IX Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 15-28.
- Ferrelli, F. y Aliaga, V. S. 2015. Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina. *Trabajo de aplicación final de Especialización en teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio del medio ambiente*. Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina.
- Ferrelli, F., Vitale, A. J. y Piccolo M. C. 2015a. Application of open source electronics for studying High Frequency Urban Heat Island. *Anuario do Instituto de Geociencias*, Brasil. En prensa.
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Huamantínco Cisneros, M. A. y Piccolo, M. C. 2015b. 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, Universitat Politècnica de València*, España, 44: 31-42.

- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Piccolo, M. C., Huamantínco Cisneros, M. A. y Perillo G. M. E. 2016a. Downscaling de variables climáticas a partir del Reanálisis NCEP/NCAR en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Papeles de Geografía*, 62, número abierto. En prensa. DOI: Geografía/2016/239051
- Ferrelli, F., Bustos, M. L. y Piccolo, M. C. 2016b. Modificaciones en la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa como resultado del crecimiento urbano: el caso de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Revista de Climatología*. España, 2016 (16): 51-61.
- Ferrelli, F., Bustos, M.L., Piccolo, M.C. 2017. La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios Geográficos, España*. En prensa.
- Figuerola, P. I. y Mazzeo, N. A. 1998. Urban–rural temperature differences in Buenos Aires. *Internacional Journal Climatology* 18: 1709–1723.
- Franco Silva, F. J. y Pérez Salazar, L. M. 2008. Producción de ciudad, cotidianidad y culturas populares: una revisión preliminar. *Investigación y Desarrollo*, 16: 58-81.
- 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.
- Gabrielsen, P. Bosch, P. 2003. *Environmental Indicators: Typology and use in Reporting*. European Environmental Agency, Dinamarca.
- Garcés Giraldo, L. F. y Hernández Ángel, M. L. 2004. La lluvia ácida: un fenómeno físico-químico de ocurrencia local. *Revistas Lasallista de Investigación*, 2: 67-72.
- García, J. (2005). *Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico*. Editorial Trillas, México.
- García, M. C. 2009. *El clima urbano costero de la zona atlántica comprendida entre 37° 40' y 38° 50'S y 57 y 59° W* Tesis de Doctor en geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.

- García, M. C. 2014. Escenario de riesgo climático por tormentas severas y granizadas en Mar del Plata y Necochea-Quequén, Argentina. *Revista Brasileira de Climatología*, 14: 39-49.
- García, M. C; Pueblas, M y Capristo, V. 1999. Determinación de isla de calor (cálculo de población urbana potencialmente afectada en verano), para la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, Santiago, Chile.
- García S. y Guerrero M. 2006. Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes. Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 35: 45-57.
- García M. C. y Piccolo, M.C., 2008. *Isla de calor invernal en Mar del Plata*. Jornadas Nacionales de Geografía Física. San Salvador de Jujuy.
- García, M. C. y Piccolo, M.C., 2009. *La isla de calor en urbana en Necochea. El Territorio, las Actividades Económicas y la Problemática Ambiental del Sudoeste Bonaerense*. Actas de las V Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste bonaerense. Vaquero, M. del C. y Pascale, J.C. (Eds), EdiUNS:63-70.
- García Palomares, J. C. y Alberdi, J. C. 2005. Mortalidad en la ciudad de Madrid durante la ola de calor del verano de 2003. *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 5: 19-39.
- García-Pina, R.; Garcés, A. T.; Sanz Navarro, J.; Navarro Sánchez, C. y García-Fulgueiras A. 2008. Efecto del calor sobre el número de urgencias hospitalarias en la región de Murcia durante los veranos del período 2000-2005 y su uso en la vigilancia epidemiológica. *Rev. Esp. Salud Pública*, 82: 153-166.
- Genchi, S. A. y Piccolo, M. C. 2008. *Extremos térmicos en Puerto Rosales*. Vo Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense, Bahía Blanca, Argentina.
- Gharagozlo, A. R.. 2015. A survey of Tehran metropolis strategies as a creative city of Iran. *Journal of Geography and Regional Planning*, 6: 149-158.

- Giampietri, L. y Piccolo, M.C. 2000. *Diferencias climáticas en el área costera de la ciudad de Mar del Plata. Geoacta*, 25: 65-74.
- Goetz, S. J., Prince, S. D. y Small, J. 2000. Advances in Satellite Remote Sensing of Environmental Variables for Epidemiological Applications. *Adv Parasitol* 47: 289-307.
- Gray, B. 1989. *Collaborating: Finding common ground for multiparty problems*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Grimm, A.M., Barros, V.R. y Doyle, M.E. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13: 35-58.
- Grimm, N.B.; Faeth, S.H.; Golubiewski, N.E.; Redman, C.L.; Wu, J.; Bai, X. y Briggs, J.M. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*, 319: 756-760.
- Grimmond, S. 2007. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal* 173: 83-88.
- Grimmond, S. y Oke, T. 1998. Heat storage in urban areas: Local scale observation and evaluation of a simple model. *Journal of Applied Meteorology*, 38: 922 – 940.
- Hardoy J. y Pandiella, G. 2007. Adaptación de las ciudades argentinas a los efectos del cambio y la variabilidad climática. *Medio Ambiente y Urbanización*, 67 (1): 45-48.
- Hernández, C.M.; Bobba, M. E. y Rueda, A. C. 1997. Variación de la temperatura nocturna en el área urbana-rural de San Miguel de Tucumán, Argentina. 6° *Encuentro Geógrafos América Latina, Argentina*.
- Higueras, E. 1998. Estudio de las variables. Página web: [http://habitat.aq.upm.es/ub/a003\\_1.html](http://habitat.aq.upm.es/ub/a003_1.html)
- Hoffmann, R. 1996. Problemas y perspectivas de la valoración de recursos y procesos naturales: análisis de costo beneficio en áreas rurales del “Tercer Mundo”. *Economía Informa*, 253: 29-44.

- Houghton R. A. 1993. Is carbon accumulating in the northern temperate zone? *Global Biogeochem Cycles*, 7: 611–700.
- Houghton, D. D. 2002. *Introduction to climate change: Lecture notes for meteorologists*. WMO-No. 926.
- Huamantínco Cisneros, M. A. y Piccolo, M. C. 2011. Caracterización de la brisa de mar en el balneario de Monte Hermoso, Argentina. *Estudios Geográficos* 271: 461-475.
- Huamantínco Cisneros, M. A. 2012. *Efecto de la variabilidad climática del balneario Monte Hermoso sobre su geomorfología costera y el confort climático*. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- Huang, B.; Xie, C. & Tay, R. 2010. Support vector machines for urban growth modeling. *GeoInformatica*, 14: 83-99.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) 2011 Página web: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- IPCC. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. 2007. *Cambio climático 2007*. página web: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Jago-on, K.A.B.; Kaneko, S.; Fujikura, R.; Fujiwara, A.; Imai, T.; Matsumoto, T.; Zhang, J.; Tanikawa, H.; Tanaka, K.; LeeTaniguchi, B. y Taniguchi, M. 2009. Urbanization and subsurface environmental issues: an attempt at DPSIR model application in Asian cities. *Science of the Total Environment*, 407: 3089-3104.
- Jáuregui, E. 2004. Impact of Land-use changes on the climate of the Mexico city region. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 55: 46-60.
- Jáuregui Ostos E. y 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.
- Jendritzky, G. 1991. Selected questions of topical interest in human bioclimatology. *International Journal of Biometeorology*, 35: 139-150.
- Jenkins, G.; Killeen, T.; Bedient, P.; Byun, D.; Crichton, D.; Fernando, H. S.; Jofeh, C.; Lane, N. y Lerup, L.. 2005. *Climate Change, Extreme Events and Coastal Cities*. A joint Houston-London Conference at The Shell Oil Auditorium, Jesse H. Jones Graduate School of Management, Rice University, Houston, Texas, 1-28.
- Jiang, Y.; Kirkman, H. y Hua, A. 2001. Megacity development: managing impacts on marine environments. *Ocean & Coastal Management* 44: 293-318.
- Jimenez-Muñoz, J. C., Jordi, C., Sobrino, J. A., Soria, G., Ninyerola, M. y Pons, X. 2009. Revision of the single-channel algorithm for lands surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* 47: 339-349.
- Jimenez, V.; Correa, S.; Romero N. y Rodriguez A. F. 2014. *Terrazas verdes. Tendencias en Bogotá*. Instituto colombiano Politécnico Gran Colombiano. Página web: <http://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/544>
- Kassomenos, P. A. y Katsoulis, B. D. 2006. Mesoscale and macroscale aspects of the morning urban heat island around Athens, Greece. [\*Meteorology and Atmospheric Physics\*](#), 94: 209-218.
- Keatinge, W.R., Donaldson, G.C., Cordioli, E., Martinelli, M., Kunst, A.E., Mackenbach, J.P. *et al.*, 2000. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *BMJ*, 321: 670–673.
- Klysiak, K, y Fortuniak, K. 1999. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz. *Poland. Atmospheric Environment*, 33: 3885-3895.
- Kolokotsa, D.; Psomas, A. y Karapidakis, E. 2009. Urban heat island in southern Europe: the case study of Hania, Crete. *Solar Energy* 83: 1871-1883.

- Kreimer, A. y Munasinghe, M. 1992. *Environmental management and urban vulnerability*. The World Bank, Estados Unidos.
- Kristensen, P. 2004. *The DPSIR Framework. Comprehensive/Detailed Assessment of the Vulnerability of Water Resources to Environmental Change in Africa using River Basin Approach*. UNEP, Kenia.
- Kunkel, K.; Pielke, R. y Changnon, S.A. 1999. Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human impacts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80: 1077-1098
- Kusaka, H., 2008. Recent progress in urban climate study in Japan. *Geographical Review of Japan*, 81 (5): 361 – 374.
- Labraga, J., Brandizi, L. y López, M. 2010. Avances en el pronóstico climático de las anomalías de lluvia en la Región Pampeana. *Meteorológica*, 36 (2): 59-71.
- Landsberg, H. E. 1981. *The urban climate*. Academic Press. Nueva York. Estados Unidos
- Lévy-Mangin J. P. (Director) y Varella Mallou, J. (Ed.) 2006. *Modelización con estructuras de covarianzas en Ciencias Sociales. Temas especiales, avanzados y aportes especiales*. Netbiblo, S. L., España.
- Llanque Chana, J. 2003. Efectos de la contaminación atmosférica en el clima urbano y calidad ambiental de Arequipa. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 37: 95-106.
- Li, H. 2003. Management of coastal mega-cities: a new challenge in the 21st century. *Marine Policy*. 27: 333-337.
- Lo, C. P. y Quattrochi, D. A. 2003. Land-use and Land-cover change, urban heat island phenomenon, and health implication: a remote sensing approach. *Photogrammetric Engineering and remote Sensing* 69: 1053-1063.
- Local and National Weather Forecast. Página web: [www.intellicast.com](http://www.intellicast.com)

- Lombardo, M. A. 1997. Estudios interdisciplinarios, metodologías e técnicas de análisis de clima urbano. *En CD del VI Encuentro de Geógrafos de América Latina*, Buenos Aires, Argentina.
- López Bermúdez F. y Romero Díaz, M. A. 1993. Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 18-19: 7-28.
- López Gómez A., Moreno Jiménez, A., Fernández García, F. y Palou, F. 1990. La temperatura diurna en la Aglomeración de Madrid, mediante imágenes remotas. *Revista de Estudios Geográficos*, 201: 705-732.
- Luber, G. y McGeehing, M. 2008. Climate change and Extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine* 35: 429-435.
- Macias, J. 2007. *Los desastres, su impacto social y la importancia de su prevención*. En: Seminarios de protección civil y desastres inducidos por fenómenos naturales. Memorias. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, México: 112-114.
- Magrin, G.O., Travasso M.I. Rodríguez G.R. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change*, 72:229-249
- Malone, E. y Rayner, S. 2001. Role of the research standpoint in integrating global-scale and local-scale research. *Climate Research* 19: 173-178.
- Martin Vide, J. 1990. La percepción del clima en las ciudades. *Revista de Geografía*, XXIV: 27-33.
- Martinez de Oses, F. X. 2006. *Meteorología aplicada a la navegación*. Ediciones Politext.
- Merlo, R. y Piccolo, M. C. 1998. Diferencias térmicas urbano-rural en la ciudad de Formosa, Argentina. *Geoacta*, 23:13 -19.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Eco-systems and human well-being.

