

ESPACIOS VERDES Y VARIACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA EN ENTORNOS URBANOS 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 1º Piso, J5400ZAA San Juan. Email: arqamb@unsj.edu.ar. Tel (0264) 4202664

RESUMEN: El presente trabajo expone resultados parciales de un proyecto de investigación bianual (CICITCA-UNSJ) cuyo objetivo final es cuantificar el alcance y la intensidad del efecto higrótérmico de los espacios verdes en entornos urbanos de zona árida. En una muestra conformada por cuatro plazas y el parque urbano, se realizaron mediciones climáticas itinerantes, efectuándose luego cortes urbanos direccionales de cada espacio verde y su entorno. Se ejecutaron correlaciones entre la superficie de impronta y el volumen arbóreo de los EV con la longitud del *alcance* de la variación de la humedad relativa por dirección cardinal principal, la superficie de cobertura de dicho *alcance* y la *intensidad* de variación de la humedad relativa en dicho entorno. Las Conclusiones Preliminares demostraron que todos los EV ejercen un efecto modificador de la humedad relativa 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. Además se concluye que una mínima superficie forestada producirá un aumento de humedad relativa pero su *alcance* se limitará al ámbito del propio EV; sólo incrementando dicha superficie a valores mayores a 2.500 m² el *alcance* del efecto abarcará el área urbana circundante.

Palabras Clave: forestación urbana, espacios verdes, humedad relativa urbana.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la forestación urbana para atenuar las condiciones de rigurosidad del clima urbano en los espacios abiertos públicos de zonas áridas, comporta una estrategia que colabora en la disminución de la carga térmica edilicia. De esa manera cada edificación estará sometida a menores presiones climáticas y por tanto de más accesible control.

Al mismo tiempo, las áreas verdes y su arbolado constituyen uno de los componentes del espacio urbano de más sencilla intervención en áreas urbanas existentes, particularmente con índices urbanísticos que las caractericen como de baja o media densidad.

La Unidad Ejecutora ha realizado estudios tendientes a conocer el rol bioclimático de la forestación: 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); análisis cuantitativo y cualitativo de la forestación del Gran San Juan (Ripoll, *et al*, 2001); cobertura arbórea efectiva y cobertura arbórea óptima sobre calzadas y veredas (Papparelli, *et al*, 2002); 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).

Al respecto, 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, la rehidratación de la atmósfera en ciudades de climas áridos, el refrescamiento del aire y las consecuentes reducciones de cargas térmicas de verano y los ahorros de energía asociados, la absorción de gases de invernadero, principalmente CO₂ y la liberación de oxígeno, el filtrado de partículas en suspensión y la absorción de ruido por el follaje de los árboles.

El trabajo estudia el efecto de las masas arbóreas implantadas en espacios verdes del Gran San Juan, localizado en la Franja Árida de Sudamérica, en el centro oeste de la Argentina. Este conurbano está conformado por el distrito Capital de la provincia de San Juan y la zona urbana de los cuatro departamentos aledaños: Capital, Rivadavia, Rawson, Chimbass y Santa Lucía. El propósito es verificar y cuantificar la influencia de sus espacios verdes urbanos en la modificación de la humedad relativa, en sus entornos inmediato y mediato.

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

SELECCIÓN DE ESPACIOS VERDES

Para seleccionar los Espacios Verdes a estudiar, se procedió a analizar las siguientes variables: Morfología, Superficie, Predominancia de ejemplares caducifolios de la misma especie y Ubicación en las Bandas Eminentemente Urbana y/o Urbana (Papparelli, A. *et al*, 2007). Los espacios verdes seleccionados fueron: Parque de Mayo, Plaza Gertrudis Funes, Plaza Martín Fierro, Plaza Santa Lucía, Plaza Almirante Brown. Los índices arbóreos o forestales de cada uno de ellos se definieron según criterios urbanísticos y fueron los siguientes: Superficie de impronta de las copas arbóreas, Porcentaje de dicha ocupación respecto al EV total; Canopia arbórea (o altura promedio de los árboles del EV), Volumetría Arbórea (calculada con la impronta y la canopia respectiva) y Densidad Volumétrica Arbórea (calculada como volumen de las copas respecto a la superficie del EV). Los relevamientos catastrales, in situ y bibliográficos, y los cálculos respectivos arrojaron los datos que constan en la **Tabla 1**:

