

ESPACIOS VERDES Y TEMPERATURA URBANA EN ECOSISTEMAS ÁRIDOS

Alejandra Kurbán¹, Alberto Papparelli², Mario Cúnsulo³, Eduardo Montilla⁴, Eliana Ríos⁵
Área Arquitectura Ambiental – INEAA (Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental)
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
Santa Fe 198 Oeste 1° Piso, J5400ZAA San Juan. Email: argamb@unsj.edu.ar. Tel (0264) 4202664

RESUMEN: Se presentan resultados parciales de un proyecto de investigación bianual (CICITCA-UNSJ 2006/2007) cuyo objetivo final es cuantificar el alcance y la intensidad del efecto higratérmico de los Espacios Verdes (EV) en el clima urbano de zona árida. Se estudiaron áreas muestra de diversos tamaños, dentro de la trama del Gran San Juan. Se ejecutaron mediciones climáticas que permitieron obtener isotermas de cada espacio verde y relacionar los índices arbóreos con los valores climáticos. Las Conclusiones Preliminares demostraron: a) todos los EV ejercen un efecto térmico en sus entornos urbanos, cuyo *alcance* es siempre mayor a sotavento que a barlovento, independientemente del tamaño y morfología de los mismos, y de los índices urbanísticos que posean dichos entornos; b) para que un EV produzca un efecto térmico de *intensidad* y *alcance* significativos, debe tener una superficie total mayor a 8.000m² y c) para un EV tipo de una manzana en una trama urbana en damero, la *intensidad* del efecto térmico será de -1,3°C y la longitud del *alcance* de ≈ 300 m a partir de su baricentro. Los resultados definitivos, una vez concluido el proyecto, se pretenden aplicar al diseño de una herramienta de planificación urbana bioclimática para ser aplicada en nuevas urbanizaciones y en el mejoramiento de áreas urbanas consolidadas de similares características climáticas ubicadas a lo largo de la Franja Árida de América del Sur.

Palabras Clave: forestación urbana, espacios verdes, temperatura urbana.

INTRODUCCIÓN

Toda estrategia que propenda a la disminución del consumo energético de recursos fósiles, en este caso para acondicionamiento edilicio, es de importancia prioritaria en la contribución a la sustentabilidad ambiental, más aún si dicha estrategia procura el confort higratérmico de la población, específicamente aquella con menores recursos económicos.

El Gran San Juan, conformado por el distrito Capital de la provincia y la zona urbana de los cuatro departamentos aledaños: Capital, Rivadavia, Rawson, Chimbab y Santa Lucía, como todas las ciudades localizadas en la Diagonal Árida de América del Sur, posee una elevada radiación solar en los meses cálidos, la cual incrementa el discomfort higratérmico. Por tanto, se requiere aplicar estrategias bioclimáticas urbanas que colaboren en el enfriamiento de los espacios abiertos públicos; de esa manera los edificios tendrán menor carga térmica y podrán aplicarse decisiones de diseño bioclimático con resultados más eficientes.

El tratamiento de la forestación urbana como recurso bioclimático en el potencial térmico de las ciudades, es una de las más sencillas y eficientes estrategias para colaborar en el mejoramiento de las condiciones bioclimáticas en las ciudades, pues es un elemento físico del sistema urbano que reviste menor dificultad de acción, particularmente en ciudades de densidad media, con factores de ocupación que permiten la intervención en su tejido urbano.

Es justamente en este sentido que el presente proyecto estudia las posibles respuestas bioclimáticas de los espacios verdes urbanos, con el fin de eficientizar el aporte de los mismos al clima urbano y de esta manera disminuir su rigurosidad, mitigando la intensidad de la Isla de Calor Urbana en climas con importantes niveles de radiación solar, contribuyendo en el refrescamiento del aire y de esa manera reduciendo las cargas térmicas de verano, con el ahorro de energía que esto trae asociado.