- Ministerio de Salud de Argentina, 2015. Salud en emergencias y desastres. Página web: <http://www.msal.gob.ar/salud-y-desastres/>
- Moelos, L. y Peri, P. 1998. *Incidencia del efecto protector de las cortinas cortaviento en la producción de cerezas (Prunus Avium var. Bing) en Patagonia Sur*. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Chile.
- Molina, M.J. y Molina, L.T. 2004. Megacities and atmospheric pollution. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54: 644-680.
- Mollinedo, C. L. 2006. Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía, sociedad y territorio*, 6(22): 1-35.
- Montávez, J.; Rodríguez, A. y Jimenez, J. 2000. A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20: 899-911.
- Moreno García, M.C. (1993): *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*. Oikostau, Vilassar de Mar Mues.
- Müller, G. V. 2005. Variabilidad inter-anual de las heladas en la Pampa Húmeda. *Revista Brasileira de Climatología*, 1:141-152.
- Murthy, R.C.; Rao, Y.R. y Inamdar, A.B. 2001. Integrated coastal management of Mumbai metropolitan region. *Ocean & Coastal Management*, 44: 355-369.
- National Weather Service, Climate Prediction Center. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- NASA Atmospheric Correction Parameter Calculator Página web: <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>
- Oke, T. R. y Hannel, F.G. 1970. The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *Urban Climatology. World Meteorol. Org. Tech.* 108: 113-126.
- Oke, T. R. 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7: 769–779.
- Oke, T. 1992. *Boundary Layer Climates*. Routledge, Inglaterra.

- Oke, T. 1995. *Boundary Layer Climates*. Routledge, London & New York, Second Edition. Estados Unidos.
- Oke, T. R. 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19(11): 2085-2104.
- Olgyay, V. (coord. 1998) *Arquitectura y Clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Ed. G Gili, Barcelona, España.
- Oltra, C., Solà, R., Sala, R., Prades, A. y Gamero N. 2009. Cambio climático: percepciones y discursos públicos. *Revista de Ciencias Sociales* 2: 1-23.
- Oltra-Carrio, R., Sobrino, J. A., Gutiérrez-Angonese, J., Gioia, A, Paolini, L. y 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.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) 1992. *Vocabulario Meteorológico Internacional*. OMM / No. 182, Secretaría de la OMM, Segunda Edición.
- Owoeye, J.O. y Ogunleye, O.S. 2015 Urban development and land use changes around the Ekiti State University (EKSU), Ado-Ekiti Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*, 8: 111-119.
- Paparelli, A., Kurban, A. y Consulo, M., 2011. Isla de calor y ocupación espacial urbana en San Juan: Análisis evolutivo. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 4(7): 110 – 120.
- Pardo, M. 2007. El impacto social del cambio climático. *Panorama Social* 5: 22-35.
- Patz, J.A.; Campbell-Lendrum, D.; Holloway, T. y Foley, J.A. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438: 310-317.
- Pédélaborde, P.1970. *Introduction a l'étude scientifique du climat*. Edit. Sedes, Paris, Francia.

- Pejenaute Goñi, J. 2006. Las nieblas y el tráfico aéreo en el aeropuerto de Pamplona. Comunicación presentada al V Congreso Internacional de la AEC, España. Página web: <http://www.divulgameteo.es/ampliab/4/459/Las-nieblas-y-el-trafico-aereo-en-el-aeropuerto-de-Pamplona.html>
- Pelling, M. (Ed.) 2011. *Megacities and the coast: transformation for resilience. A preliminary review of knowledge, practice and future research*. International Geosphere-Biosphere Programme. King's College London. Inglaterra.
- Pérez González, M., García Rodríguez, P. y Guerra Zaballos, A. 2003. Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 23: 187-206.
- Pérez Gutierrez, C. y Muñoz Nieto A. L. (Eds.). 2006. *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Universidad de Salamanca, España.
- Peri P. 1998. Eficiencia de cortinas protectoras: Efectos de parámetros estructurales en la reducción del viento, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista Quebracho*. 6: 19-26.
- Piccolo, M.C. y Capelli de Steffens, A., 1985. Clima urbano bahiense: una experiencia de verano. *Contribuciones científicas GAEA. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos* :2 382-394.
- Piccolo, M.C. y Capelli de Steffens, A. 1987. Isla de calor invernal en Bahía Blanca. *Anales II Congreso Interamericano de Meteorología V CONGREGMET (Argentina)* 14: 1-5.
- Piccolo, M. C.; Capelli de Steffens, A. y Campo de Ferreras, A. 1994. Efecto del viento en complejos edificios bahienses. *Revista Geofísica*, 41: 5-19
- Piccolo, M. C. 2013. Understanding climate variability: useful methodology for stakeholders. Universidad de Córdoba, España. Página web: <http://www.comet-la.eu/>

- Picone, N. y Campo, M. C. 2014. Comparación urbano-rural de parámetros meteorológicos en la ciudad de Tandil. *Revista de Climatología*, 14: 13-23.
- Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. *Rev. Acad. Colomb. Cien.*, 107: 201-222.
- Pingali, P. L. 2006. Book Reviews. *Agricultural Economics, The journal of the international association of agricultural economists*, 35 (1):115-116
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2007. *Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008, La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido*. Estados Unidos.
- Puliafito, S. E.; Ortíz, G. P. y Puliafito, C. M. 2009. Evaluación del confort térmico urbano por medio de la temperatura fisiológica equivalente (PET), en la ciudad de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 13: 01.39-01.46.
- Prieto, L; García Herrera, R; Díaz, J; Hernández, E y Del Teso, T. 2004. Minimum extreme temperatures over Peninsular Spain. *Global and Planetary Change*, 44: 59-71.
- Pringle, M. J., Schmidt M. y Muir, J.S. 2009. Geostatistical interpolation of SLC-off Landsat ETM+ images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64: 654-664.
- Puertas Agudo, J.; Suárez López, J.; Anta Álvarez, J. 2008. *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. CEDEX. Gobierno de España.
- Quattrochi, D. A. y 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.
- Quayle, R.G. y Steadman, R. G. 1999. The Steadman Wind Chill: an improvement over present scales. *Proceedings 11<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology*: 187-190.

- Reckien, D.; Flacke J.; Dawson R. J.; Heidrich, O.; Olazabal, M.; Foley, A.; Hamann, J. J.; Orru, H.; Salvia, M.; De Gregorio Hurtado, S.; Geneletti, D. y Pietrapertosa, F. 2014. Climate change responses in Europe: what's the reality? Analysis of adaptation and mitigation plans from 200 urban areas in 11 countries. *Climatic Change*, 122: 331-340.
- Reguero, B. G.; Losada, I. J. y Méndez, F. J. 2015. Las ciudades portuarias ante un clima cambiante. *Dossier*: 20-25.
- Replogle, M. A. 1991. Sustainable transportation strategies for Third World development. *Transportation Research Record* 1294: 1-8.
- Ripoll, M. V.; Kurbán, A.; Papparelli, A.; Cúnsulo, M. y Roca, G. 2010. Condiciones térmicas de un espacio verde urbano en clima árido. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 14: 11.09-11.15.
- Rivas, R. y Caselles, V. A. 2004. Simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing-based surface temperature and local meteorological data. *Remote Sensing of Environment* 93: 68-76.
- Rivera-Arriaga, E.; Azuz-Adeath, I.; Alpuche Gual, L. y Villalobos-Zapata, G. J. (Eds.) 2010. *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino*. Universidad Autónoma de Campeche, Cety-Universidad. Gobierno del Estado de Campeche, México
- Rojas Quezada, C. A.; Muñíz Olivera, I.; y García López, M.A. 2009. Estructura urbana y policentrismo en el área metropolitana de Concepción. *Revista Eure*, 105: 47-70.
- Romero H.; Molina, M.; Vásquez, A. y Smith, P. 2008. El clima urbano del puerto de Valparaíso: construcción social del espacio en ciudades costeras. *Revista de Faculdade de Letras y Geografía*: 103-122.
- Romero, H.; Molina, M.; Moscoso, C. y Smith, P. 2007. Cambios de usos y coberturas de los suelos asociados a la urbanización de las metrópolis chilenas. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*: 194-198.

- Romero, H., Salgado, M. y Smith, P., 2010. Cambios climáticos y climas urbanos: relaciones entre zonas terminales y condiciones socio-económicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI*, 25: 151-179.
- Romero, H. y Vásquez, A. 2007. Geography for urban sustainable development: Student's proposals to deal with Santiago de Chile urban sprawl. *Sustainable Futures*: 125-151.
- Rotem-Mindal, O.; Michael, Y.; Helman, D. y Lensky, I. (2015) The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing. *Applied Geography*, 56: 145-153.
- Roth, M. 2002. *Effects of Cities on Local Climates* Proceedings of Workshop of IGES/APN Mega-City Project: 23-25, Japón.
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G. y Goldberg, R. 2005. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Environmental Hazards* 6: 51-62.
- Runnalls, K. E. y Oke, T. R. 1978. The urban heat island of Vancouver, BC. *Preprints, Second Urban Environment Symp, Albuquerque, NM, Amer. Meteor. Soc.*: 84-87.
- Rusticucci, M. M. y Barrucand, M. G. 2001. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorologica*: 69-84.
- Santana, L. 2007. Landsat ETM+ image applications to extract information for environmental planning in a Colombian city. *International Journal of Remote Sensing* 28: 4225-4241.
- Santiago Lastra J. A.; López Carmona, M. y López Mendoza, S. 2008. Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 4 (3): 625-633.
- Seluchi, M. E. 1992. Condiciones meteorológicas asociadas a la ocurrencia de heladas en la región de Maringá. *Revista Brasileira de Meteorología*, 7 (1): 523-534.

- Sepulveda Moreno, O. 2006. Problemas ambientales de Santiago: Isla de calor y edificios de vidrios. *Boletín de Geografía* 24: 45-55.
- Sarricolea, P. y 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*: 1-4.
- Sendiña Nadal, I y Pérez Muñuzuri V. 2006. *Fundamentos de Meteorología*. Universidade de Santiago de Compostela, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico.
- Santiago Lastra, J. A.; López Carmona, M. y López Mendoza, S. 2008. Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai*, 4: 625-633.
- Sekovski, I.; Newton, A. y Dennison, W. C. 2012. Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-state-impact-response framework to address complex environmental problems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96: 48-56.
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN, Argentina, <http://www.hidro.gov.ar/observatorio/sol.asp>)
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) página web: [www.smn.gov.ar/](http://www.smn.gov.ar/)
- Schneider, J. 1996. En: Capelli de Steffens, A., Piccolo, M. C., Campo de Ferrera, A. 2005. *Clima urbano de Bahía Blanca*. Editorial Dunken, Buenos Aires, Argentina.
- Schetjman, L. y Cellucci. M. 2014. *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Políticas municipales que promueven la sustentabilidad*. Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento, Buenos Aires, Argentina.

- Schroeder, T. A., Cohen, W. B., Song, C., Canty, M. J. y Yang, Z. 2006. Radiometric correction of multitemporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment* 103: 16-26.
- Scian, B. 2002. Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana, Argentina. *GEOACTA*, 27: 30-52.
- Scian Labraga, J.C., Reimers, W. y Frumento, O., 2006. Characteristics of large-scale atmospheric circulation related to extreme monthly rainfall anomalies in the Pampa Region, Argentina, under non-ENSO conditions. *Theoretical Applied Climatology*, 85: 89-106.
- Simpson, J.R. 1998. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use: Sacramento County case study. *J. Arboric.*, 24(4): 201-214.
- Siple, P. A. y Passel. C. F. 1945. Measurements of Dry Atmospheric Cooling in Subfreezing Temperatures. *American Philosophical Society*: 177-199.
- SMN. 1989. *Tormentas*. Boletín Informativo 42. Buenos Aires, Argentina.
- Sodhi, N.S.; Koh, L.P.; Brook, B.W. y Ng, P.K.L. 2004. Southeast Asian biodiversity: an impending disaster. *Trends in Ecology & Evolution*, 19: 654-660.
- Song, C., Woodcock, C., Seto, K. C., Pax-Lenney, M. y Macomber S. A. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing Of Environment* 75: 230-244.
- Strahler, A. y Strahler, A. 1997. *Physical Geography. Science and Systems of the Human Environment*. Wiley & Sons. Estados Unidos.
- Szegedi, S. y Kircsi, A. 2003. *The development of the urban heat island under various weather conditions in Debrecen, Hungary*. University of Debrecen, Hungary.
- Tamburri, M. N.; Wasson, K. y Matsuda, M. 2002. Ballast water deoxygenation can prevent aquatic introductions while reducing ship corrosion. *Biological Conservation*, 103 (3): 331-341.