Tabla 1: Datos urbanísticos, dimensionales y arbóreos de cada EV analizado y su respectivo entorno urbano

Espacio Verde	Geom.	FOS del entorno (%)	Densidad Volumétrica Edilicia del entorno (m ³ /Ha)	Sup. Total del EV (m ²)	Superficie Impronta Arbórea del EV (m ²)	Superficie Impronta Arbórea del EV (%)	Canopia Arbórea del EV (m)	Volumetría Arbórea del EV (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 Almte. 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 de la variación de la humedad relativa de cada EV con la dirección y velocidad de los vientos (Honjo y Takakura, 1991) por la "pluma urbana", 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* 1999-2005). 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 en la terraza de un edificio céntrico en un área densamente construida (FOS \cong 70%), distante dos cuadras de la plaza principal de la ciudad de San Juan y a una altura de 12,0m sobre el nivel del terreno natural, sin obstrucción edilicia cercana. Este lugar garantiza una buena exposición y captación de las condiciones atmosféricas del área urbana. Se ejecutaron Rosas de los Vientos de (F) Frecuencia y Velocidad (V), según el siguiente detalle:

- Estadística anual general: 1 Rosa de Frecuencia y 1 Rosa de Velocidad para cada uno de los 10 años
- 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 de cada año
- Estadística estacional decádica: 1 Rosa de Frecuencia y 1 Rosa de Velocidad de Verano e Invierno 1996-2005

Las Rosas de Frecuencia (%) y Velocidad (Km/h) para el Gran San Juan en la década 1996/2005, se muestran en la **Figura 1**.

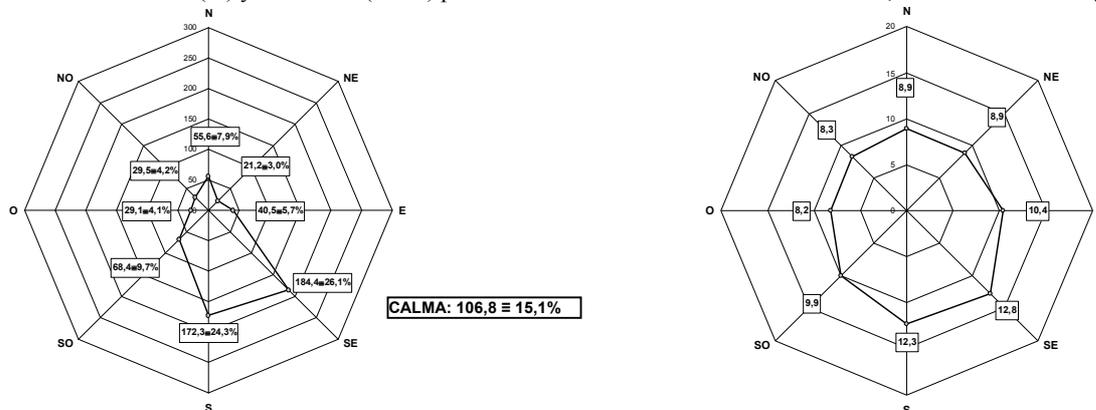


Figura 1: Rosas de los Vientos de Frecuencia y Velocidad del Gran San Juan – Estadística 1996-2005

MEDICIONES CLIMÁTICAS

Programa de Mediciones: las Rosas de los Vientos urbanas permitieron definir la velocidad y dirección del viento predominante y de acuerdo a éste, el área de mediciones para cada EV, asignando la mayor superficie a sotavento de la dirección (SE) de dicho viento. 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, 60 pts.; Plaza Gertrudis Funes, 40 pts.; Plaza Martín Fierro, 38 pts.; Plaza Santa Lucía, 24 pts.; Plaza Almirante Brown, 33 pts. Todos los puntos de registro se georeferenciaron al centro geométrico del EV correspondiente.

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 y en los mismos días de medición de los EV se programó ésta para realizar registros minuto a minuto.

