

El rol del arbolado urbano sobre la temperatura invernal de la villa balnearia de Pehuen Co (Argentina)

María Luján Bustos*
Federico Ferrelli**
María Cintia Piccolo***

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el porcentaje ideal de cobertura vegetal para generar temperatura del aire más confortable durante los meses más fríos en la localidad costera de Pehuen Co (Argentina). Se subdividió su plano según la cantidad de vegetación: > al 80 %, entre 80 y 40 % y < al 40 %. Se analizó la variación del Índice Normalizado de Vegetación y la Temperatura de Superficie Terrestre (TST) en la villa. Se midió la temperatura del aire (Ta) en recorridos por la localidad y se aplicó el test Kruskal-Wallis para determinar las diferencias en la temperatura de las diferentes áreas. En la cobertura vegetal densa (> 80 %) se registró una mayor Ta en las horas de la mañana respecto de las otras dos clases. Se observó que donde las áreas arboladas fueron > 80 % la TST fue menor y viceversa. Se concluyó que para generar los mayores beneficios en la implementación de actividades turísticas en los meses de invierno y/o prevenir posibles situaciones desconfortables por frío la cobertura vegetal necesaria debe ser superior al 40 %. Estos resultados proporcionan una guía para la planificación urbana de localidades costeras turísticamente más sustentables.

Palabras Clave: Vegetación urbana, NDVI, TST, Clima urbano, Pehuen Co (Argentina).

* Becaria posdoctoral del Instituto Argentino de Oceanografía, (CONICET). Docente del Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina, e-mail: mlbustos@criba.edu.ar.

** Becario doctoral del Instituto Argentino de Oceanografía. (CONICET), e-mail: fferrelli@iado-conicet.gob.ar.

*** Investigadora Superior del Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET). Docente del Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina, e-mail: ofpiccol@criba.edu.ar.

The influence of urban vegetation on winter temperature in Pehuen Co coastal town (Argentina)

Abstract

The aim of this study was to analyze the influence of vegetation on the spatial distribution of winter air temperature in order to determine the appropriate percentage of vegetation necessary to create a more comfortable environment during the coldest months in Pehuén Co (Argentina). The town was sub-divided into three regions according to the amount of vegetation: greater than 80%, between 40 and 80% and less than 40%. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Land Surface Temperature (LST) were applied. Air temperature data were analyzed using Kruskal-Wallis test in order to determine the relationship between air temperature and the vegetation coverage. The heavily vegetated region (>80%) presented an air temperature increase during the morning. The LST presented lower values in regions with more vegetation. It was concluded that the appropriate percentage of vegetation necessary to generate touristic activities in the winter months and/or prevent possible uncomfortably cold situations for people outdoors must be greater than 40%. These results provide a guide to urban planning in sustainable coastal towns.

Key words: Urban vegetation, NDVI, LST, Urban climate, Pehuen Co (Argentina).

Introducción

El crecimiento constante de las ciudades tiene como consecuencia un aumento significativo de la temperatura urbana (Oke, 1978). Los cambios en el comportamiento térmico de las ciudades afectan la confortabilidad de los residentes y turistas (Deosthali, 1999). Este parámetro podría atenuarse si se incrementaran los espacios verdes urbanos (Mendonca y Lombardo, 2009; Oliveira *et al.*, 2011). Los cambios en la cobertura del suelo natural ocasionados por la expansión de las ciudades son los mayores impactos antropogénicos sobre el medioambiente (Kaufmann *et al.*, 2007). Además, la construcción de edificios sobre áreas vegetadas modifica el intercambio de calor, agua y aerosoles entre la superficie y la atmósfera (Crutzen, 2004). Varios autores afirman que las áreas verdes urbanas generan que la temperatura del aire se mantenga estable y que se reduzcan los costos de calefacción y refrigeración (McPherson y Rowntree, 1993; Gill *et al.*, 2007; Santamouris, 2014) y se mejore la calidad del aire (Kuttler y Strassburger, 1999; Mirela Robitu *et al.*, 2006). Un aumento de las áreas arboladas en las urbes produce beneficios para la sociedad a nivel biológico, social y económico (Dimoudi y Nikolopoulou, 2003). Con este aumento, se reduce el impacto ambiental que genera el proceso de urbanización regulando la temperatura, conservando la energía y el agua y mejorando la calidad del aire (Wong y Yu, 2005; De la Maza y Cerda, 2009).