- Timmerman, P. y White, R. 1997. Megahydropolis: coastal cities in the context of global environmental change. *Global Environmental Change*, 7: 205-234.
- Thom, E. C. 1959. The Discomfort Index. *Weatherwise* 12: 57-60.
- Torok, S. J.; Morris, C.J.G.; Skinner, C. y Plummer, N. 2001. Urban heat island features of southeast Australian towns. *Australian Meteorological Magazine* 50: 1-13.
- Tran, H.; Uchihama, D.; Ochi, S. y Yasuoka, Y. 2006. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation*, 8: 34-48.
- Unger, J. 1999. Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary. *International Journal of Climatology*, 19 (13): 1509-1515.
- United Nations Population Fund (UNFPA). 2009. State of world population 2009. Facing a changing world: women, population and climate. United Nations Population Fund, New York, Estados Unidos.
- United States Geological Survey (USGS) página web <http://glovis.usgs.gov/>
- Valor, E. y Caselles, V. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, Africa and South American areas. *Remote Sensing of Environment* 57: 167-184.
- Valor, E., Caselles, V., Coll, C., Sánchez F., Rubio, E. y Sospedra F. 2000. Análisis comparativo del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, MUST y AVHRR. *Revista de Teledetección* 14: 1-6.
- Vasquez, A.; Salgado, M. y Romero, H. 2007. *Desigualdades socioeconómicas y distribución inequitativa de los peligros ambientales en las comunas de Peñalolen y San Pedro de la Paz*. CD de resúmenes del Coloquio Del País Urbano a País Metropolitano. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Vázquez Rodríguez G. e Iturbe U. 2014. Ciudades Permeables. *¿Cómo ves?*, 183: 63-69

- Vasquez, A. y Romero, H. 2007. El libremercado de las áreas urbanas y la falta de justicia ambiental en la disponibilidad de áreas verdes en Santiago de Chile. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*
- Vasquez, A. E.; Salgado, M.; Romero, H. y Smith, P. 2009. Desigualdades socioeconómicas y distribución inequitativa de los riesgos ambientales en las comunas de Peñalolen y San Pedro de la Paz. Una Perspectiva de Justicia Ambiental. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43: 95-110.
- Velasco, E. y Roth, M. 2010. Cities as net sourcer of CO<sub>2</sub>: Review of atmospheric CO<sub>2</sub> exchange in urban environments measured by Eddy Covariance Technique. *Geography Compass* 4/9: 1238-1259.
- Vilani M. y 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.
- Villamil Cajoto, I.; Díaz Peromingo, J. A.; Villacian Vicedo, G.; Sánchez Leira, J.; García Suarez, F.; Saborido Froján, J. e Iglesias Gallego, M. 2005. Impacto de la ola de calor de 2003 en el hospital de Riveira (A Coruña). *Anales de Medicina Interna*, 22: 15-20.
- Vlahov, D., y Galea, S. 2002. Urbanization, urbanicity, and health. *Journal of Urban Health. Bulletin of the New York Academy of Medicine* 79: 12.
- Wark K. y Warner, C. F. 2001. *Contaminación del aire: origen y control*. Limusa, México.
- Watanabe, A. 1990. Observed conditions of heat and cool islands. *Japanese Progress in Climatology*: 62-68
- Weather Service of Environmental Canada. 2001. Página web: [www.msc.ec.gc.ca](http://www.msc.ec.gc.ca):
- Weng, Q., Lu, D. y Shubring, J. 2004. Estimation of land surface temperature - vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment* 89: 467-483.

- Wolch, J. R.; Byrne, J. y Newell, J. P. 2014. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 125, 234-244.
- Wong N. y Yu C. 2005. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International* 29: 547-558.
- Woods-Ballard B.; Kellagher R.; Martin P.; Jefferies C.; Bray R.; Shaffer P. 2007. *The SUDS Manual*. CIRIA, Londres.
- Yuan F. y Bauer M. 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 106: 375-386.
- Zaninovic, K y Matzarakis, A. 2002. *Variations and trends of thermal comfort at the Adriatic coast*. 15th Conference on Biometeorology / Aerobiology and 16th International Congress of Biometeorology, Estados Unidos.
- Zapperi, P. A. 2012. *Hidrografía urbana de Bahía Blanca*. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- Zapperi, P. A. 2014. Caracterización del escurrimiento de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 23 (1-2): 125-150.
- Zhang, J.; Yang, S.; Xu, Z. y Wu, Y. 2006. Impact of Human Activities on the Health of Ecosystems in the Changjiang Delta Region. *The Environment in Asia Pacific Harbour*: 93-111.

# ANEXOS

### ANEXO 3.1. Cuestionario

#### PERCEPCIÓN CLIMÁTICA DE LA CIUDAD DE BAHÍA BLANCA

---

*El siguiente cuestionario es de carácter anónimo y se realiza para conocer la percepción de la población sobre el clima de la ciudad de Bahía Blanca. Los datos recopilados serán utilizados para la elaboración de la tesis doctoral del Lic. Federico Ferrelli en la Universidad Nacional del Sur dirigida por la Dra. Ma. Cintia Piccolo.*

---

1) Barrio en el que vive. Si desconoce el nombre del mismo, ¿podría identificar la esquina más próxima a su casa o alguna dirección de referencia?

---

2) Sexo:                      Masculino                      Femenino

3) ¿Vive en forma permanente en la ciudad?

**SI**    **NO**

4) ¿Cree que la ciudad de Bahía Blanca tiene potencial turístico?

**SI**    **NO**

En caso afirmativo: ¿Cuáles son los principales centros de atracción según su criterio y dónde se localizan los mismos?

---

5) ¿Cómo considera el estado ambiental de la ciudad de Bahía Blanca?

**MUY BUENO**                      **BUENO**    **REGULAR**

**MALO**    **MUY MALO**

¿Por qué?

---

6) ¿Cuáles son las actividades económicas o humanas que según su criterio más impactan sobre el ambiente urbano de Bahía Blanca?

---

---

---

7) ¿Considera importante la existencia de espacios verdes en su barrio?

**SI**

**NO**

¿Por qué?

---

---

8) ¿Aumentaría el número de espacios verdes en su barrio?

**SI**

**NO**

¿Por qué?

---

---

9) ¿Ha notado un incremento del tránsito vehicular en su barrio?

**SI**

**NO**

En caso afirmativo ¿cómo calificaría este aumento? **ALTO, MEDIO o BAJO**

10) ¿Ha observado un incremento de las edificaciones en su barrio en el último tiempo?

**SI**

**NO**

En caso afirmativo cómo calificaría este incremento:

**MUY ALTO**

**ALTO**

**MEDIO**

**BAJO**

**MUY BAJO**

11) ¿Cree que el consumo energético ha aumentado como consecuencia de los cambios climáticos?

**SI**

**NO**

¿Por qué?

---

---

12) ¿Alguna de los siguientes problemas se presentan en su barrio? (Debe seleccionar, si las hubiese, las tres más representativas) cloacas en mal estado, calles rotas, caños de agua en mal estado, fuga de gas, árboles enfermos, plazas en mal estado, escasez de arbolado urbano. Puede agregar la/s que considere más relevante/s y no estén nombradas:

---

13) ¿Ha notado cambios en la temperatura del aire en los últimos años?

**SI**

**NO**

En caso afirmativo: ¿Podría estimar los cambios que nota?

- a) La temperatura aumentó mucho b) El aumento fue moderado c) El aumento fue leve d) La temperatura disminuyó

14) ¿Ha notado que los veranos e inviernos tienen temperaturas más extremas?

**SI**

**NO**

En caso afirmativo, ha notado que:

- a) Los veranos son más cálidos y los inviernos más fríos  
b) Todas las estaciones son más cálidas  
c) Todas las estaciones presentan temperaturas más bajas  
d)

Otros: \_\_\_\_\_

15) ¿Ha notado que los eventos extremos han aumentado en número e intensidad?

(Son ejemplos: olas de calor, olas de frío, lluvias torrenciales, aumento del viento, etc.)

**SI**

**NO**

En caso afirmativo: ¿Podría nombrar los principales cambios que usted percibe?

\_\_\_\_\_

---

16) ¿Durante lluvias extremas, nota que las zonas de anegamiento/inundación en su barrio son mayores?

**SI**

**NO**

En caso afirmativo: ¿A qué atribuye esta situación?

\_\_\_\_\_

---

17) ¿Conoce alguna medida gubernamental que se esté aplicando para mejorar la calidad ambiental en su barrio?

**SI**

**NO**

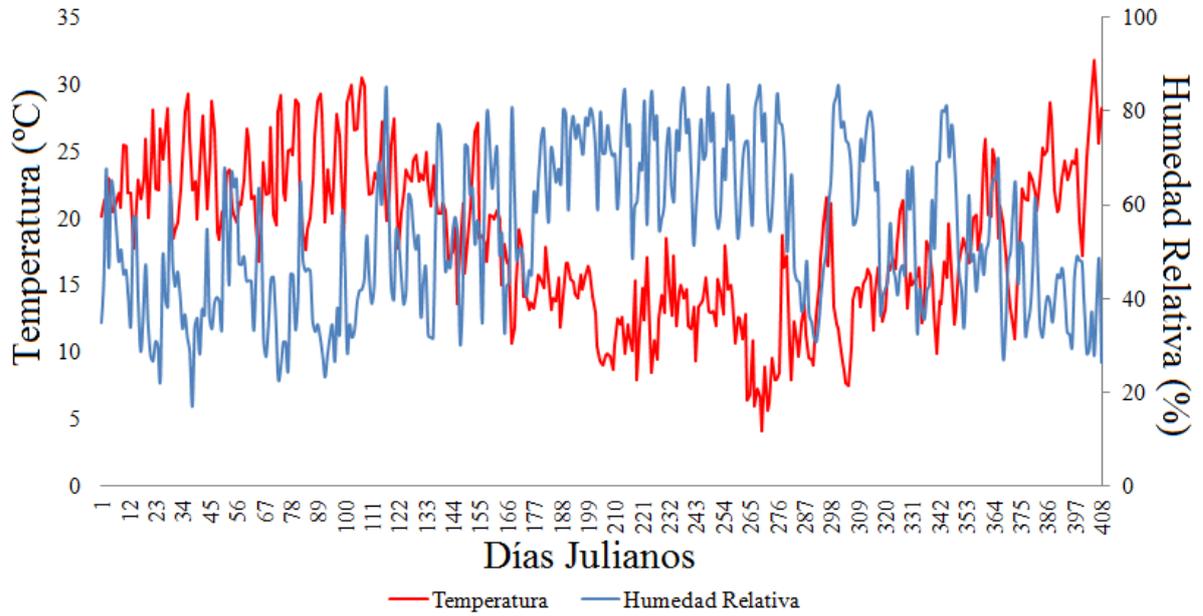
¿Cuáles? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