La Unidad Ejecutora ha realizado estudios tendientes a conocer el rol bioclimático de la forestación, entre ellos: el cálculo de la permeabilidad a la radiación solar con método fotométrico, tomando ejemplares arbóreos aislados de diferentes especies tanto caducifolias como perennifolias (Papparelli, *et al*, 1996); el análisis cuantitativo y cualitativo de la forestación del Gran San Juan (Ripoll, *et al*, 2001); la cobertura arbórea efectiva y cobertura arbórea óptima sobre calzadas y veredas (Papparelli, *et al*, 2002); la obtención del Indicador Bioclimático Arbóreo por medio de métodos solarimétricos y fotogramétricos a fin de identificar las especies arbóreas bioclimáticamente más eficientes para ser implantadas en espacios públicos y privados, en una zona árida, (Kurbán, *et al*, 2006 y 2007).

¹ Profesor Titular UNSJ; Profesional Principal CONICET

² Profesor Titular UNSJ; Profesional Principal CONICET; Director Organizador INEAA

³ Profesor NM –UNSJ; Profesional Principal CONICET

⁴ Profesor JTP UNSJ

⁵ Becaria CONICET

En el presente trabajo se estudian ya no los ejemplares aislados y su comportamiento bioclimático según la especie, sino formando parte de masas arbóreas implantadas en espacios verdes del Gran San Juan. El propósito es verificar y cuantificar la influencia de la forestación en la modificación de la temperatura de bulbo seco, en los entornos inmediato y mediato de cada uno de los espacios verdes seleccionados a tal fin.

Necesariamente y a escala urbana, es el Estado el que debe normar en la planificación bioclimática por medio de regulaciones que garanticen para toda la población las más eficientes condiciones térmicas características del clima árido, durante los meses cálidos. Por ello, en instancias posteriores se definirán las condiciones urbanísticas que en el trazado de la ciudad deben poseer los espacios verdes, tanto como su superficie y densidad volumétrica arbórea, a fin de transferir los resultados a los poderes de gestión responsables de la planificación urbana.

SELECCIÓN DE ESPACIOS VERDES

Para seleccionar los Espacios Verdes (EV) a estudiar, se procedió a analizar las siguientes variables: Morfología, Superficie, Orientación respecto al centro urbano, Orientación respecto a la trama urbana, Características de Densidad de Forestación y Factores de Ocupación del Suelo en sus entornos inmediatos. Los espacios verdes estudiados se localizaron en la Banda Eminentemente Urbana y la Banda Urbana del Gran San Juan; sus respectivos índices urbanísticos de: Factor de Ocupación del Suelo (FOS) y Densidad Volumétrica (DV) edilicia se obtuvieron superponiendo en planos a igual escala del Gran San Juan el de Isolíneas representativas de FOS y DV (Papparelli, *et al* 2007). Estos datos sumados a los relevamientos catastrales, in situ y bibliográficos, se presentan en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1: Datos urbanísticos, dimensionales y arbóreos de cada Espacio Verde analizado.

Espacio Verde	Geom.	FOS del entorno (%)	Densidad Volumétrica Edilicia del entorno (m ³ /Ha)	Sup. Total del E.V. (m ²)	Superficie Impronta Arbórea del E.V. (m ²)	Superficie Impronta Arbórea del E.V. (%)	Canopia Arbórea del E.V. (m)	Volumetría Arbórea del E.V. (m ³)	Densidad Volumétrica Arbórea (m ³ /Ha)
Plaza Gertrudis Funes		60	35.500	14.355	8.576	60	14	120.067	83.641
Parque de Mayo		45	19.000	126.244	63.464	50	15	951.961	75.433
Plaza Almirante Brown		45	15.000	18.513	15.151	82	15	227.278	122.765
Plaza Martín Fierro		45	17.500	15.726	8.262	53	8	66.102	42.032
Plaza Santa Lucía		20	5.500	14.126	8.049	57	13	104.641	74.076
PROMEDIO	----	43	18.500	37.793	20.700	60	13	294.010	79.589

* **Árbol Tipo:** diámetro 8m; altura 13m.