Las localidades costeras sufren las variaciones de temperatura propias de las urbanizaciones en general (Adams y Smith, 2014). A esta problemática se suma que, normalmente, estas basan su economía en el turismo de playa concentrado en los meses de verano. Para diversificar la economía de estas localidades y extender la actividad a otros meses del año, el confort de las personas al aire libre es un factor importante. La decisión de elegir el destino turístico es motivada por los atractivos que posee el lugar, entre los que se encuentra el clima (Gómez Martín, 2005). En la Argentina, se han estudiado las variaciones térmicas en diferentes ciudades de la costa atlántica, en especial de la provincia de Buenos Aires (Marini y Piccolo, 2000; Piccolo y Diez, 2008). Se ha demostrado que en algunas de estas localidades, en los meses invernales, el confort de las personas al aire libre varía desde desconfortablemente frío hasta peligroso para la salud (Bustos y Piccolo, 2011). Capelli de Steffens *et al.* (2005) analizaron el confort térmico en verano e invierno y la relación con el arbolado urbano en la ciudad de Bahía Blanca, concluyendo en la necesidad de crear superficies verdes que atenúen la sensación de agobio en el verano y aumenten las temperaturas en los meses fríos. Otros autores han demostrado el rol mitigador de la vegetación ante los efectos de las islas de calor o cortinas de viento fuerte (Bonan, 2008; Acar y Dursun, 2010; Lehmann, 2014). Con el fin de mejorar el confort y contribuir al aumento de visitantes en los meses fríos en las ciudades costeras, una posible solución sería aumentar la superficie de las áreas arboladas, pero ¿cuánta cobertura vegetal es necesaria para aumentar la temperatura en los meses más fríos? Son escasos los autores que han estudiado este aspecto, por ello, en este trabajo, se realizó un análisis preliminar de los efectos de la distribución espacial de la tempe-

ratura en relación con el porcentaje de cobertura de vegetación. Se seleccionó como lugar de estudio la localidad costera de Pehuen Co (Argentina).

Área de estudio

Pehuen Co se encuentra en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 1). Fue fundada en 1948 y actualmente posee una población de 900 habitantes permanentes (Delegación Municipal de Pehuen Co). Este balneario presenta las condiciones de tamaño y vegetación necesarias para poder cumplir el objetivo del presente trabajo. Es una localidad costera sin zonas industriales ni edificaciones en altura. Las calles están sin pavimentar, hay áreas con poca vegetación y otras densamente arboladas con diversas especies de árboles, siendo los pinos y los eucaliptos las más comunes. El plano de la villa presenta una orientación este-oeste de forma paralela a la costa.

La temperatura media anual es 13,6 °C. La temperatura media de primavera-verano es 16,7 °C, mientras que en otoño-invierno es 9,9 °C. Además, en invierno, especialmente en los meses de junio, se registran temperaturas por debajo de los -4 °C que, combinado con el viento del sur, generan sensaciones térmicas que ponen en peligro de hipotermia a personas inactivas que se encuentran al aire libre (Bustos y Piccolo, 2011). La precipitación anual media es 400 mm. Asimismo, esta región presenta períodos secos y húmedos alternos. Las lluvias se concentran normalmente en primavera-verano, disminuyendo su intensidad en otoño y siendo mínimas en invierno. La presión atmosférica media anual es 1.017 hPa. Los vientos predominantes provienen de los cuadrantes norte y noroeste, siendo más intensos en primavera y verano, especialmente diciembre y enero. La velocidad media anual del viento oscila entre los 7 y 25 km h⁻¹ (Bustos, 2012).

La actividad económica principal es el turismo de sol y playa seguido por la pesca artesanal. La primera actividad se concentra entre diciembre y marzo (meses más cálidos) alcanzando hasta 20.000 visitantes diarios. Según encuestas realizadas en la temporada estival (Bustos, 2012), estos visitantes son en su mayoría recreacionistas de fin de semana, entre 26 y 40 años de edad, con nivel de educación medio a alto. Generalmente su procedencia es regional y concurren en grupos familiares (4 a 8 personas) o en pareja. La principal motivación para concurrir a esta playa es la búsqueda de “tranquilidad y naturaleza, lejos del ruido y el cemento” según lo expresaron los visitantes (Bustos, 2012). A pesar de la buena concurrencia en los veranos, en los meses más fríos las visitas a Pehuen Co se reducen drásticamente en un 90 %. Esto genera pérdidas financieras y frena la economía local. Hasta la temporada 2008/09, las respuestas negativas alcanzaron el 70 % respecto de si los visitantes estivales concurrirían al balneario en feriados o en vacaciones de invierno. Asimismo, en los siguientes años las respuestas positivas sobre si volverían en meses fríos fueron del 87 %. Esto muestra una clara voluntad por parte de los visitantes de concurrir al balneario en la temporada invernal, pero es evidente la falta de incentivos para concretar las visitas.