AJUSTE ESPACIAL DEL EFECTO DE VARIACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA

El efecto de variación de la humedad relativa de los EV se analiza conforme dos variables, una espacial y otra climática: el *alcance* y la *intensidad*. El primero toma en cuenta la longitud 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 comprendida por la isolinea de $\Delta HR = 0\%$. La *intensidad del efecto* se refiere a la diferencia de humedad relativa existente entre el EV y su entorno inmediato y mediato. Al respecto se calculan las diferencias máximas en la dirección del viento predominante (SE-NO) y las diferencias máximas.

Isohumas: los valores definitivos de HR% ("z") con las respectivas coordenadas ("x", "y") de cada punto de medición, se incorporaron a una base de datos georeferenciada lo que permitió, generar un modelo tridimensional aplicando un software que asienta un plano blando sobre los valores "z", al cual se le realizaron cortes horizontales con equidistancias adecuadas a los valores de toma, obteniéndose isolíneas de humedad relativa del EV y su área de influencia. En las **Figuras 2, 3, 4, 5 y 6** se muestran las isohumas de verano de los EV, superpuestas al plano de sus respectivos programas de mediciones.

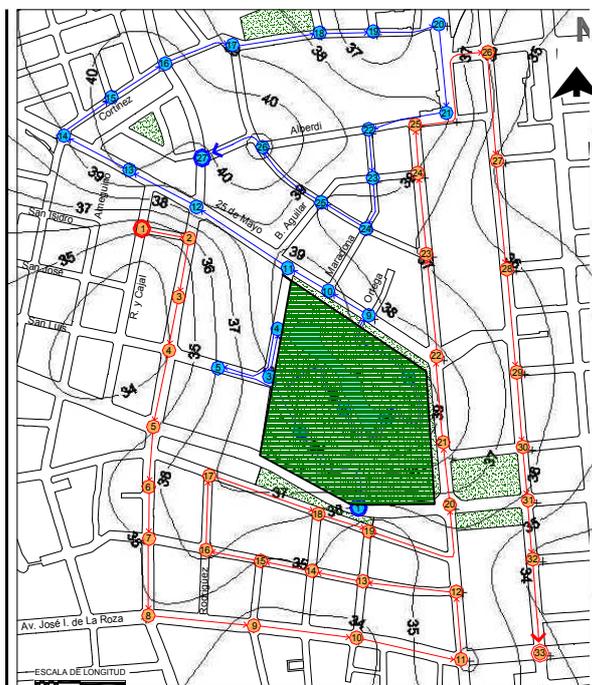


Figura 2: Isohumas Verano Parque de Mayo

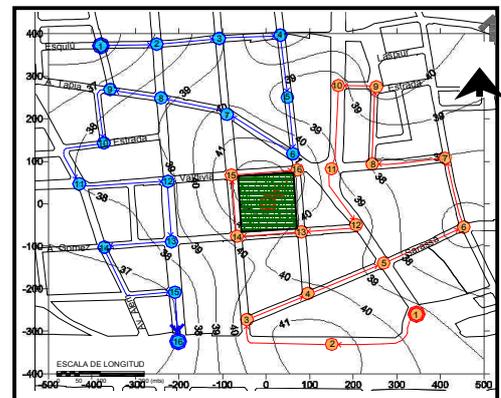


Figura 3: Isohumas Verano Plaza Almirante Brown



Figura 4: Isohumas Verano Plaza Martín Fierro

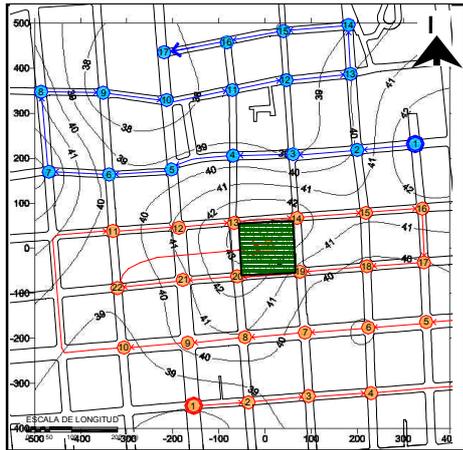


Figura 5: Isohumas de Verano Plaza G. Funes

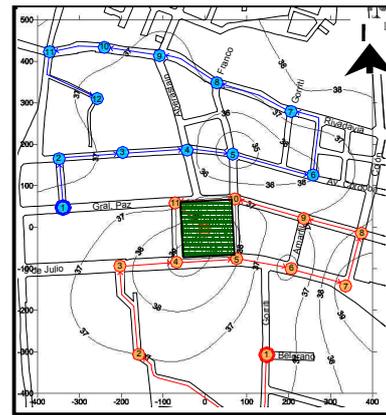


Figura 6: Isohumas de Verano Plaza Santa Lucía

Perfiles de humedad relativa: En las cuatro direcciones cardinales principales: N-S; E-O; NE-SO y SE-NO se calcularon las distancias entre isohumas, datos que se ajustaron aplicando la curva polinómica que mejor se adaptaba a la nube de puntos. Se construyeron así cuatro perfiles de humedad relativa 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 humedad relativa de verano 2007 en la orientación SE-NO (dirección del viento predominante), correspondientes a la Plaza Gertrudis Funes (*Figura 7*) y Plaza Almirante Brown (*Figura 8*).

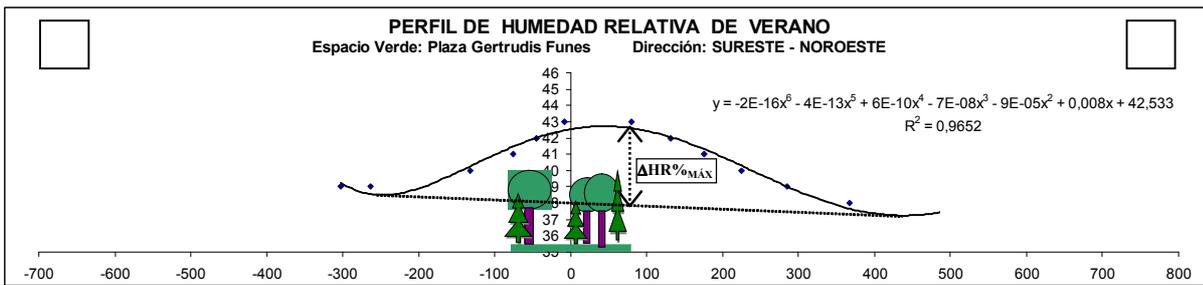


Figura 7: Perfil de ajuste en el eje SE-NO de la humedad en la Plaza Gertrudis Funes

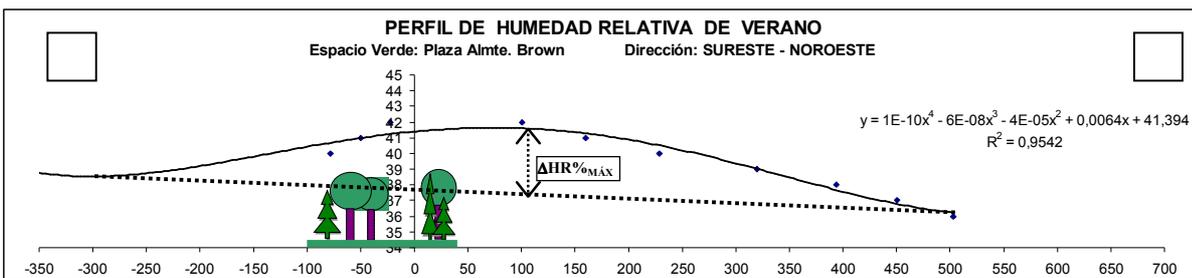


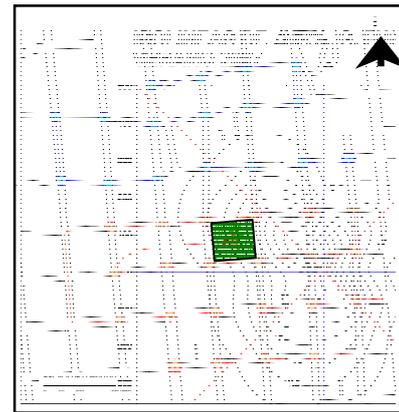
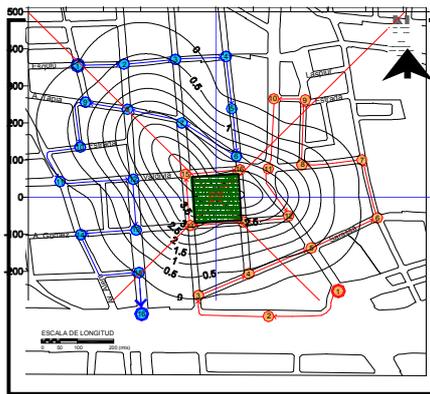
Figura 8: Perfil de ajuste en el eje SE-NO de la humedad en la Plaza Almirante Brown