ROSA DE VIENTOS PARA EL GRAN SAN JUAN

Debido a la relación del efecto térmico de cada EV con la dirección y velocidad de los vientos por la “*pluma urbana*” (Honjo y Takakura, 1991), se elaboró una estadística decádica urbana del período 1996-2005, procesando datos obtenidos en la estación meteorológica EM-I localizada en la Banda Eminentemente Urbana (Papparelli, *et al* 1996-2005). La EM-I es un sistema de adquisición de datos y registro histórico digital, con interfase de comunicación RS232c, que permite el acceso de los datos almacenados en el sistema desde una PC, mediante el software CROSSTALK. Se encuentra localizada a una altura de 12,0m sobre el nivel del terreno natural, sin obstrucción edilicia cercana, lugar que garantiza una buena exposición y captación de las condiciones atmosféricas del área urbana. Se ejecutaron Rosas de los Vientos de Frecuencia y Velocidad, según el siguiente detalle:

- Estadística anual general: 1 Rosa de Frecuencia y 1 Rosa de Velocidad para cada uno de los años, desde 1996 a 2005
- Estadística decádica general: 1 Rosa de Frecuencia y 1 Rosa de Velocidad del período 1996-2005
- Estadística estacional anual: 1 Rosa de Frecuencia y 1 Rosa de Velocidad para Verano e Invierno, desde 1996 a 2005
- Estadística estacional decádica: 1 Rosa de Frecuencia y 1 Rosa de Velocidad de Verano e Invierno, período 1996-2005

Las Rosas de Frecuencia y Velocidad para el Gran San Juan para la década 1996-2005, se muestran en la **Figura 1**.

MEDICIONES CLIMÁTICAS

Programa de Mediciones: las Rosas de los Vientos urbanas permitieron definir el viento prevalente y de acuerdo a éste, el área de mediciones para cada EV, asignando la mayor superficie a sotavento del viento prevalente, de dirección SE. Los puntos de medición se adoptaron en el cruce de calles y aproximadamente cada 100m. El número de puntos de medición por EV y su entorno respectivo está en relación directa con la superficie total del EV y son los siguientes: Parque de Mayo, 119 ptos.; Plaza Gertrudis Funes, 40 ptos.; Plaza Martín Fierro, 38 ptos.; Plaza Santa Lucía, 24 ptos.; Plaza Almirante Brown, 33 ptos. Todos los puntos de registro se georeferenciaron al centro geométrico del EV correspondiente.

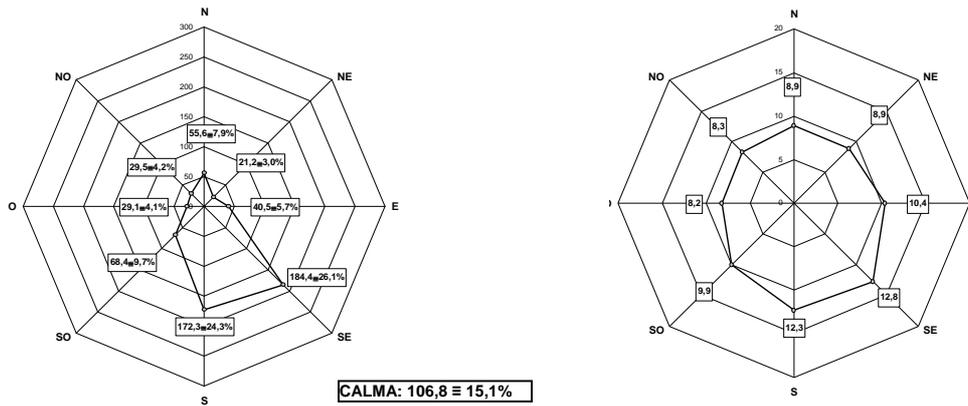


Figura 1: Rosas de los Vientos de Frecuencia y Velocidad del Gran San Juan – Estadística 1996-2005

Mediciones itinerantes: Se ejecutaron al mediodía solar durante el invierno de 2006 y verano 2007. Se utilizaron dos termohigrómetros digitales portátiles: T°C y HR% (Marca VAISALA) con tiempo de respuesta 5 segundos. Los sensores de ambos medidores portátiles fueron instalados en vehículos, a una altura de 2,00m. A fin de hacer compatibles las mediciones con los dos registradores portátiles, ambos equipos se calibraron con un psicrómetro alojado en un abrigo meteorológico. Debido a que se realizaron recorridos simultáneos con dos vehículos, se sincronizaron las horas de los registros.