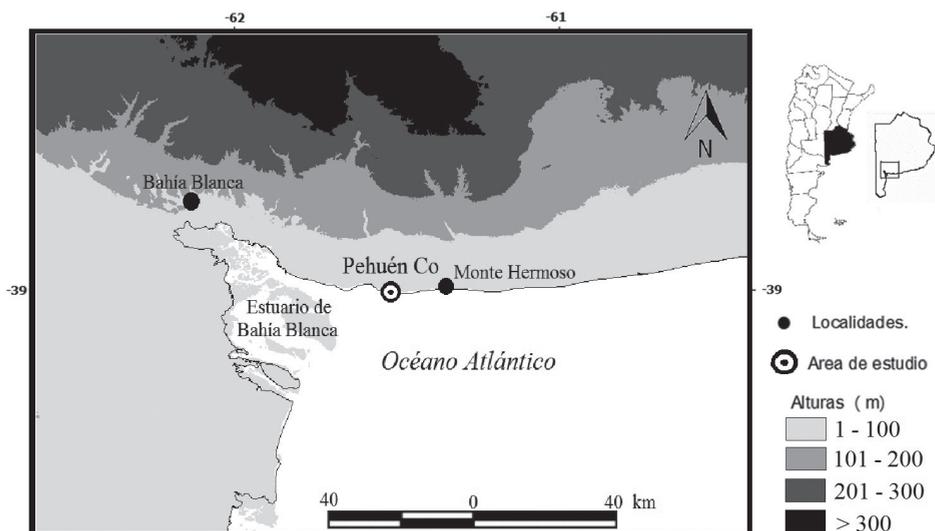


Figura 1. Localización de la localidad de Pehuen Co, provincia de Buenos Aires (Argentina). Fuente: elaborado por Bustos, Ferrelli y Piccolo.

Metodología

Se dividió la zona urbanizada de Pehuen Co en áreas según la cobertura de su arbolado (Tabla I). Si bien el plano es irregular, se tomó como mínima unidad de medición una manzana (espacio edificado delimitado por calles). Esta división se realizó a partir de recorridos de campo e interpretación visual de imágenes de Google Earth® (2010). Como resultado se obtuvo un mapa con las diferentes coberturas (Fig. 2).

Por otro lado, se analizó la distribución espacial del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) y de la Temperatura de Superficie Terrestre (TST) mediante el procesamiento digital de una imagen Landsat 7 del día 30 de junio de 2010 (tomada a las 10:48 h, hora local). La misma se obtuvo del *United States Geological Survey* (USGS, Estados Unidos). Esta imagen se seleccionó debido a que es la fecha más próxima a las mediciones *in situ* en las que se registró una imagen satelital sin presencia de nubes y que representó las características típicas de un día de invierno.

Cobertura vegetal	Abreviatura	Porcentaje de cobertura (%)	Características
Áreas muy arboladas	MA	> 80 %	Los árboles cubren más del 80 % de la manzana.
Áreas arboladas cercanas a la costa	AC	40 - 80 %	Los árboles cubren al menos un 40 % y no más del 80 % de la manzana y se localiza a menos de 600 m del mar.
Áreas arboladas alejadas de la costa	AA	40 - 80 %	Los árboles cubren al menos un 40 % y no más del 80 % de la manzana y se localizan a más de 600 m del mar.
Áreas sin o con escaso arbolado	SA	< 40 %	Los árboles no llegan a cubrir el 40 % de la manzana y se caracteriza por la presencia de suelo arenoso.

Tabla I. Características y porcentajes de las coberturas de vegetación identificadas en la localidad de Pehuen Co. Fuente: elaborado por Bustos, Ferrelli y Piccolo.

El NDVI fue tomado como un indicador de la biomasa y el estado de la vegetación en el interior de la ciudad. La TST se utilizó como indicador de la composición de la superficie, la rugosidad y el tamaño de los elementos (Valor y Caselles, 1996; Rivas y Caselles, 2004). La misma se analizó con el método monocanal, considerando las correcciones en el espectro solar y el método de Resta de Superficies Oscuras (Song *et al.*, 2001; Schroeder *et al.*, 2006; Carmona *et al.*, 2011). Las variaciones espaciales de ambos parámetros se realizaron a través de dos transectas: 1) A-B: cruzó por las coberturas SA y AA y 2) C-D: que cruzó las áreas AC y MA (Fig. 3 y 4).

La distribución espacial de la temperatura del aire (T_a) en las diferentes áreas se obtuvo a través de mediciones *in situ* el 16 de junio de 2010 (con condiciones de tiempo típicas de un día de invierno) siguiendo la metodología descrita por García y Piccolo (2008). Las condiciones sinópticas fueron las óptimas: sin presencia de nubes y la velocidad del viento no superó la velocidad crítica de 6 km h⁻¹ (estimada según Oke y Hannell, 1970). Las mediciones se realizaron utilizando dos vehículos, cada uno equipado con un termohigrómetro digital, un GPS y un anemómetro. El período de muestreo se extendió durante una hora y se realizó en dos momentos del día: a la mañana (7:00 h, hora local) y a la tarde (14:30 h, hora local). En ese tiempo los automóviles recorrieron toda la villa en sentido perpendicular (norte-sur) y paralelo a la costa (este-oeste) en forma simultánea y a una velocidad constante de 35 km h⁻¹. Los datos fueron normalizados con una Estación de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC) de referencia localizada al oeste de la ciudad (Fig. 2). Debido a que las muestras fueron no paramétricas, no cumplieron con el supuesto de normalidad y no tuvieron una relación entre la media y la varianza, los datos se analizaron con el test Kruskal-Wallis (α de 0,05).