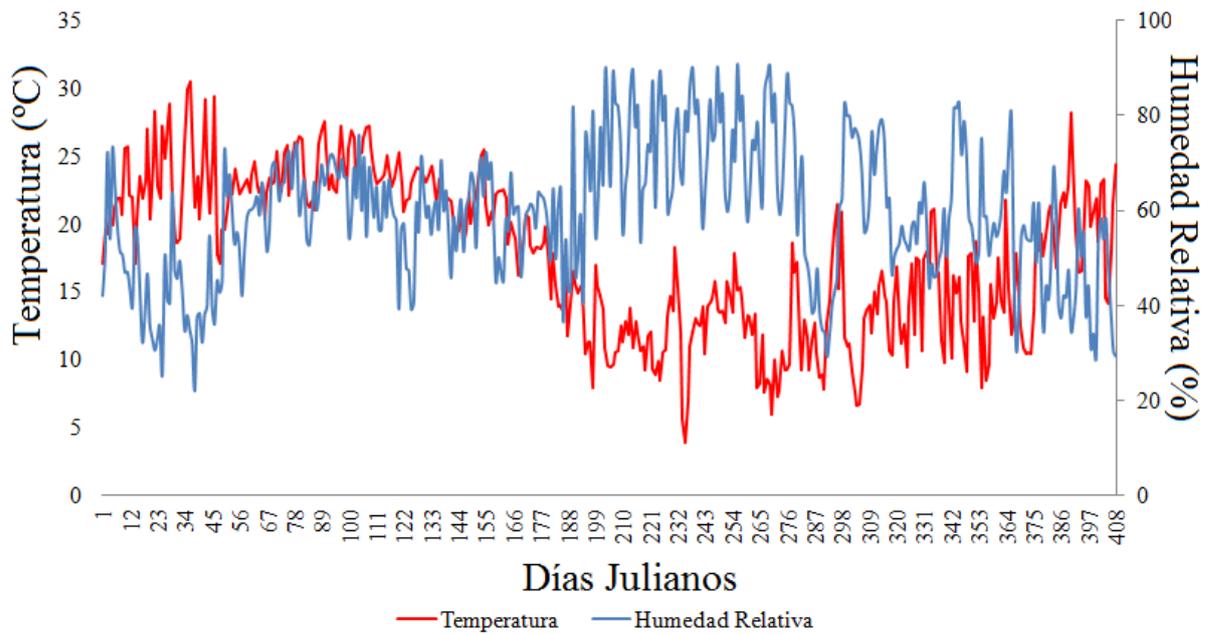
\_\_\_\_\_

**MUCHAS GRACIAS**

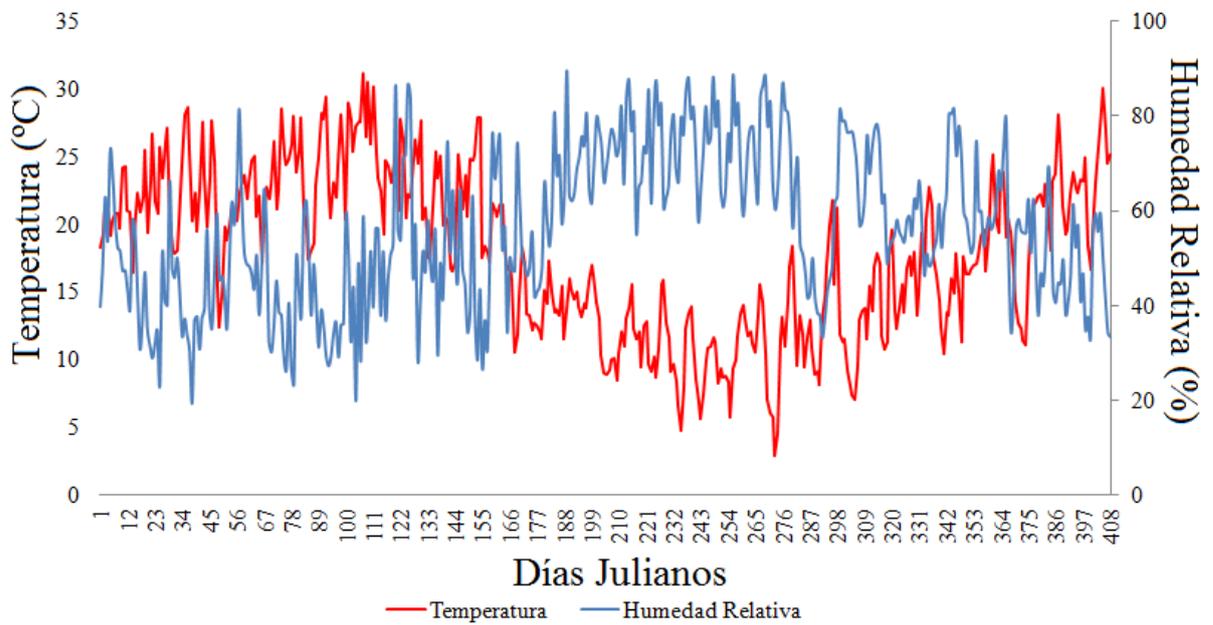
### ANEXO 5.1. Análisis diario de las Estaciones Portátiles



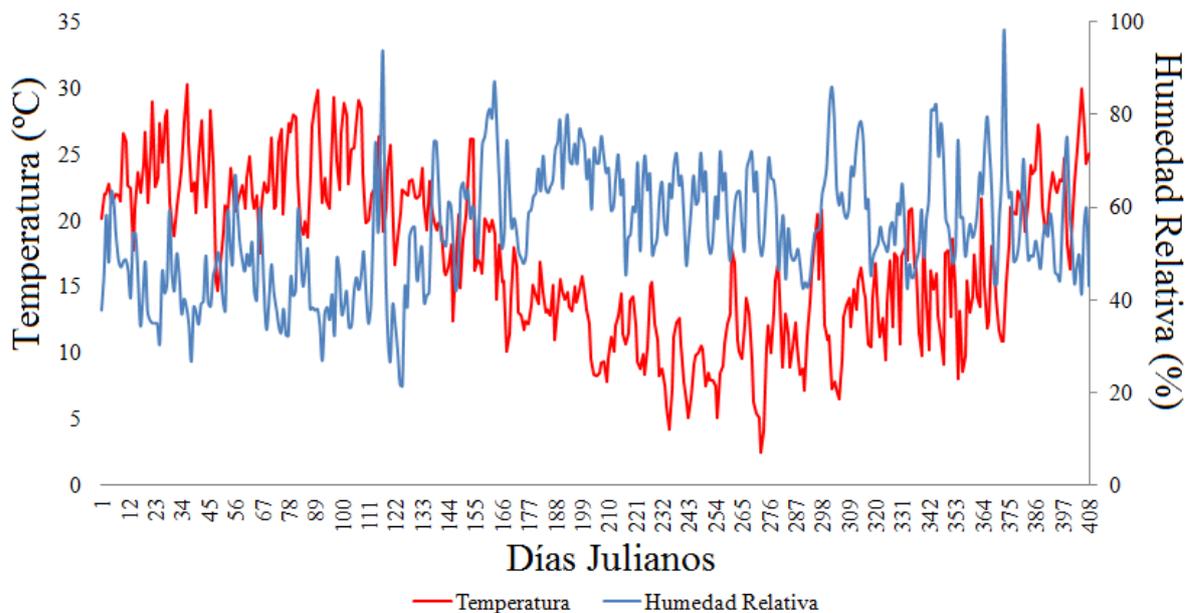
**Figura 5.1.1.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Villa Mitre para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



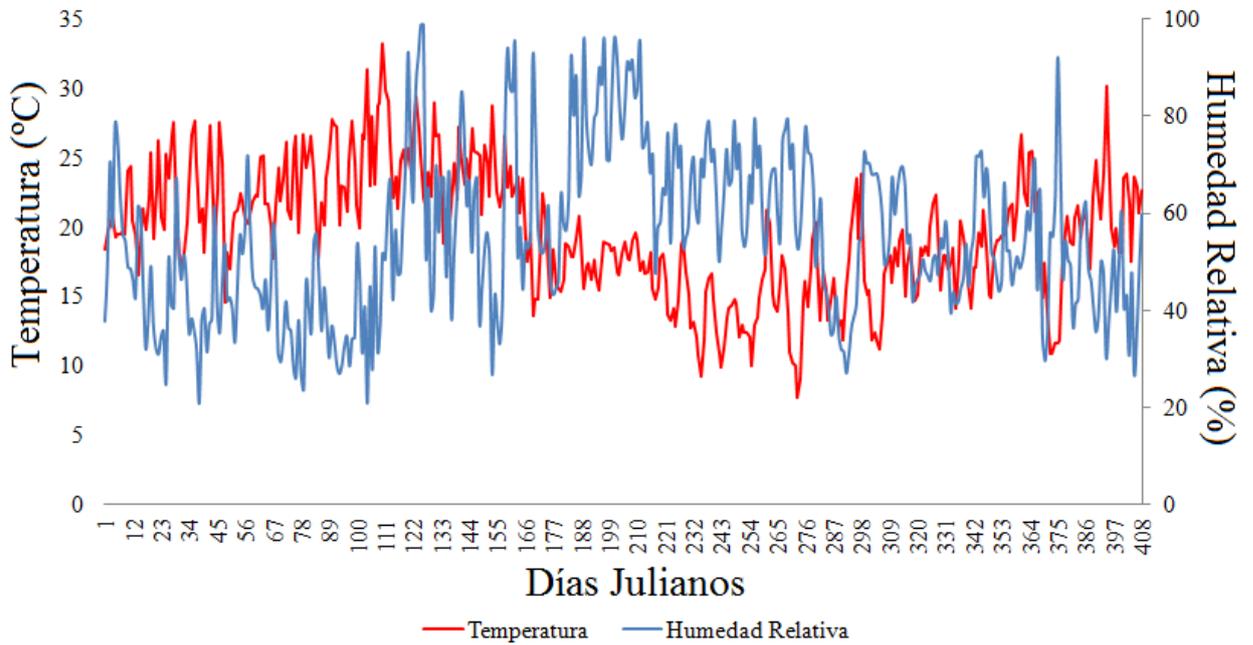
**Figura 5.1.2.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Bella Vista para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



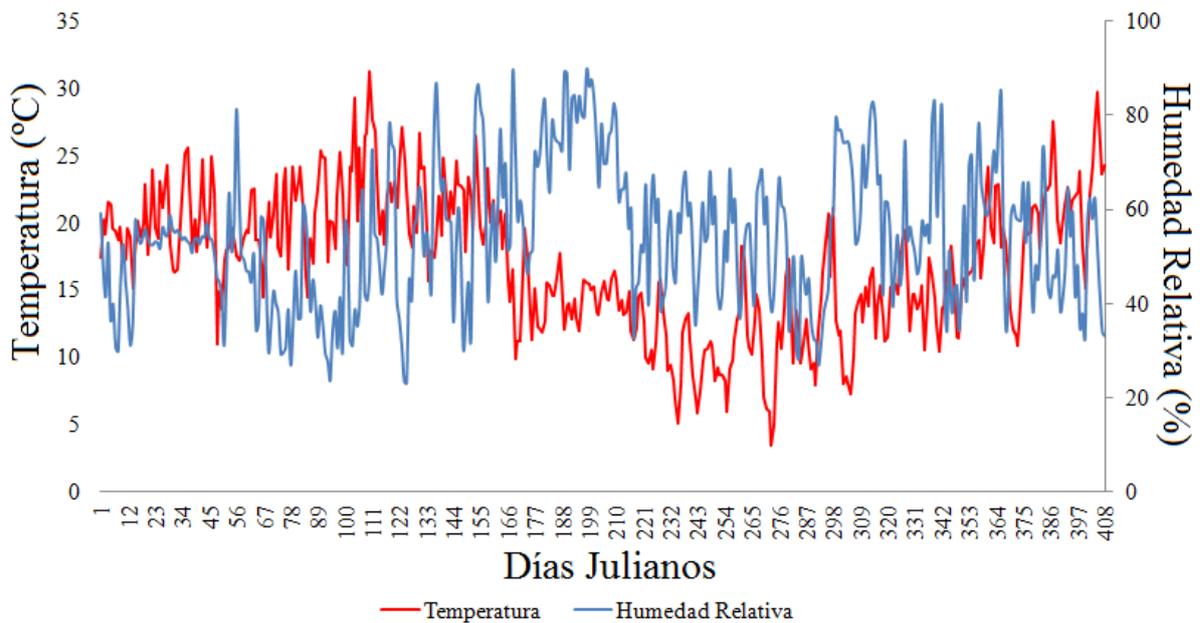
**Figura 5.1.3.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Villa Floresta para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



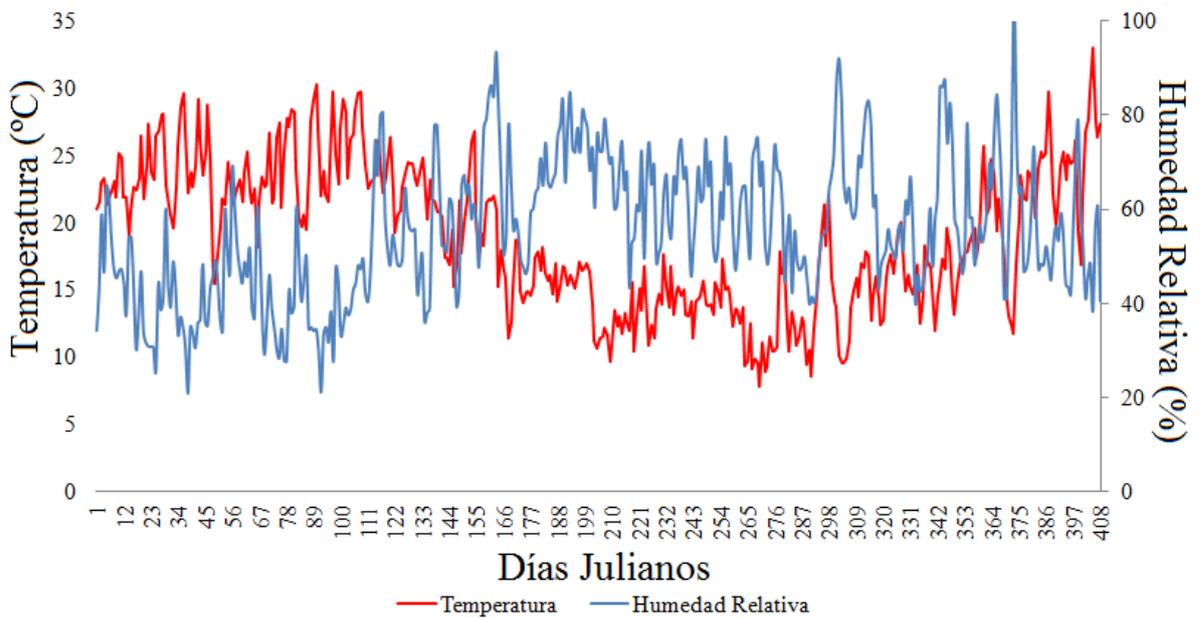
**Figura 5.1.4.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Patagonia para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