Referenciación horaria: Debido al desfase horario existente entre las tomas en cada punto de medición climática itinerante y a fin de hacer comparables los datos registrados, se ejecutaron referenciaciones horarias con el mediodía solar verdadero, simulando tomas simultáneas para ese horario. Estas correcciones se ejecutaron con los registros climáticos minuto a minuto obtenidos en la estación meteorológica de punto fijo EM-II. Para ello, en los mismos días de medición de los EV se programó ésta para realizar registros minuto a minuto.

MODELIZACIÓN ESPACIAL DEL EFECTO TÉRMICO

El efecto térmico de los EV se analiza conforme dos variables, una espacial y otra climática: el alcance y la intensidad. El primero toma en cuenta la distancia hasta la cual se produce el efecto y la superficie que abarca el mismo. La longitud se calcula con origen en el baricentro de cada EV y en las direcciones cardinales principales; la superficie del alcance se calcula como el área que abarca la isolínea de $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$. La intensidad del efecto térmico se refiere a la diferencia de temperatura de bulbo seco existente entre el EV y su entorno. Al respecto se calculan las diferencias máximas en la dirección del viento prevalente (SE-NO) y las diferencias máximas generales.

Isotermas: Los valores definitivos de temperatura se asumieron en el punto de medición correspondiente. El procedimiento fue adjudicar a cada uno de dichos puntos (georeferenciados con un par de coordenadas “x” e “y”), la coordenada espacial “z”, igual al valor de la variable climática. Esto permitió generar un modelo tridimensional aplicando un software (Surfer) que asienta un plano blando sobre los valores “z”, al cual se le realizaron cortes horizontales con equidistancias de 0,5°C o 1,0°C, de acuerdo con el tamaño del área de estudio y a los valores de toma, obteniéndose isolíneas de temperatura. En las Figuras 2, 3, 4, 5 y 6 se muestran las isotermas de verano, superpuestas a los planos de los programas de mediciones.