Este test se aplicó para determinar las diferencias entre los datos de la Ta en las distintas zonas vegetadas de la localidad.

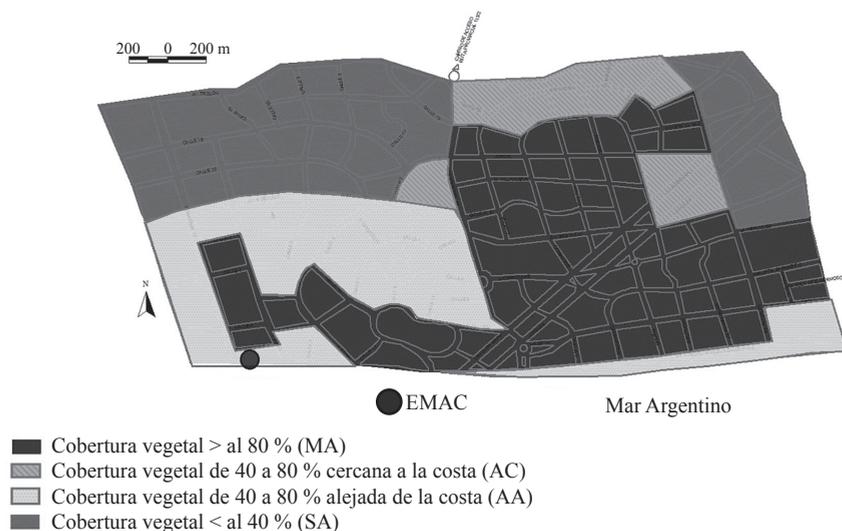


Figura 2. Coberturas de vegetación y localización de la estación de referencia EMAC en Pehuén Co. Fuente: elaborado por Bustos, Ferrelli y Piccolo.

Resultados y discusión

La distribución espacial del NDVI presentó los menores valores (inferiores a 0,2) donde la cobertura vegetal no superaba el 40 %. En las áreas con cobertura entre 40 y 80 % los valores oscilaron entre 0,18 y 0,32. El área MA manifestó un comportamiento similar al área AA, pero con valores mayores. El máximo valor observado fue 0,56 y el medio 0,41 (Fig. 3). Esto se debe a que las respuestas espectrales de la vegetación varían en función de sus propiedades biofísicas (Quattrochi y Ridd 1998).

Los valores de TST estuvieron relacionados con los valores de NDVI. La relación entre la TST y el NDVI está determinada por la abundancia de vegetación. La abundancia de vegetación es uno de los factores más influyentes en la TST (Weng *et al.*, 2004). Cuando la vegetación es más densa, la TST presenta un comportamiento más estable (Goward *et al.*, 2002). Debido a esto las áreas con cobertura vegetal entre 40 y 80 % presentaron mayores valores medios de TST (12,6 °C) que el área con cobertura mayor al 80 % (11 °C) (Fig. 4). La TST manifestó sus menores valores cuanto mayor fue la abundancia de vegetación. En el área con menor cobertura vegetal (< 40 %) la TST fue mayor (13 °C) debido a que los terrenos al descubierto están expuestos constantemente al sol (a diferencia de los otros que tienen la sombra de los árboles) (Tabla II).