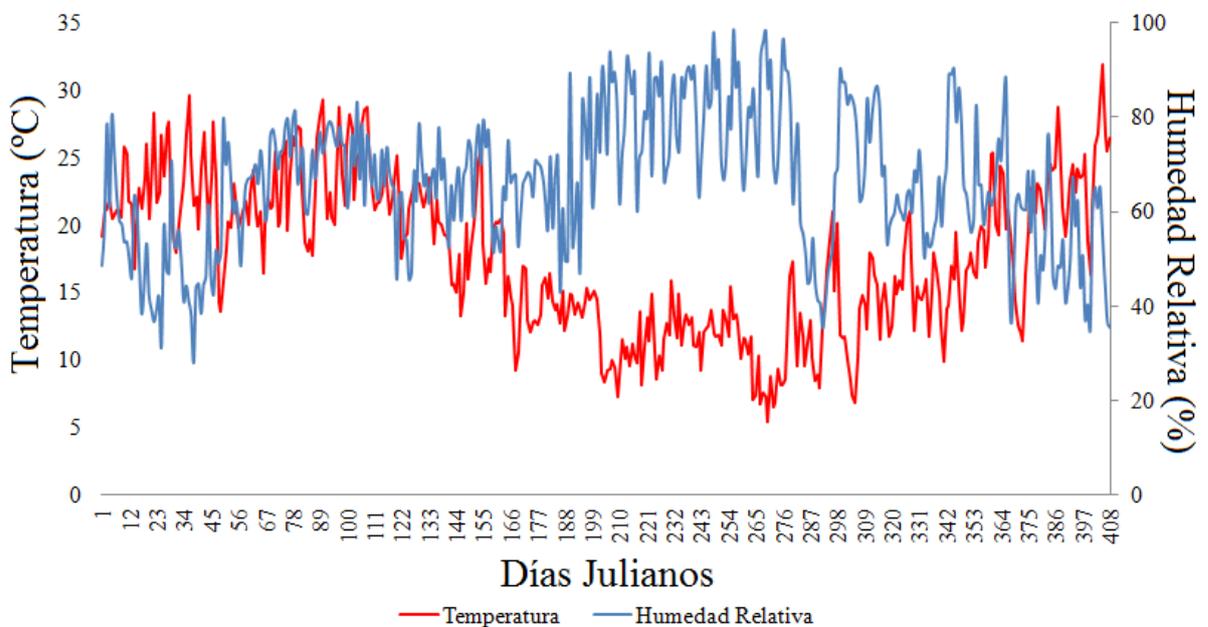
**Figura 5.1.5.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Cooperación II para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



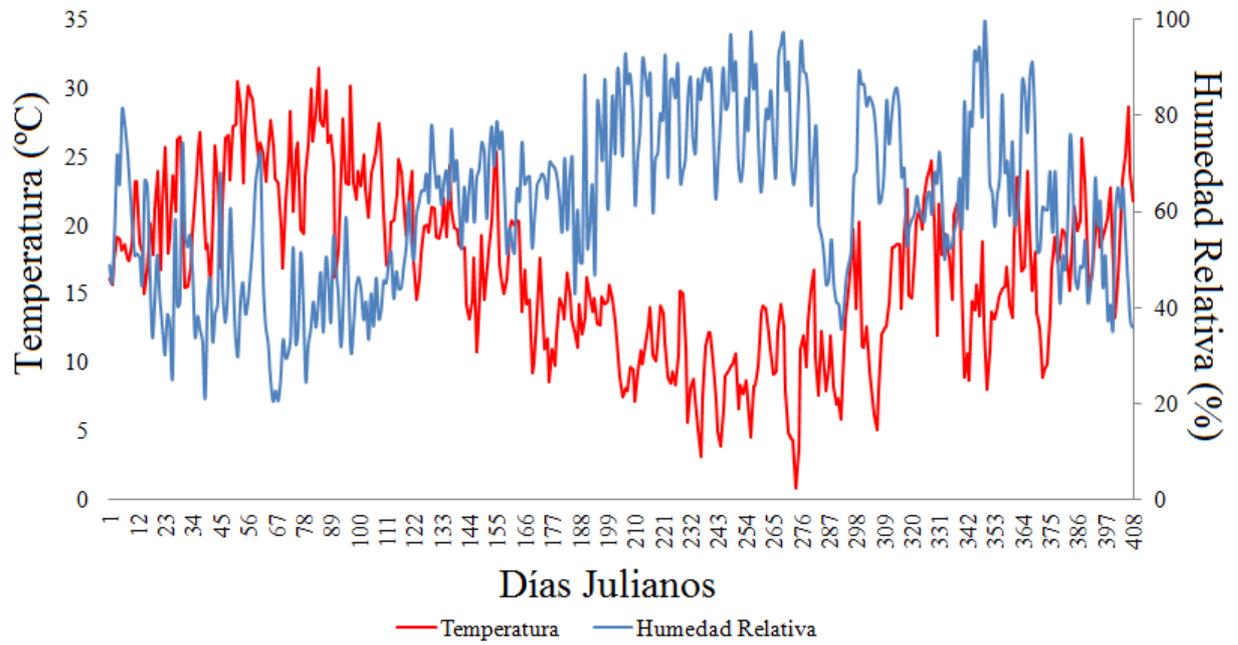
**Figura 5.1.6.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Noroeste para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



**Figura 5.1.7.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – UOM para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



**Figura 5.1.8.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – Ing. White para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.



**Figura 5.1.9.** Distribución de la temperatura y la humedad relativa diaria de la EP – CONICET para el período 27 de octubre de 2013 – 8 de diciembre de 2014.

## ANEXO 5.2. Densidad espectral de la temperatura y la humedad relativa de las Estaciones Portátiles

### 5.2.1 Temperatura

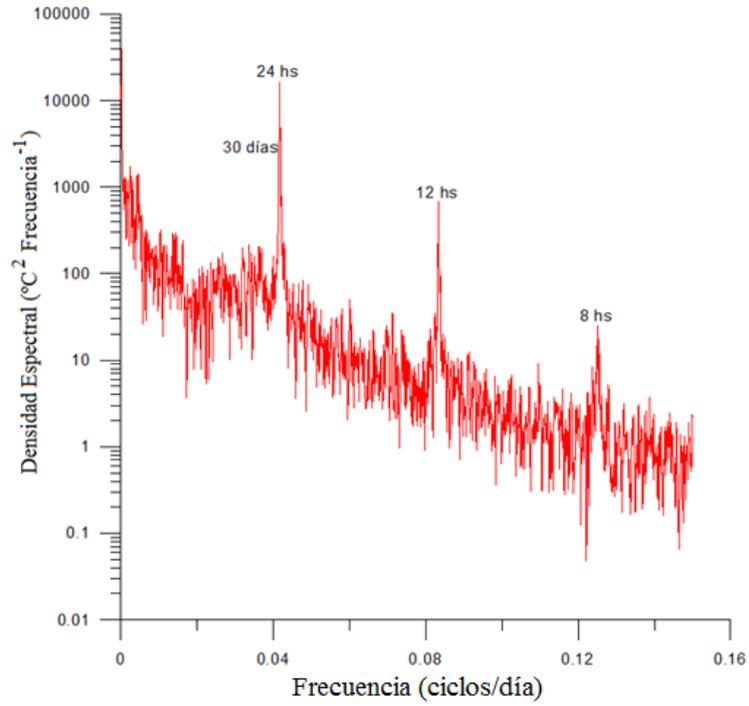


Figura 5.2.1. Densidad espectral de la temperatura de la EP- Villa Mitre.

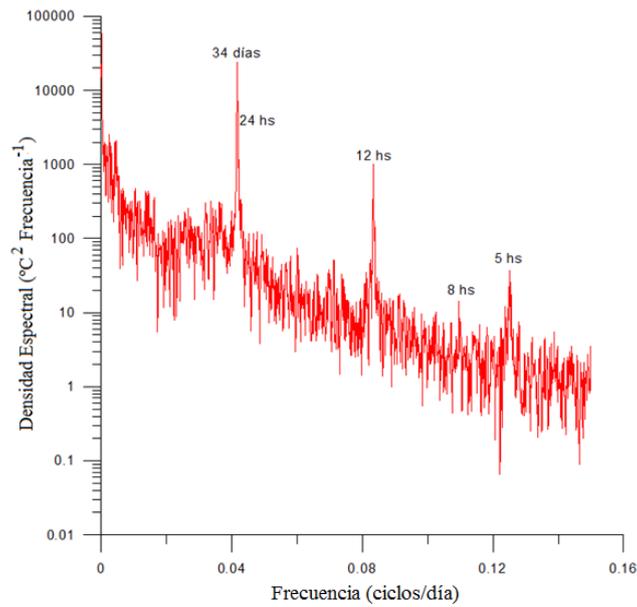
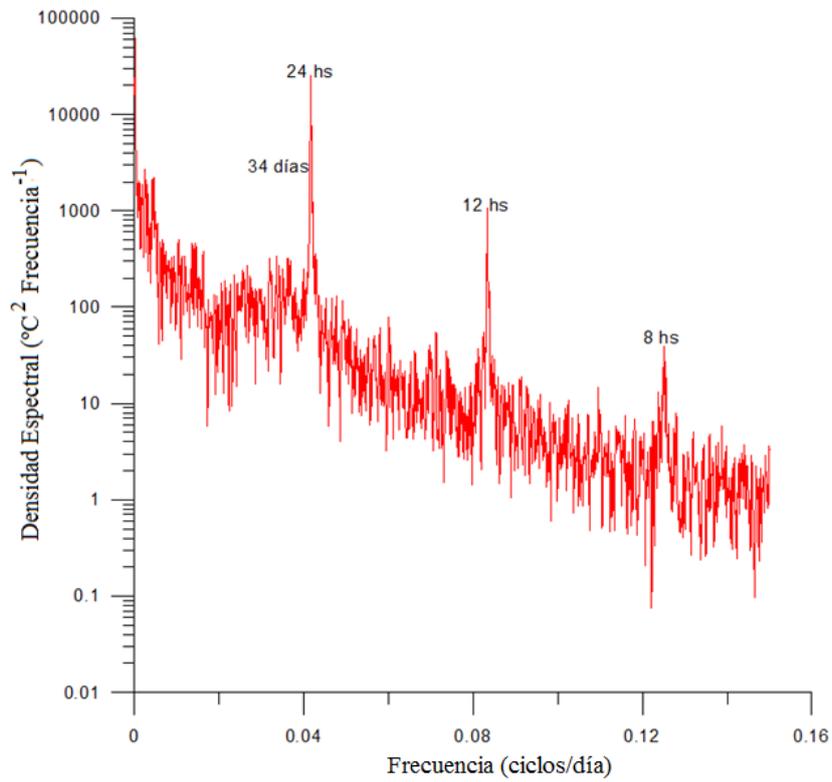
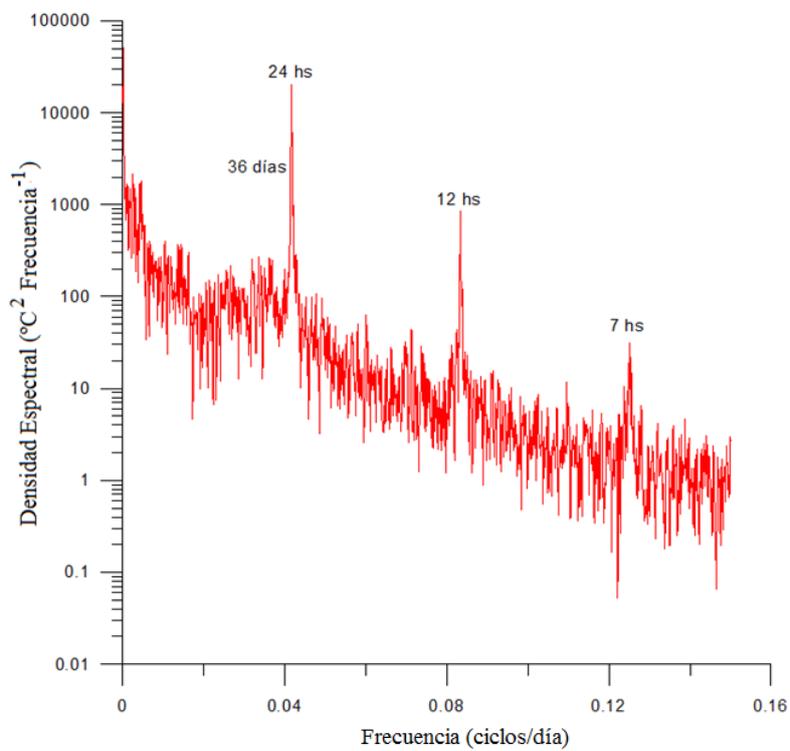


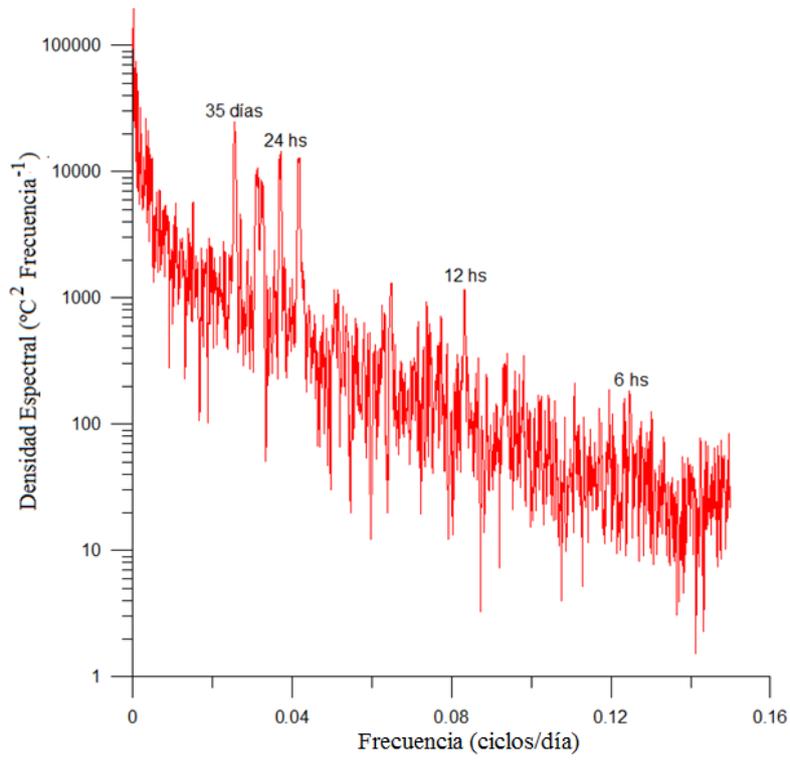
Figura 5.2.2. Densidad espectral de la temperatura de la EP- Bella Vista.



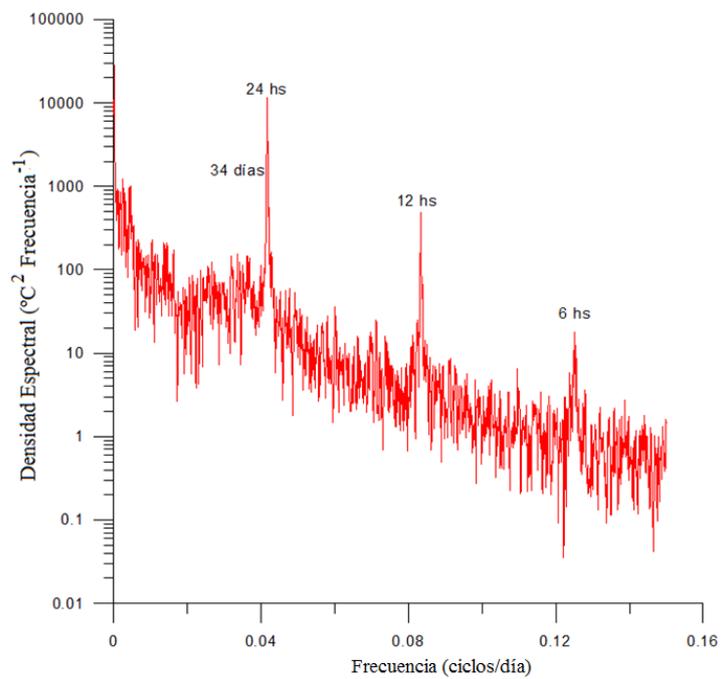
**Figura 5.2.3.** Densidad espectral de la temperatura de la EP- Villa Floresta.



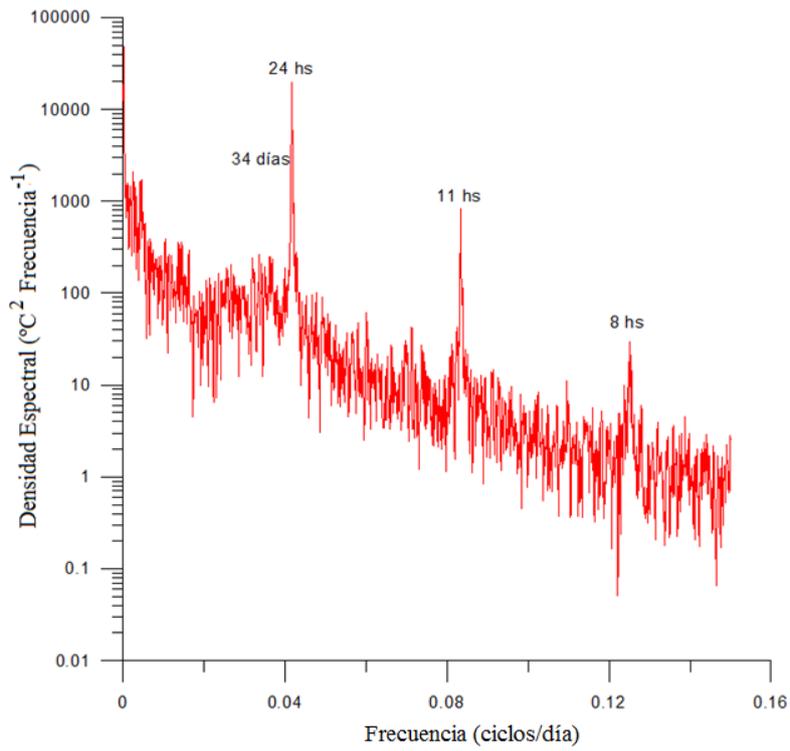
**Figura 5.2.4.** Densidad espectral de la temperatura de la EP- Patagonia.



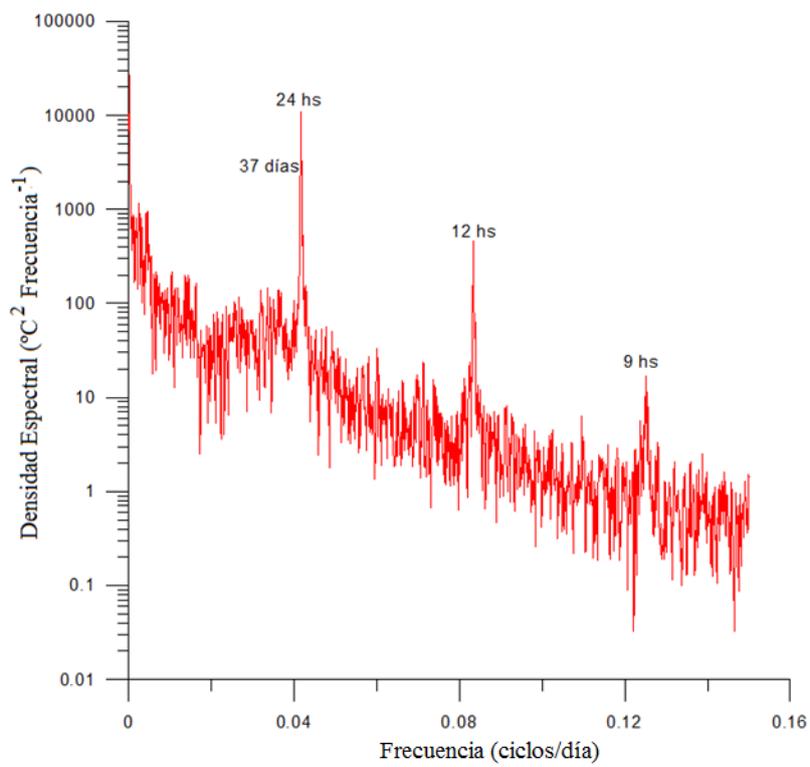
**Figura 5.2.5.** Densidad espectral de la temperatura de la EP- Cooperación II.