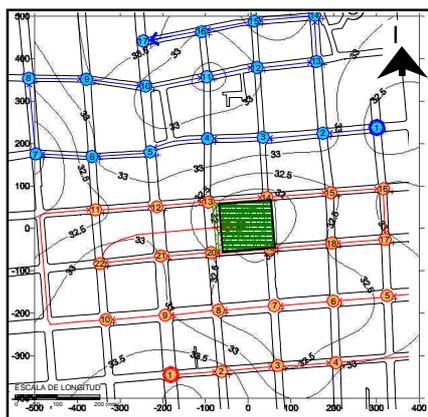


Figura 2: Isotermas Verano Plaza Gertrudis Funes



Figura 3: Isotermas Verano Parque de Mayo

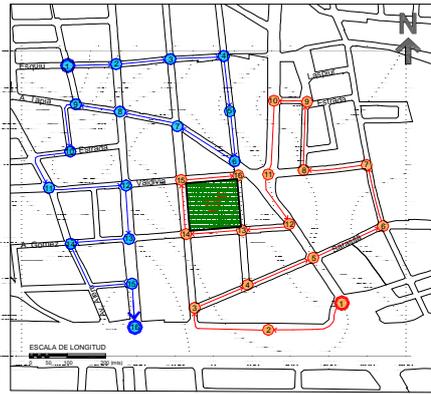


Figura 3: Isotermas Verano Plaza A. Brown



Figura 4: Isotermas Verano Plaza Martín Fierro

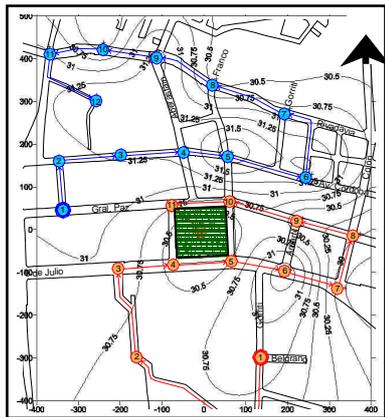


Figura 6: Isotermas Verano Plaza S. Lucía

Perfiles de temperatura: En las cuatro direcciones cardinales principales: N-S; E-O; NE-SO y SE-NO se calcularon las distancias entre isolíneas, datos que se modelaron aplicando la curva de ajuste polinómico que mejor se adaptaba a la nube de puntos. Se construyeron así cuatro perfiles de temperatura para los cinco EV, con origen en el centro geométrico de los mismos, dibujándose la línea de máximos que une el alcance del efecto en ambas direcciones. A modo de ejemplo se presentan los perfiles de temperatura de verano 2007 en la orientación SE-NO (dirección del viento prevalente), correspondientes a la Plaza Gertrudis Funes (*Figura 7*) y a la Plaza Almirante Brown (*Figura 8*).

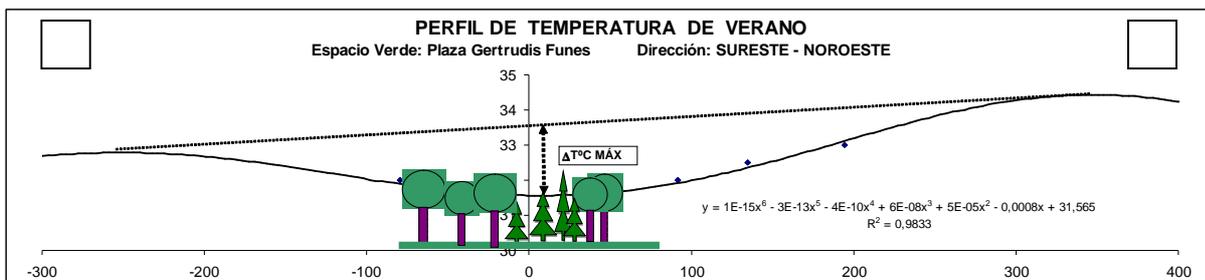


Figura 7: Perfil modelizado de temperatura según la dirección SE-NO para la Plaza Gertrudis Funes

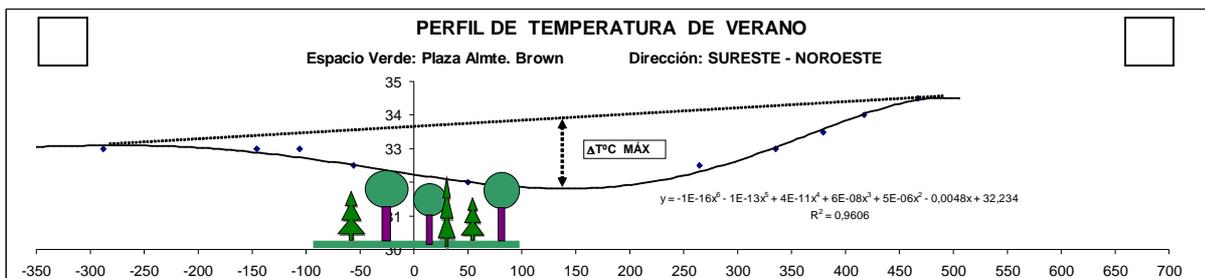


Figura 8: Perfil modelizado de temperatura según la dirección SE-NO para la Plaza Almirante Brown

Isolneas de diferencias de temperatura: Aplicando las ecuaciones de las curvas modelizadas se calcularon los valores de las diferencias de temperatura ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) respecto a la línea de referencia de máximos (línea de trazos en las **Figuras 7 y 8**), con intervalos de 20 metros. Este procedimiento se efectuó para las cuatro direcciones cardinales principales. Estos valores se utilizaron como base de datos para la ejecución de planos de isolneas de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ con intervalos de $0,2^{\circ}\text{C}$, con lo que se determinó para los cinco EV la *superficie de alcance del efecto térmico*. A modo de ejemplo, en las **Figuras 9 y 10** se presentan las isolneas de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ para las Plazas G. Funes y A. Brown.

RESULTADOS

El *alcance* en la dirección del viento prevalente (SE) se identificó como “a barlovento y a sotavento del EV”. Estos valores se calcularon como distancias con origen en el centro geométrico de cada EV, utilizando los perfiles de temperatura (**Figuras 7 y 8**).