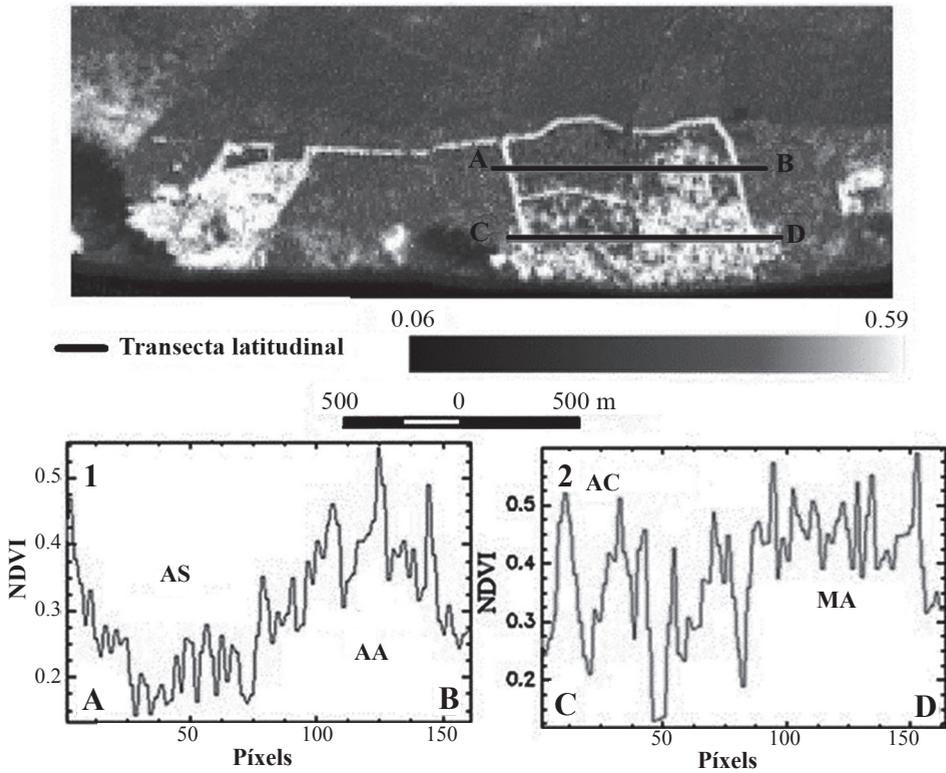


Figura 3. Distribución espacial del NDVI para los diferentes tipos de coberturas vegetales en la localidad de Pehuen Co el día 10 de junio de 2010. 1) Transecta A-B y 2) Transecta C-D. Fuente: elaborado por Bustos, Ferrelli y Piccolo.

La T_a durante la mañana fue mayor en el área con cobertura vegetal > al 80 % (6,8 °C). El área con cobertura < al 40 % se caracterizó por valores menores de T_a (4,3 °C) y el área con coberturas entre 40 y 80 % presentaron un valor intermedio (5,1 °C) (Tabla II). Esto se debe a la retención de radiación que genera la vegetación durante la noche en contraste con la rápida liberación de radiación de onda larga de las áreas sin cobertura vegetal que se genera pocas horas después de la puesta del sol (Ballester Olmos, 1991).

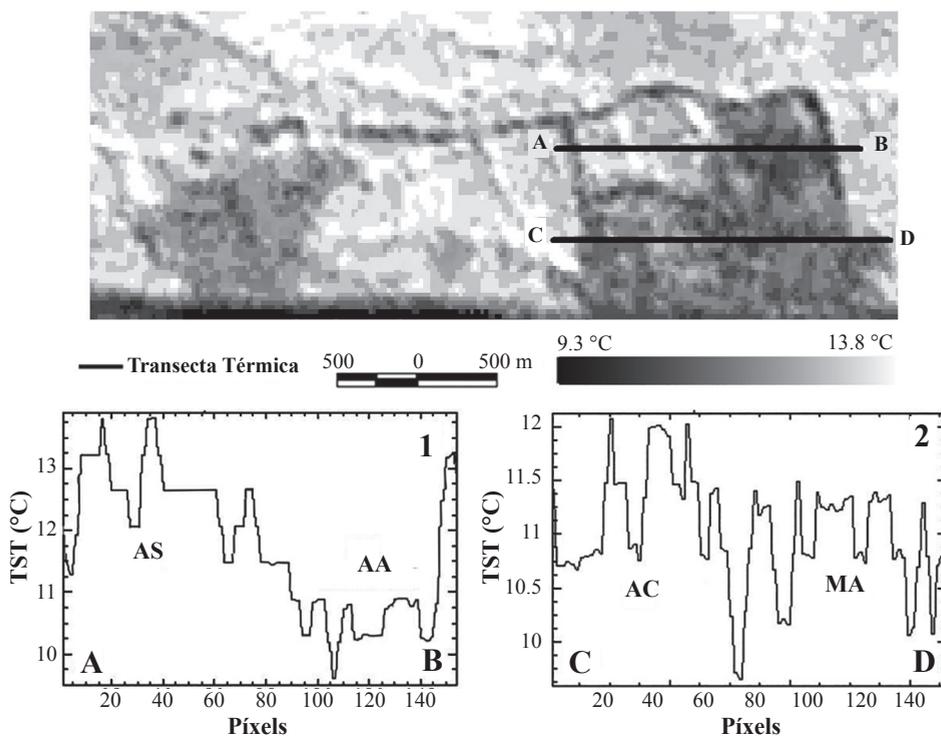


Figura 4. Distribución espacial de la TST para los diferentes tipos de coberturas vegetales en la localidad de Pehuen Co. 1) Transecta A-B y 2) Transecta C-D.

Fuente: elaborado por Bustos, Ferrelli y Piccolo.