**Figura 5.2.6.** Densidad espectral de la temperatura de la EP- Noroeste.

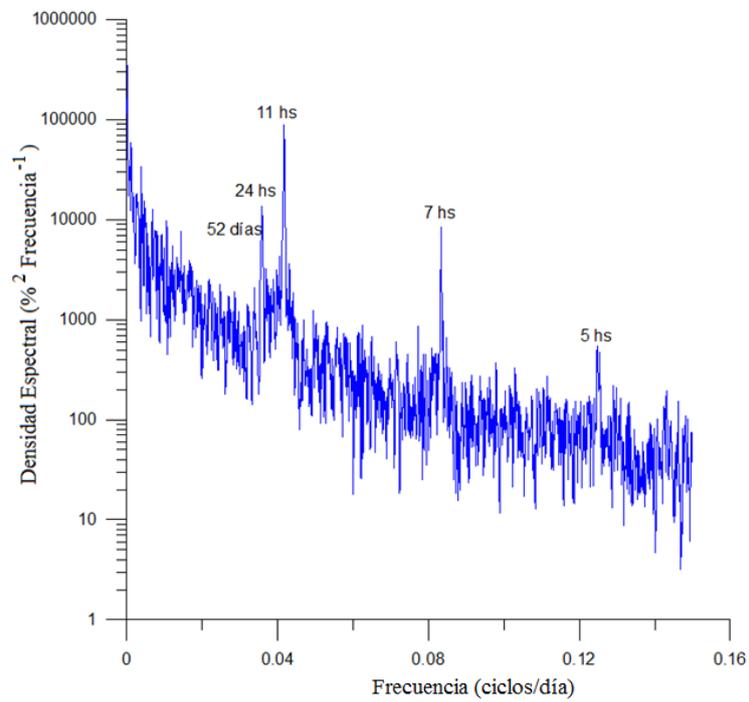


**Figura 5.2.7.** Densidad espectral de la temperatura de la EP- UOM.

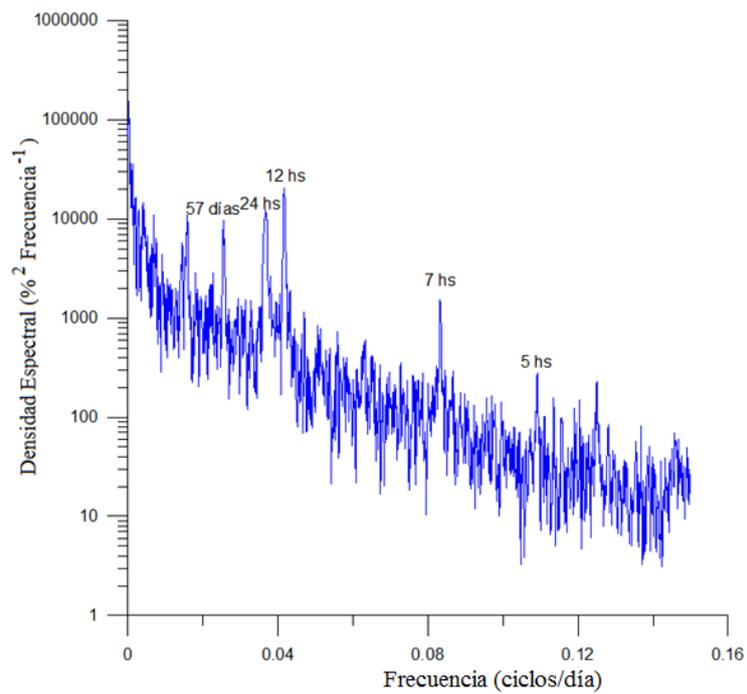


**Figura 5.2.8.** Densidad espectral de la temperatura de la EP- Ing. White.

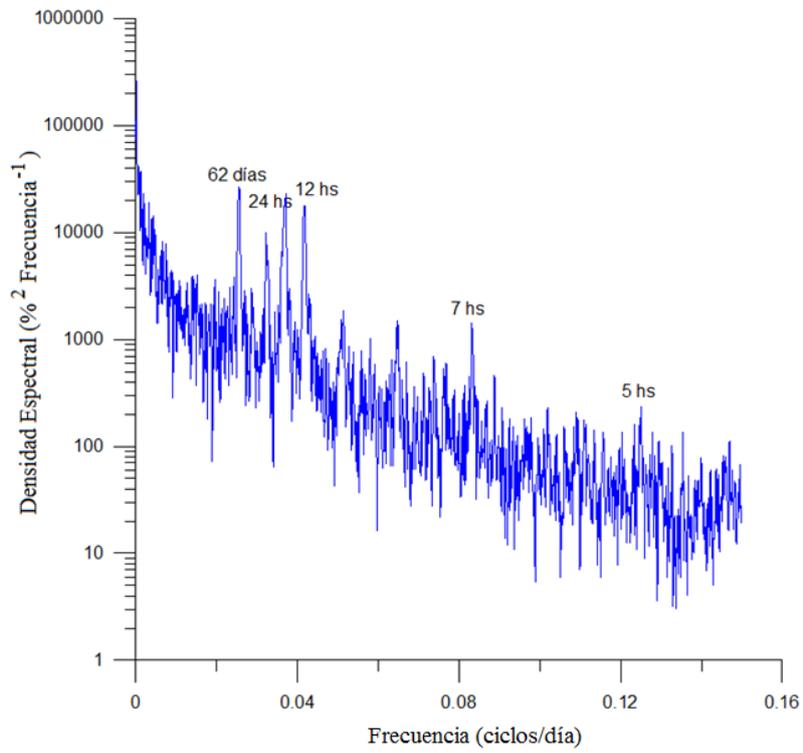
### 5.2.2. Humedad Relativa



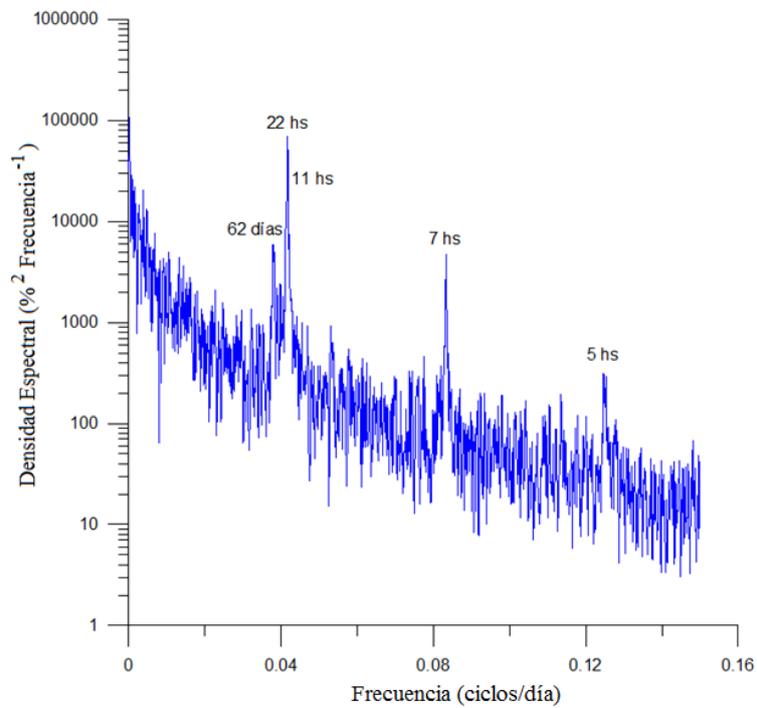
**Figura 5.2.9.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP- Villa Mitre.



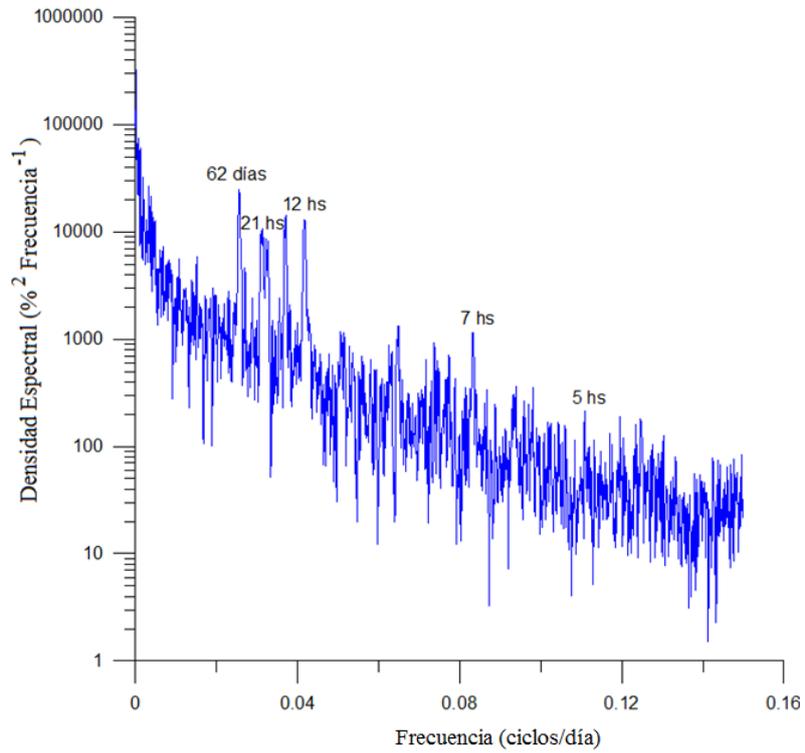
**Figura 5.2.10.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP- Bella Vista.



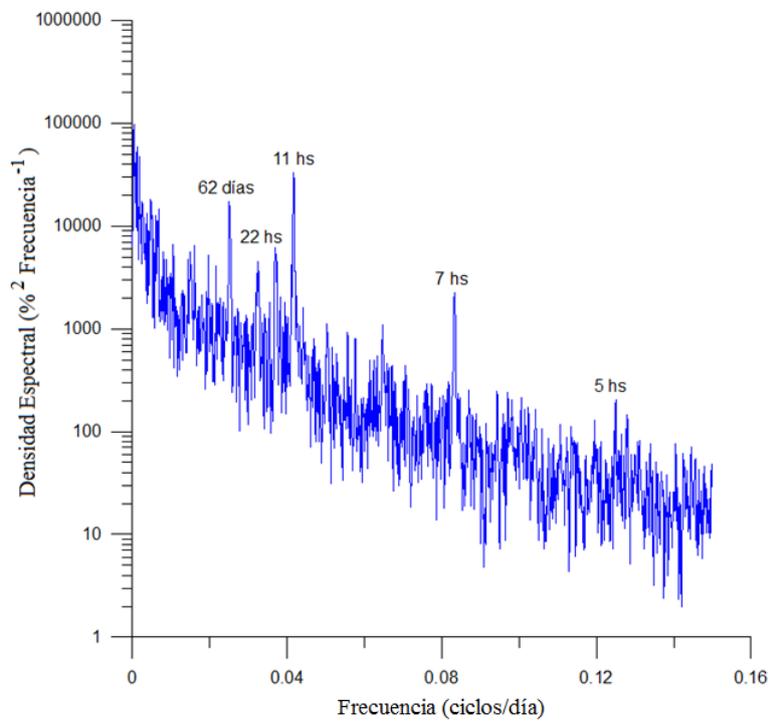
**Figura 5.2.11.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP- Villa Floresta.



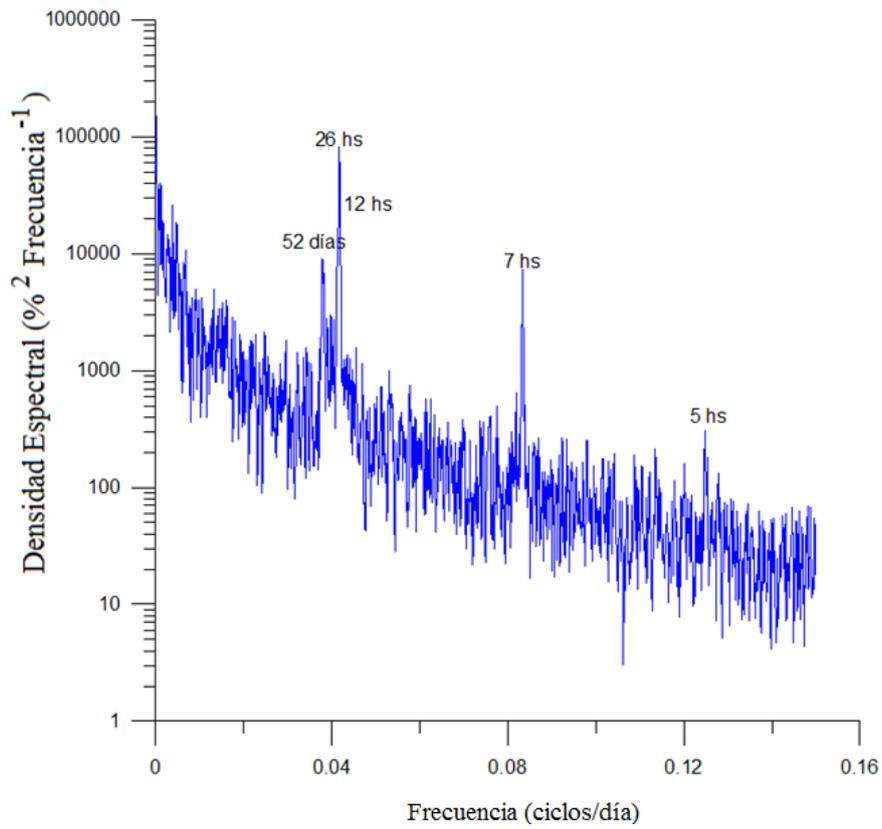
**Figura 5.2.12.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP-Patagonia.



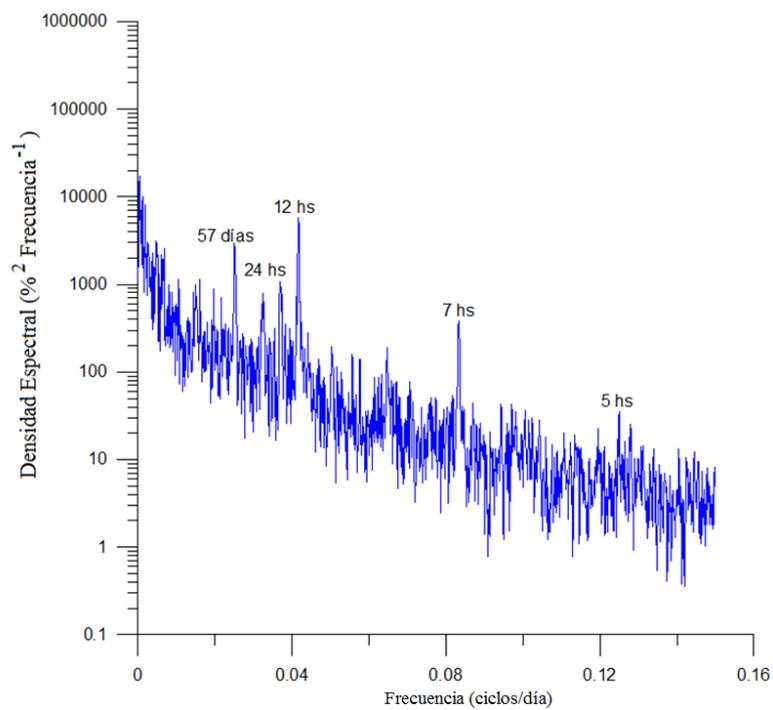
**Figura 5.2.13.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP-Cooperación II.