Con las isolneas de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ (**Figuras 9 y 10**) para los cinco EV se calcularon las *superficie de alcance del efecto térmico* calculando gráficamente la superficie que abarca la isolnea de $\Delta T^{\circ}\text{C} = 0$. De estos mismos planos se obtiene el valor de la *intensidad máxima del efecto* ($\Delta T^{\circ}\text{C}$ máximo) para cada espacio verde, verificando el valor que le corresponde a la isolnea de mayor valor de $\Delta T^{\circ}\text{C}$. En la **Tabla 2** se presentan los datos mencionados.

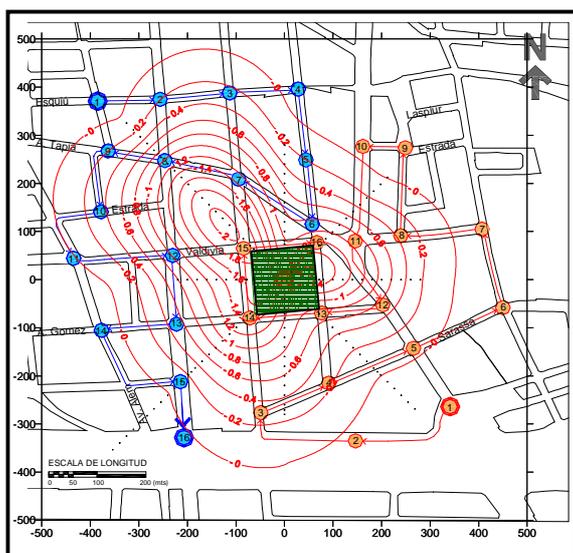


Figura 9: Isolneas de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ - Plaza Almirante Brown

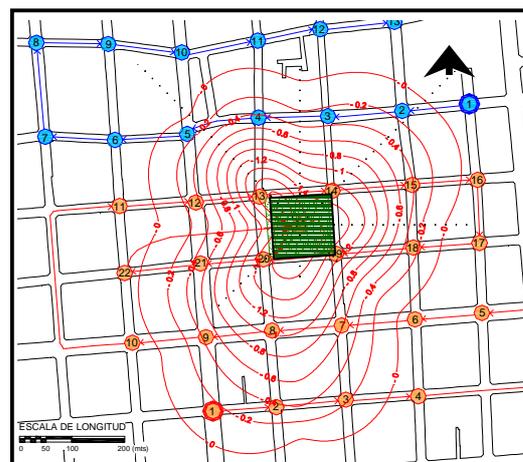


Figura 10: Isolneas de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ - Plaza G. Funes

Tabla N°2: Alcance e intensidad del Efecto Térmico para la dirección del viento prevalente (SE) y como promedio de todas las direcciones cardinales

ESPACIO VERDE	DIRECCIÓN SE-NO				VALOR MÁXIMO DE CADA EV		SUPERFICIE DEL ALCANCE (m ²)
	Diferencia máxima de Temperatura (°C)		Alcance desde el centro del EV (m)		ΔT Máx (°C)	Longitud de Alcance Total (m)	
	Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento			
Plaza G. Funes	1,38	1,86	260	360	1,8	278	355.407
Parque de Mayo	1,39	1,34	520	540	3,4	529	1.146.733
Plaza A. Brown	0,71	1,89	280	500	2,0	318	459.511
Plaza M. Fierro	0,62	0,82	240	380	1,0	231	255.452
Plaza Santa Lucía	0,67	0,52	240	220	0,8	144	158.566

La correlación entre la superficie de impronta arbórea del EV y la *intensidad* del efecto térmico se presenta en la **Figura 11**; en la **Figura 12** se muestra la correlación entre la superficie de impronta arbórea del EV y la superficie del *alcance* del efecto térmico. La correlación entre el volumen arbóreo del EV y la *intensidad* del efecto térmico se muestra en la **Figura 13**; en la **Figura 14** se presenta la correlación entre el volumen arbóreo del EV y la superficie del *alcance* del efecto térmico.

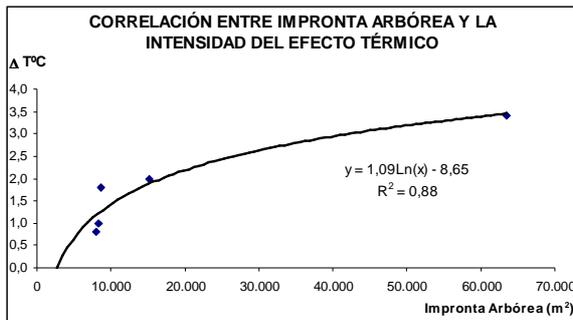


Figura 11: Correlación entre la sup. de impronta arbórea del EV y la intensidad del efecto térmico

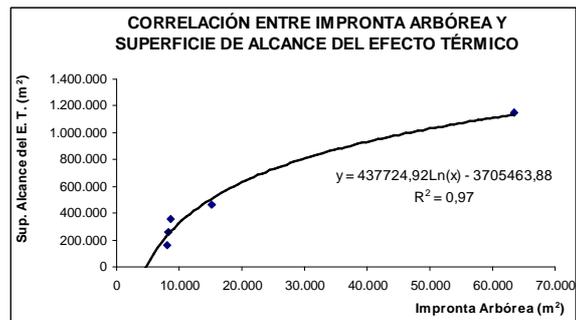


Figura 12: Correlación entre la superficie de impronta arbórea del EV y la superficie de alcance del efecto térmico

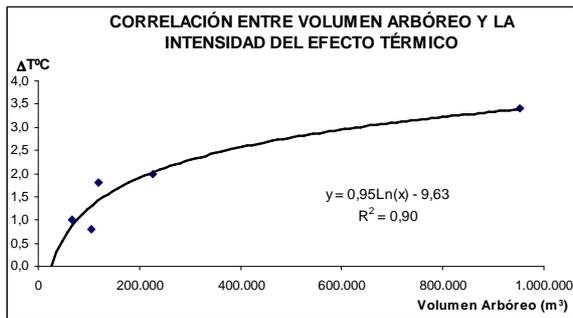


Figura 13: Correlación entre el volumen arbóreo del EV y la intensidad de efecto térmico

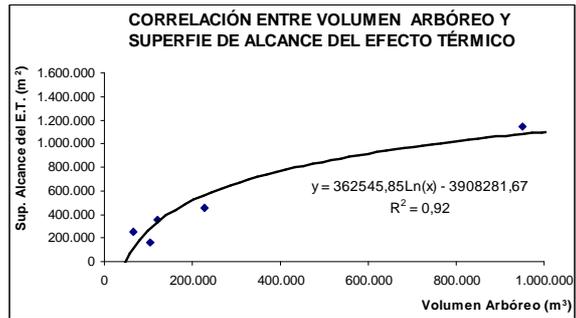


Figura 14: Correlación entre el volumen arbóreo del EV y la superficie de alcance del efecto térmico

CONCLUSIONES

Todos los Espacios Verdes, ejercen un efecto térmico en sus entornos urbanos, cuyo *alcance* es siempre mayor a sotavento que a barlovento, independientemente del tamaño y morfología de los mismos, y de los índices urbanísticos que posean dichos entornos.

Las modelizaciones muestran que la correlación entre los indicadores forestales y el efecto térmico no es lineal. En EV con hasta aproximadamente 40.000m² de impronta arbórea y 600.000m³ de volumen arbóreo, a un aumento de ambas variables le corresponde un marcado crecimiento del *alcance* y la *intensidad* del efecto térmico. A partir de este valor el EV pierde eficiencia bioclimática, transformándose dicha correlación en asintótica. El radio (medido desde el baricentro del EV) de la superficie del *alcance* a partir del cual se produce esta situación es de $\cong 500$ m y su *intensidad* de $-2,95^{\circ}\text{C}$.

Relación de la impronta arbórea con la *intensidad* y el *alcance* del efecto térmico

Existe una estrecha relación entre la superficie de impronta arbórea de cada EV y la *intensidad* y el *alcance* del efecto térmico en su entorno urbano. La impronta arbórea (Figura 11), genera una diferencia de temperatura del EV respecto de su entorno, recién a partir de un valor de $\cong 2.800$ m². No obstante, el alcance de dicho efecto se manifiesta con improntas arbóreas mayores a 5.000m² (Figura 12), lo que indica que a valores menores el efecto bioclimático se limita al ámbito del propio EV.

Relación del volumen arbóreo con el *alcance* y la *intensidad* del efecto térmico

La influencia del volumen arbóreo en la *intensidad* del efecto térmico (Figura 13) comienza a partir aproximadamente de los 26.500m³, no obstante, el alcance de dicho efecto se manifiesta con volúmenes arbóreos mayores a 48.000m³ (Figura 14). Con valores menores el efecto térmico se limita al ámbito del propio EV.

De lo anterior se desprende que para que un EV produzca un efecto térmico de *intensidad* y *alcance* significativos desde el punto de vista bioclimático, debe tener una superficie total mayor a 8.000m² ya que, los ejemplos analizados tienen en promedio un porcentaje de impronta arbórea del 60% (Tabla 1). Para un EV tipo de una manzana en una trama urbana en damero, la *intensidad* del efecto térmico será de $-1,3^{\circ}\text{C}$ y la longitud del *alcance* de $\cong 300$ m a partir de su baricentro.

REFERENCIAS

- Honjo, T. and Takakura, T. (1990/1991) Simulation of Thermal Effects of Urban Green Areas on their Surrounding Areas. *Proceedings of the Fourth International Conference on "Urban Climate, Planning and Building" Kyoto, Japan*. Energy and Buildings Vol 15, N 3-4.
- Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, C., Herrera, M., Montilla, E., (2006) Efecto Bioclimático de la Forestación en Áreas Urbanas de Clima Árido. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 10 pp. 11.145 – 11.151
- Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, Montilla, E., (2007) Shading Capacity of the Urban Forest in Arid Ecosystems. *Architectural Science Reviewe*. Vol. 50 N° 2 pp. 122 – 129

- Papparelli A., Kurbán, A. et al (1996) Eficiencia bioclimática arbórea en entornos urbanos de zona árida. *Actas de la XIX Reunión de Trabajo "ASADES'96"*. Tomo II. pp. 9.05-9.09
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M. Colaboradores: E. Montilla, C. Herrera. (2002) Aporte de la Forestación al Control del Clima Urbano en Zona Árida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 6 pp. 05.43 - 05.48
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., E. Montilla, E. Ríos (2007) Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan. *Estadística 2005*. Ed. NOBUKO. Bs. As.
- Papparelli, Kurbán, Cúnsulo, Herrera, Montilla, (1996-2005) *Estadística Climática de la Ciudad de San Juan PROPAC – Programa de Actualización Climático-Urbanística*. FAUD-UNSJ.
- Ripoll V., Kurbán A. (2001) Estudio Bioclimático de la Forestación Urbana en la ciudad de San Juan. Informe Final Beca de Investigación CICITCA-UNSJ.

ABSTRACT:

Partial results of a two-year research project (CICITCA-UNSJ 2006/2007) whose final objective is to quantify the coverage and the intensity of the hygrothermal effect of the green spaces (urban squares and parks) in the urban climate of an arid zone are presented. Samples with different sizes within the urban frame of the city of San Juan (Argentina) were studied.

Climatic measurements were carried out to obtain isotherms for each green space and to relate the arboreal index with the climatic values.

The preliminary Conclusions demonstrated: a) All the green spaces have a thermal effect on their urban environment, whose *reach* is always greater to the leeward with respect to the windward, independently of the size and morphology of the same ones, and of the urban index of their surroundings; b) a green space will produce a significant thermal effect both in *reach* and *intensity*, when having a total surface greater than 8.000m², and c) for green space of a square (100m x 100m) in a chess urban plot, the intensity of the thermal effect will be of -1,3°C and the longitude of the reach of 300m starting from its urban centre.

The definitive results, once the project is concluded, are intended to be applied in the design of a urban bioclimatic planning tool to be applied in new urbanizations and in the improvement of the consolidated urban areas of similar climatic conditions placed along the arid band of South America.

Keywords: urban forestation, green spaces, urban climate.