Momento de medición	ÁREAS				Temperatura (°C)
	MA	AC	AT	SA	
Mañana*	11	11.5	10.2	13	TST
	6.8	5.1	5.1	4.3	Ta
Tarde**	-	-	-	-	TST
	9.8	9.6	10.9	10.6	Ta

Tabla II. Temperatura Superficial Terrestre (TST) y de la temperatura del aire (Ta) para cada cobertura vegetal identificada en la localidad de Pehuen Co del día 10 de junio de 2010. *Mañana: TST: 10:48 h, hora local; Ta: 7:00 h, hora local. ** Tarde: TST: sin registro; Ta: 15:30 h, hora local.

Fuente: elaborado por Bustos, Ferrelli y Piccolo.

El test de Kruskal-Wallis permitió establecer una diferencia significativa entre las distintas áreas ($p \ll 0,01$). Teniendo en cuenta que la densidad de población es similar en toda la localidad y, como se mencionó anteriormente, no existen zonas de actividad industrial, se consideró que esta diferencia en la temperatura fue producto de la variación en la cobertura vegetal.

Durante la tarde, se observaron efectos de la influencia marítima. La Ta media fue mayor en la zona de AA (10,9 °C) seguida por el área SA (10,6 °C). Las zonas más frías fueron el área MA y AC con 9,8 y 9,6 °C, respectivamente (Tabla II). El test Kruskal-Wallis permitió establecer que el área MA presentó respuestas térmicas similares al AC y diferente al AA y el SA. Esto demostró que en horas de la tarde la influencia de la cercanía al mar fue más fuerte en áreas donde la cobertura de vegetación fue entre 40 y 80 % y cercana a la costa. Se generó un descenso de la Ta debido a la protección de los árboles de la radiación (Tabla III). Sarricolea y Romero Aravena (2006) y Oltra-Carrió *et al.* (2010) demostraron que la vegetación es un factor importante para mitigar la intensidad de la temperatura. Además, las áreas verdes reducen las temperaturas, ya que disminuyen la emisión de onda larga (Dimoudi y Nikolopoulou, 2003).

Tarde	MA	AA	AC	SA
MA		$\ll 0,01$	1,0	$\ll 0,01$
AA	$\ll 0,01$		$\ll 0,01$	1,0
AC	1,0	$\ll 0,01$		$\ll 0,01$
SA	$\ll 0,01$	1,0	$\ll 0,01$	

Tabla III. Test Kruskal-Wallis ($\alpha: 0.05$) aplicado a las mediciones *in situ* en horas de la tarde (máxima temperatura) en los diferentes tipos de cobertura vegetal en la localidad de Pehuen Co. Fuente: elaborado por Bustos, Ferrelli y Piccolo.

Las variaciones de la Ta fueron similares a la TST de acuerdo con la vegetación presente. La TST fue más alta en las zonas con escasa cobertura vegetal (< al 40 %) dada su exposición a la radiación solar, mientras que fue menor en donde se registró presencia más abundante de vegetación (> al 80 %) debido a su capacidad de controlar la TST y a las sombras producidas por los árboles (Tabla II). Por ello, se considera que en Pehuen Co la vegetación tiene una doble función. Por un lado, es una ventaja competitiva en el desarrollo del turismo en invierno debido a que los visitantes buscan ese elemento “natural” que provee la vegetación (Bustos, 2012) y, por otro, es una herramienta importante para mitigar los efectos del frío. En Pehuen Co la vegetación arbórea cumple un rol importante en el caso, por ejemplo, de una ola de frío.

Por ello, una cobertura vegetal de más del 80 % por manzana fue considerada como la situación ideal para mitigar las Ta más bajas que se producen en horas de

la mañana. Para horas de la tarde, cuando la T_a es más confortable y no presenta riesgo para personas al aire libre, la cobertura vegetal más densa (entre 40 y 80 % y $>$ al 80 %) y la cercanía al mar reducen los valores pero sin llegar a generar desconfort (Bustos y Piccolo, 2011). Esta mejora del confort térmico constituye una ventaja competitiva al momento de diversificar el turismo de sol y playa con el fin de extenderlo durante los meses de otoño e invierno. En estos meses es donde la actividad turística disminuye drásticamente, por ejemplo en ocasiones de festivales al aire libre. Estos eventos podrían comenzar desde las primeras horas del día y extenderse por varias horas o incluso varios días. Los espacios verdes representan la cobertura urbana más relevante debido a su efecto de estabilización de la temperatura y de reducción de la contaminación del aire (Goetz *et al.*, 2000). Por lo tanto, se sugiere que un aumento de las zonas verdes en las urbanizaciones costeras sería una buena estrategia para lograr un ambiente más confortable para las actividades invernales en el exterior. Una cobertura vegetal intermedia (entre 40 y 80 %) es recomendable para zonas periféricas en urbanizaciones costeras, es decir, en aquellos espacios en donde la afluencia turística es menor, ya que si bien la T_a no difiere demasiado con las áreas de cobertura vegetal $>$ al 80 %, la TST disminuyó hasta más de 1 °C (Tabla II) lo cual puede generar, en días muy fríos, zonas desconfortables.