**Figura 5.2.14.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP-Noroeste.



**Figura 5.2.15.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP-UOM.



**Figura 5.2.16.** Densidad espectral de la humedad relativa de la EP- Ing. White.

**ANEXO 9.1. Pruebas de Normalidad de los datos de la EP-Centro.**

Las pruebas de normalidad de aplicaron para poder estandarizar los datos de cada una de las EP y con ello llevar los valores a una distribución Normal N (0,1) y completar la información necesaria para aplicar el *Indicador de Estado Actual de Bahía Blanca*. La temperatura y la humedad relativa presentaron una distribución normal. Las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk permitieron aceptar la hipótesis nula (Tabla 9.1). Los histogramas y los QQ-Plots manifestaron una tendencia normal (Figura 9.1 y 9.2). Por otro lado, el coeficiente de Curtosis fue menor en la temperatura (-0,77) y la Asimetría en la Humedad Relativa (0,27) (Tabla 9.2)

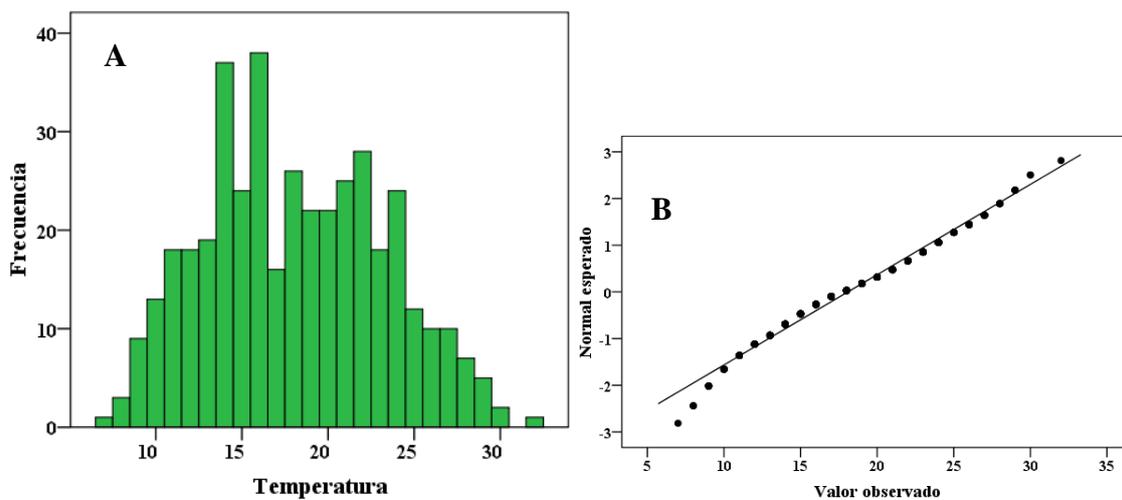
	Temperatura	Humedad Relativa
Coficiente de Curtosis	-0,77	-0,51
Asimetría	0,16	0,27

**Tabla 9.1.** Coeficiente de Curtosis y Asimetría para la temperatura y la humedad relativa de la EP – Centro.

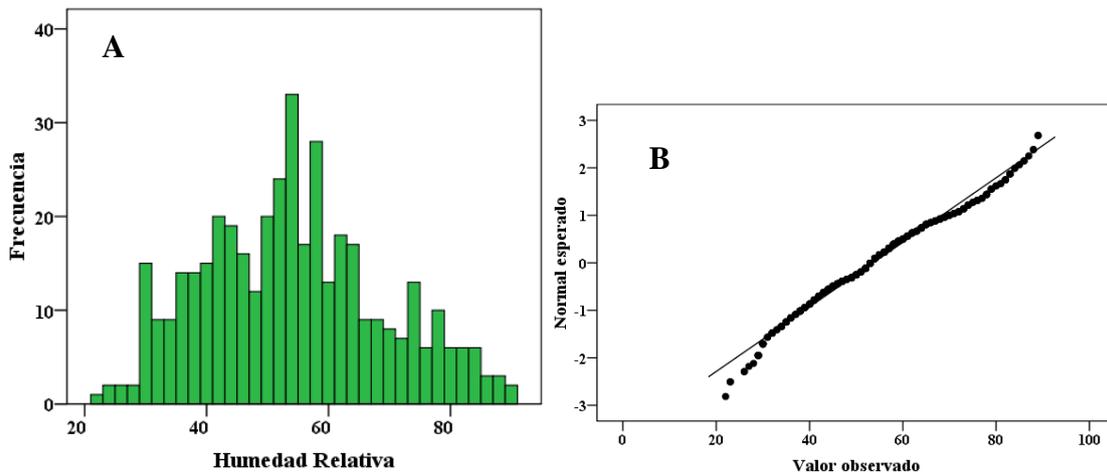
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura	,098	408	,000	,981	408	,000

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Humedad Relativa	,051	408	,014	,984	408	,000

**Tabla 9.2.** Pruebas de Kolomogorov-Smirov y Shapiro Wilks la temperatura y la humedad relativa de la EP – Centro.



**Figura 9.1.** Histograma de frecuencias (A) y QQ-Plot (B) para la temperatura de la EP - Centro.



**Figura 9.2.** Histograma de frecuencias (A) y QQ-Plot (B) para la humedad relativa de la EP - Centro.

La asimetría y el coeficiente de curtosis permitieron identificar que la distribución de los índices de confort presentó una distribución normal, dado que ambos resultados son muy cercanos a cero. El índice de Temperatura Equivalente (Te) presentó el mayor valor del coeficiente de Curtosis (0,83), seguido por el Termo-anemométrico (P) (0,53) en ambos la serie de datos presentó un leve estiramiento hacia la derecha en relación a la distribución normal. El Humidex y el Termo-higrométrico presentaron valores negativos, presentando la situación contraria a la observada en los otros índices. La asimetría se mantuvo entre el rango de -0,4 y 0,4 (Tabla 9.3).

	<b>P</b>	<b>THI</b>	<b>H</b>	<b>Te</b>
Coeficiente de Curtosis	0,53	-0,18	-0,01	0,83
Asimetría	0,39	-0,23	0,01	-0,38

**Tabla 9.3.** Coeficiente de Curtosis y Asimetría para los índices de Confort. **P.** Termo-anemométrico, **THI**, Termo-higrométrico, **H**, Humidex, **Te**. Temperatura equivalente.

Las pruebas de normalidad comprobaron la existencia de una distribución normal (Tabla 9.4). La prueba de Kolmogorov-Smirnov presentó un valor muy ajustado en el índice P y el Te, con un estadístico de 0,068 y 0,065, respectivamente, pero el QQ-plot y el histograma de frecuencias permitieron concluir que todos los índices de confort presentaron un comportamiento normal (Figuras 9.3, 9.4, 9.5 y 9.6).

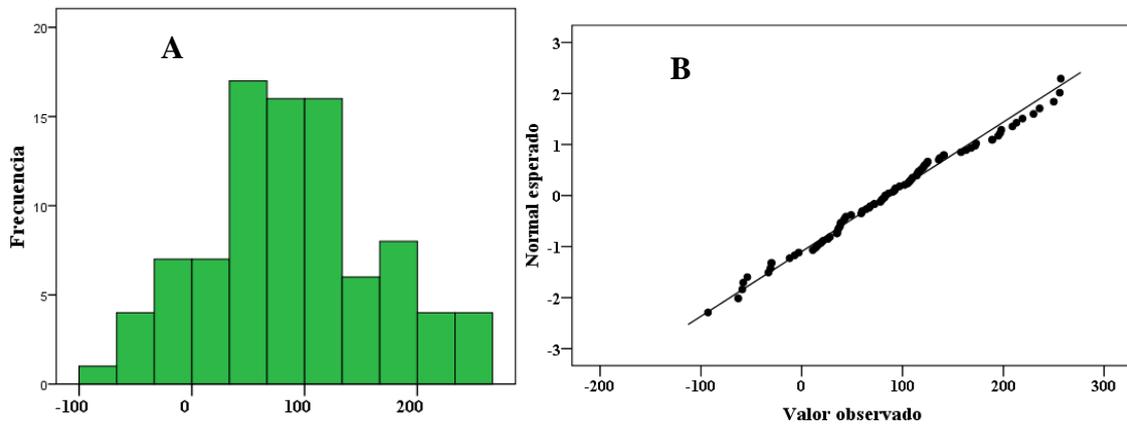
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
P	,068	90	,200 <sup>*</sup>	,986	90	,436

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
THI	,102	90	,022	,985	90	,381

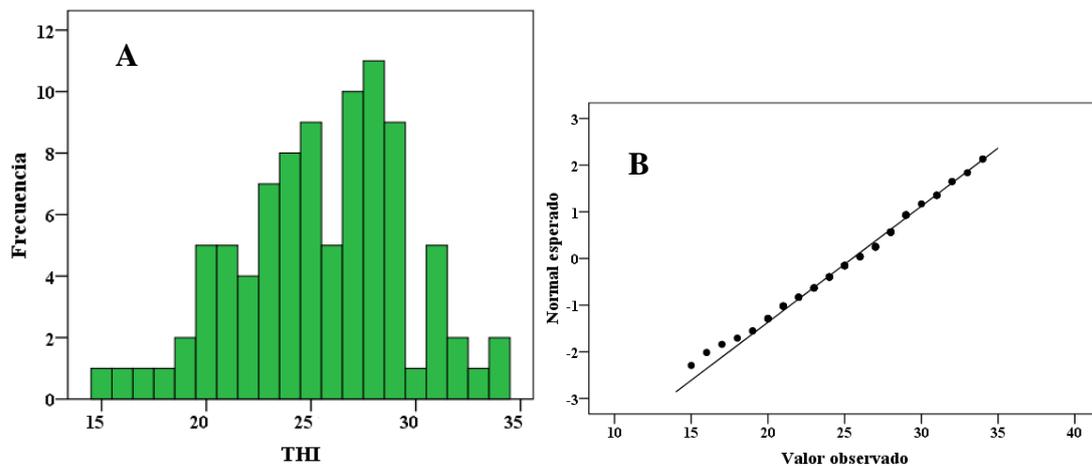
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Humidex	,099	90	,029	,983	90	,274

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Te	,065	90	,200 <sup>*</sup>	,987	90	,488

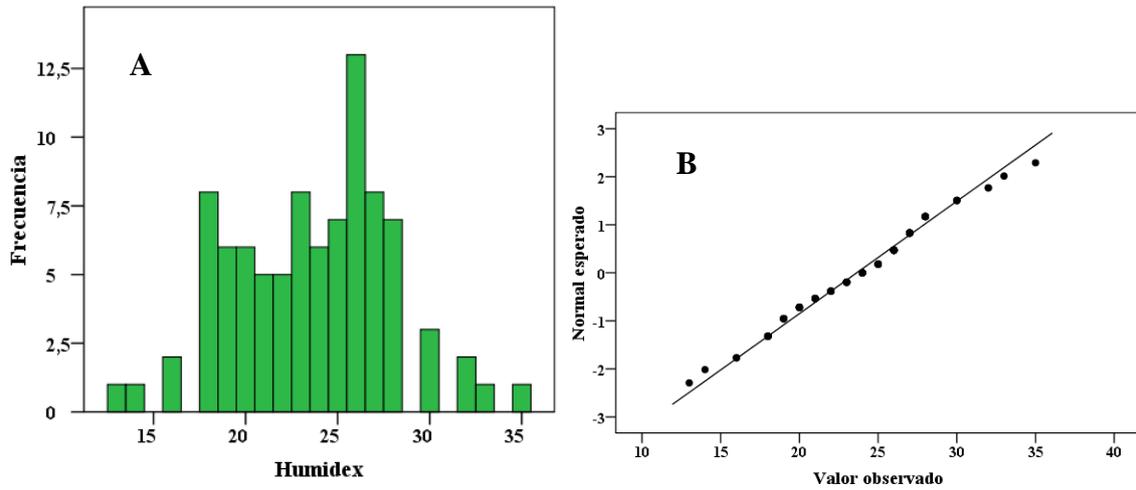
**Tabla 9.4.** Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro Wilks para los índices de confort **P**, Termo-anemométrico, **THI**, Termo-higrométrico, Humidex y **Te**.  
Temperatura equivalente.



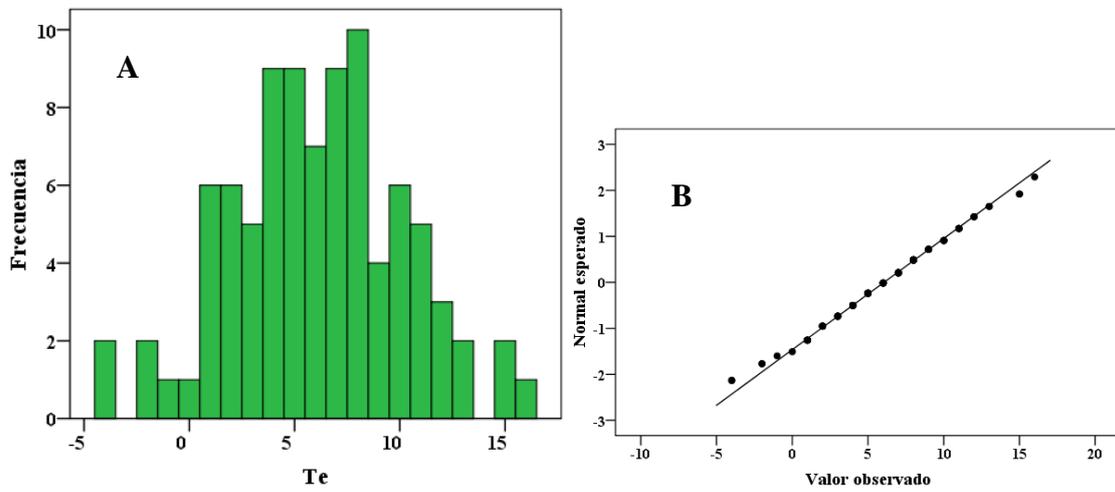
**Figura 9.3.** Histograma de frecuencias (A) y QQ-Plot (B) para el índice P.



**Figura 9.4.** Histograma de frecuencias (A) y QQ-Plot (B) para el índice THI.



**Figura 9.5.** Histograma de frecuencias (A) y QQ-Plot (B) para el índice Humidex.



**Figura 9.6.** Histograma de frecuencias (A) y QQ-Plot (B) para el índice Te.