Isolíneas de Diferencias de humedad relativa: Cada 20 metros se calcularon las diferencias de humedad en base a la línea de referencia de valores máximos, ejecutándose planos de isolíneas de $\Delta HR\%$ con intervalos de 0,2 %, lo que permitió calcular para los cinco EV los alcances del efecto de la variación de la humedad relativa por orientación cardinal. A modo de ejemplo se presentan en las *Figuras 9 y 10* las isolíneas de las plazas A. Brown y G. Funes para la orientación del viento predominante: SE.

RESULTADOS

Con las isolíneas de $\Delta HR\%$ (*Figuras 9 y 10*) para los cinco EV se calcularon las *superficie de alcance* del efecto de variación de la humedad relativa calculando gráficamente la superficie que abarca la isolínea de $\Delta HR\% = 0$. De estos mismos planos se obtiene el valor de la *intensidad máxima del efecto* ($\Delta HR\%$ mínimo) para cada espacio verde, verificando el valor que le corresponde a la isolínea de menor valor de $\Delta HR\%$. En la *Tabla 2* se presentan los datos mencionados.

El *alcance* en la dirección del viento predominante (SE) se identificó como “a barlovento y a sotavento del EV”. Estos valores se calcularon como longitudes con origen en el centro geométrico de cada EV. Además se calculó la superficie total de dicho *alcance*, como área comprendida por la isolínea de $\Delta HR = 0\%$. En la **Tabla 2** constan los datos citados.



Figuras 9 y 10: Isolíneas de $\Delta T^{\circ}C$ Plaza Almirante Brown y Plaza Gertrudis Funes

Tabla N°2: Alcance e intensidad la variación de la humedad relativa para la dirección del viento predominante (SE) y como promedio de todas las direcciones cardinales

ESPACIO VERDE	DIRECCIÓN SE-NO				VALOR MÁXIMO EN CADA EV		SUPERFICIE DEL ALCANCE (m ²)
	Diferencia máxima de Humedad Relativa (%)		Alcance desde el centro del EV (m)		ΔHR Máx (%)	Longitud de Alcance Total (m)	
	Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento			
Parque de Mayo	2,21	2,56	4,60	480	4,0	995	834.974,0
Plaza A. Brown	2,45	4,21	300	540	4,0	685	417.826,6
Plaza M. Fierro	2,22	3,58	240	420	4,5	600	370.429,5
Plaza Santa Lucía	2,63	1,84	240	220	3,0	538	242.214,1
Plaza G. Funes	3,19	4,69	240	440	4,5	590	323.078,3

La correlación entre la superficie de Impronta Arbórea del EV y la superficie del *alcance* del efecto la variación de la humedad relativa se presenta en la **Figura 11**; en las **Figura 12** se presenta la correlación entre la superficie de Impronta Arbórea del EV y las diferencias máximas de humedad relativa.

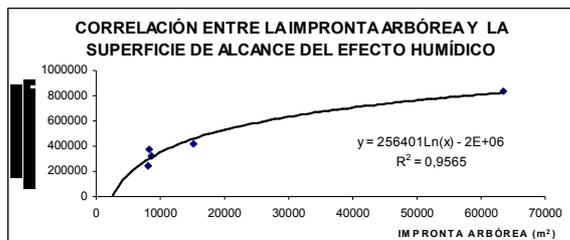


Figura 11: Correlación entre la sup. de Impronta Arbórea y la superficie de alcance del efecto

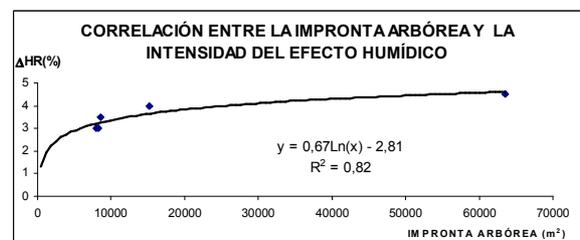


Figura 12: Correlación entre la sup. de Impronta Arbórea del EV y la intensidad del efecto

La correlación entre el volumen arbóreo del EV y la superficie del *alcance* de la variación de la humedad relativa se muestra en la **Figura 13**; en la **Figura 14** se presenta la correlación entre el volumen arbóreo del EV y la *intensidad* de dicho efecto (como las diferencias máximas de humedad relativa en cada EV).

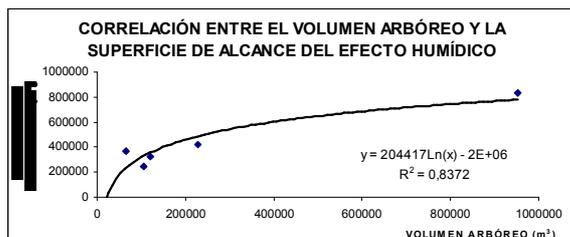


Figura 13: Correlación entre el volumen arbóreo del EV y la superficie de alcance de la variación de HR%

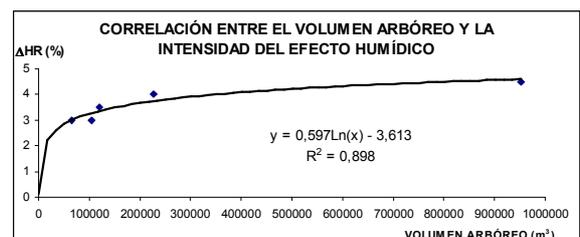


Figura 14: Correlación entre el volumen arbóreo del EV y la intensidad de la variación de la HR%

CONCLUSIONES

Características de la variación de la humedad relativa:

El efecto de la variación de la humedad relativa los Espacios Verdes, se manifiesta en todos sus entornos urbanos, siendo su *alcance* es decir, la distancia desde el centro geométrico de dichos EV, mayor a sotavento que a barlovento del viento predominante: en este caso, orientación SE. Este efecto se manifiesta aún ante diferentes condiciones de superficie y configuración geométrica del área verde, así como ante distintas condiciones urbanísticas de sus entornos: índices urbanísticos de Factor de Ocupación del Suelo, Canopia Urbana y Densidad Volumétrica edilicia.

Incidencia de la Superficie de Impronta Arbórea:

- Las correlaciones entre la superficie de impronta arbórea y la *intensidad* del efecto de la variación de la humedad relativa demuestran una correspondencia fuerte a partir de superficies mínimas, hasta un área de 12.000m², luego de la cual la curva se hace asintótica.
- A su vez, el aumento de la impronta arbórea produce un importante incremento del *alcance* de dicho efecto recién a partir de los 2.500m² y hasta un valor de 30.000m², a partir del cual, la curva se hace asintótica.

Incidencia del Volumen Arbóreo:

- Las correlaciones entre el volumen arbóreo y la *intensidad* del efecto de la variación de la humedad relativa demuestran una correspondencia fuerte desde mínimos volúmenes arbóreos hasta un valor de 170.000m³, a partir del cual la curva se hace asintótica.
- A su vez, el aumento del volumen arbóreo produce un importante incremento del *alcance* de dicho efecto desde un valor de 18.000m³, hasta 400.000m³, a partir del cual, la curva se hace asintótica.

De lo expuesto se desprende que una mínima superficie forestada producirá un aumento de humedad relativa pero su *alcance* se limitará al ámbito del propio EV; sólo incrementando dicha superficie a valores mayores a 2.500 m² el *alcance* del efecto de la variación de la humedad relativa abarcará el área urbana circundante.

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: Preliminary results of a two-year research project (CICITCA-UNSJ 2006/2007) which 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 arid zone are presented. In the sample, conformed by four squares and the urban park, climatic measurements were made; latter, urban directional cuts of each green space and their environment were made. The forest area and volume were correlated with the coverage area and the intensity of variation of the relative humidity in the surroundings. The Preliminary Conclusions demonstrated that all the EV exercises a modifier effect of the relative humidity in their urban environments whose reach is always bigger to leeward than to windward, independently of their size and morphology, and of the urban index of their surroundings. Also, it is concluded that a minimum area of grove will produce an increase of the relative humidity but its reach will be limited to the own EV; just increasing this surface to values higher than 2.500 m² the reach of the effect will embrace also the surrounding urban area.

Keywords: urban forestation, green spaces, urban humidity