Ante las evidencias arrojadas por los valores de TST y T_a , no se recomienda para urbanizaciones costeras como Pehuen Co áreas con cobertura vegetal $<$ al 40 % por manzana. En horas de la mañana la T_a fue la más baja y sin la cobertura vegetal que regule esta variable en los días muy fríos o con heladas una persona al aire libre podría ser expuesta a situaciones de desconfort con riesgo para su salud (Bustos y Piccolo, 2011). Además se sugiere forestar con especies no caducifolias para evitar la pérdida de hojas durante las estaciones del año más frías.

Existe una importante relación entre las condiciones meteorológicas y climáticas y el turismo, especialmente en el turismo de sol y playa (Cho, 2010; Lin y Matzarakis, 2011; Köberl *et al.*, 2015). Las estrategias de adaptación que se incorporen en las ciudades costeras reducirán la amenaza de los efectos de la variabilidad climática y en el caso de la vegetación, también ayudarán a aumentar el turismo fuera de temporada.

Conclusión

En la localidad de Pehuen Co durante la mañana se registró una T_a superior en el área con cobertura vegetal $>$ al 80 %. Esto indicó que la cobertura vegetal densa aumenta la intensidad de la T_a en las horas de menor temperatura invernal reteniendo la radiación de onda larga. El área con cobertura vegetal $<$ al 40 % fue más fría. En cambio, la TST tuvo un comportamiento inverso a la T_a por el efecto estabilizador que la vegetación genera en esta variable.

En cuanto a las horas de máxima temperatura, la influencia marítima fue más fuerte que durante el amanecer. Esto produjo que las temperaturas más altas se ubiquen en las áreas SA y AA. En esas horas la radiación de onda corta fue mayor, calentando la superficie terrestre, la cual, al no poseer cobertura vegetal importante ni cercanía al mar, intensificó las altas temperaturas.

La inversión en arbolado urbano por parte de las autoridades locales y los habitantes generaría una mayor calidad bioclimática, situaciones de confort y disminución del uso de artefactos de calefacción, ahorrando energía. Además, ayudaría a la diversificación del turismo en los meses de otoño e invierno, previniendo posibles situaciones desconfortables por frío para las personas que realicen actividades al aire libre y generaría más atractivos visuales naturales. Por ello, luego del análisis de los resultados, se pudo observar que la cobertura vegetal necesaria para generar los beneficios mencionados debe ser superior al 40 %, siendo ideal una cobertura mayor al 80 % por manzana. Estos resultados proporcionan una buena herramienta para los planificadores urbanos y paisajistas al tener que designar áreas verdes dentro de una localidad costera.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al United States Geological Survey (USGS) por la información satelital utilizada. Al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) por los datos meteorológicos, al Centro de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Universidad Nacional del Sur (Argentina) por el financiamiento del presente trabajo.

Referencias

- Acar, R. y Dursun, S. (2010). Vegetative Methods to Prevent Wind Erosion in Central Anatolia Region. *Int. Journal of Sustainable Water & Environmental Systems*, 1 (1), 25-28.
- Adams, M. P. y Smith, P. L. (2014). A systematic approach to model the influence of the type and density of vegetation cover on urban heat using remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 132 (2014), 47-54. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.08.008
- Ballester-Olmos, J. F. (1991). La vegetación y el confort humano en la ciudad. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 708, 642-647.
- Bonan, G. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320 (2008), 1444-1449. doi: 10.1126/science.1155121

- Bustos, M.L. (2012). *Estudio integrado ambiental del balneario Pehuén Co.* (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Bustos, M. L. y Piccolo, M. C. (2011). Desconfort térmico en verano e invierno para la localidad de Pehuén Co, Argentina. *Nimbus*, 27-28, 63-76.
- Capelli de Steffens, A. M., Piccolo, M. C. y Campo de Ferreras, A. M. (2005). *Clima urbano de Bahía Blanca*. Buenos Aires: Dunken.
- Carmona, F., Rivas, R., Thomas, L. y Marino, B. (2011). Caracterización espectral del estuario del río Quequén Grande por medio de imágenes Landsat. En Rivas, R., Carmona, F. y Ocampo, D. (Eds.), *Teledetección. Recientes aplicaciones en la región pampena* (pp. 11-29) Mar del Plata: Editorial Martín.
- Cho, V. (2010). A study of the non-economic determinants in tourism demand. *International Journal of Tourism Research*, 12 (4), 307–320. Doi: 10.1002/jtr.749
- Crutzen, P. J. (2004). New directions: The growing urban heat and pollution island effect—Impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 38 (21), 3539–3540.
- De La Maza, C. y Cerda, C. (Octubre, 2009). Valoración de impactos socio-ambientales del arbolado urbano: una aplicación a la ciudad de Santiago, Chile. En *XIII Congreso Forestal Mundial*. Buenos Aires.
- Deosthali, V. (1999). Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bio-climatic index. *Atmospheric Environment*, 33 (24-25), 4125–4133.
- Dimoudi, A. y Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings*, 35 (1), 69-76.
- García, M. y Piccolo, M. C. (2008). Isla de calor invernal en Mar del Plata. En *Actas de las VII Jornadas Nacionales de Geografía Física*. San Salvador de Jujuy.
- Goetz, S. J., Prince, S. D. y Small, J. (2000). Advances in satellite remote sensing of environmental variables for epidemiological applications. *Advances in Parasitology*, 47 (2000), 289-307. doi:10.1016/S0065-308X(00)47012-0
- Goward, S. N., Xue, Y. y Czajkowsky, K. P. (2002). Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: An exploration with the simplified simple biosphere model. *Remote Sensing of Environment*, 79 (2-3), 225– 242. doi:10.1016/S0034-4257(01)00275-9
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R. y Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built environment*, 33 (1), 115-133.

- Gómez Martín, M. B. (2005). Weather, climate and tourism, A Geographical Perspective. *Annals of Tourism Research*, 32 (3), 571–591.
- Kaufmann, R. K., Seto, K. C., Shneider, A., Liu, Z. y Zhpu, L. (2007). Climates response to rapid urban growth: evidence of human-induced precipitation deficit. *Journal of Climate*, 20 (10), 2299-2306. doi: 10.1175/JCLI4109.1
- Koberl, J., Pretenthaler, F. y Bird, D. N. (2015). Modelling climate change impacts on tourism demand: A comparative study from Sardinia (Italy) and Cap Bon (Tunisia). *Science of the Total Environment* (en prensa).
- Kuttler, W. y Strassburger, A. (1999). Air quality measurements in urban green areas - a case study. *Atmospheric Environment*, 33 (24-25), 4101-4108. doi:10.1016/S1352-2310(99)00151-X
- Lehmann, S. (2014). Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. *City, Culture and Society*, 5 (1), 1–8. doi:10.1016/j.ccs.2014.02.002
- Lin, T.-P. y Matzarakis, A. (2011). Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China. *Tourism Management*, 32 (3), 492-500.
- Marini, M. F. y Piccolo, M. C. (2000). El confort estival en diversos estuarios del Sudoeste Bonaerense. En *Actas de las III Jornadas Nacionales de Geografía Física* (pp. 169-176). Universidad Católica de Santa Fe,
- Mc Pherson, E. G. y Rowntree, R. A. (1993). Energy conservation potential of urban tree planting. *Journal of Arboriculture*, 19 (6), 321-331.
- Mendonça, M. y Lombardo, M. A. (2009). El clima urbano de ciudades subtropicales costeras atlánticas: el caso de la conurbación de Florianópolis. *Revista de Geografía Norte Grande*, 44, 129-141.
- Mirela Robitu, A., Marjorie Musy, B., Chirsitan Inard, B. y Dominique, Groleau, A. (2006). Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. *Solar Energy*, 80 (12), 435–447.
- Oke, T. R. (1978). *Boundary layer climates*. London: Methuen.
- Oke, T. R. y Hannel, F.G. (1970). The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *Urban Climates*, Tech Note Nro. 108, 113-126.
- Oliveira, S., Andrade, H. y Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46 (2011), 2186-2194. doi:10.1016/j.buildenv.2011.04.034

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.

Piccolo, M. C. y Diez, P. G. (2008). Cold and heat impact on human comfort in the Bahía Blanca estuary harbours (Argentina). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 34, 119-131.

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 (1), 19-33.

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 (1-2), 68-76. doi:10.1016/j.rse.2004.06.021

Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103 (2014), 682–703. doi:10.1016/j.solener.2012.07.003

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*, pp. 1-4.

Schoeder, 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 (1), 16-26. doi:10.1016/j.rse.2006.03.008

Song, C., Woodcock, C. E., 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 (2), 230-244. doi:10.1016/S0034-4257(00)00169-3

USGS: United States Geological Survey. 2012. Accessed 15 October 2014 <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 (3), 167-184. doi:10.1016/0034-4257(96)00039-9

Weng, Q., Lu, D. y Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of environment*, 89 (2004), 467-483. doi:10.1016/j.rse.2003.11.005

Wong, N. y Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat international*, 29 (3), 547-558.

Fecha de recepción: 7 de agosto de 2015

Fecha de aprobación: 6 de octubre de 2015

© 2016 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR