

## DEPRESIÓN HUMÍDICA URBANA EN ZONA ÁRIDA

Alberto Papparelli<sup>1</sup>, Mario Cúnsulo<sup>2</sup>, Alejandra Kurbán<sup>3</sup> Eduardo Montilla<sup>4</sup>, Eliana Ríos<sup>5</sup>  
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: [arqamb@unsj.edu.ar](mailto:arqamb@unsj.edu.ar). Tel (0264) 4202664

**RESUMEN:** Se presentan resultados parciales de un proyecto de investigación bianual (CICITCA-UNSJ: 2006-2007), ejecutado por el Área Arquitectura Ambiental, cuyo objetivo final es determinar las formas de correlación entre la Isla de Calor Urbana y los índices urbanísticos de Factor de Ocupación del Suelo y de Densidad Volumétrica, como contribución a la planificación urbana bioclimática. Con la estadística climática del año 2006, se correlacionan la depresión húmedica del Gran San Juan, con la ocupación urbana analizada a través del Factor de Ocupación del Suelo y la volumetría edilicia calculada con la Densidad Volumétrica. Los resultados preliminares demuestran que en invierno y verano la Depresión Húmedica presenta el mismo patrón morfológico que el límite urbano y que a un aumento constante de la Densidad Volumétrica le corresponde una disminución constante de la Depresión Húmedica, correspondencia que no se verifica para el Factor de Ocupación del Suelo.

**Palabras Clave:** depresión húmedica, factor de ocupación del suelo, densidad volumétrica.

### INTRODUCCIÓN

Las urbanizaciones imponen siempre un grado de artificialización al ambiente, produciendo entre otras consecuencias, modificaciones al clima natural, tanto mayor cuanto más riguroso sea dicho clima y mayor sea la densidad volumétrica de la trama urbana y sus formas de ocupación. Por ello la urbanización en ecosistemas áridos, que cuentan generalmente con grandes áreas desérticas o en vías de desertificación, imprimen una fuerte presión en la carga climática y el confort higrotérmico de su población, particularmente influenciado por las diferentes características y tipologías de la distribución espacial de la ciudad.

El fenómeno de la Isla de Calor comporta un doble efecto ya que el aumento de la temperatura urbana va acompañado generalmente por un decrecimiento de la humedad relativa. Al respecto, en el Gran San Juan, en los últimos 12 años (1993-2005), la humedad relativa promedio anual fue de 40,5%, siendo la del área no urbana o rural, de 52,5% (Papparelli, A. *et al*, 2005). Los valores estacionales de verano en el área urbana en el mismo período fueron en promedio de 35,7% y en la no urbana 45,7% (Cúnsulo *et al*, 2007); en invierno, los tenores de humedad fueron de 41,8% en el área urbana y 58,0% en la no urbana. (Papparelli, A. *et al*, 2006).

Si bien los bajos tenores de humedad relativa contribuyen en cierta manera a disminuir el desconfort térmico durante el verano en presencia de las altas temperaturas que se registran en los centros urbanos, la disminución de la humedad en el invierno producida por el fenómeno de la isla de calor, colabora en incrementar el desconfort ante las bajas temperaturas. Si a esto se le incorpora el efecto del viento del cuadrante Sur, con una frecuencia invernal en el mismo período del 47,1% y una velocidad promedio de 10,4Km/h (Papparelli, A. *et al*, 2006), la influencia de éste en las temperaturas efectivas agravan la rigurosidad climática en el área urbana.

Estas condiciones de depresión de la humedad relativa en el área urbana, se relacionan con la *ocupación superficial del territorio* y con la *volumetría edilicia*. Ambas características pueden ser estudiadas a partir del cálculo de los índices urbanísticos: Factor de Ocupación del Suelo (FOS) y Densidad Volumétrica (DV), respectivamente.

### FACTOR DE OCUPACIÓN DEL SUELO Y DENSIDAD VOLUMÉTRICA

La Unidad Ejecutora del proyecto de investigación, realiza desde el año 1990 el estudio de las características de la distribución espacial del Gran San Juan, a través de sus principales índices urbanísticos: FOS y DV. Este trabajo ha permitido la edición de cuatro publicaciones referidas a las estadísticas de los años 1990, 1995, 2000 y 2005 (Papparelli, A. *et al* 1995, 2001, 2007a y 2007b). El análisis se realizó con aerofotografías digitalizadas y georeferenciadas con sistemas SIG y con relevamientos planialtimétricos in-situ de verificación cartográfica. Se trabajó con planchetas catastrales y un muestreo del asentamiento sobre 242 Nodos Urbanos, seleccionados en forma aleatoria, los que representan aproximadamente el 13,5% de

<sup>1</sup> Director Organizador INEAA; Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

<sup>2</sup> Prof. de E.M. UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

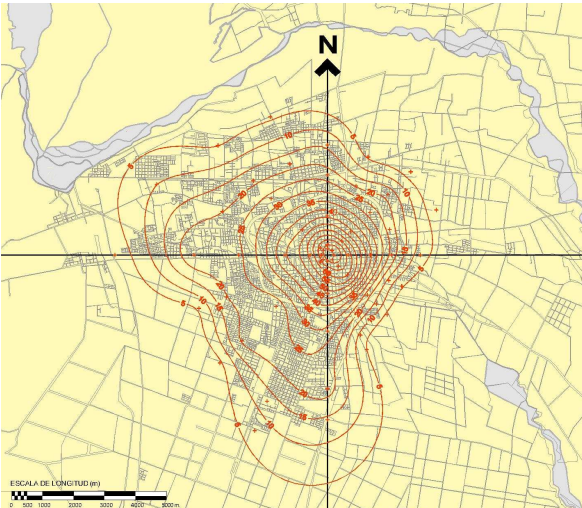
<sup>3</sup> Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

<sup>4</sup> Prof. JTP FAUD-UNSJ

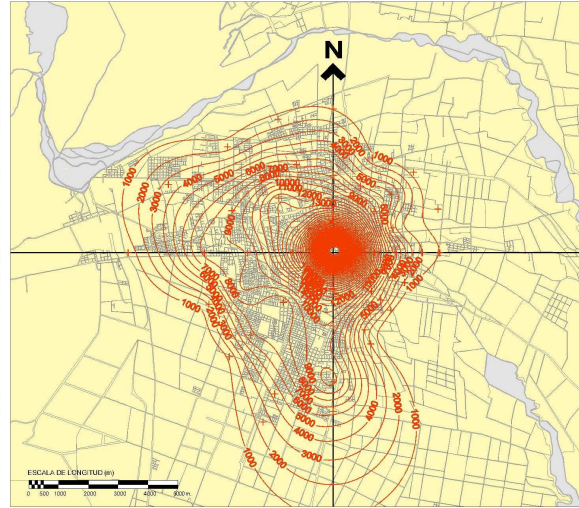
<sup>5</sup> Becaria CONICET

la trama urbana total del Gran San Juan, lo que permitió obtener una estadística urbana confiable. Los valores de FOS y DV se procesaron con un modelo tridimensional al que se le realizaron cortes horizontales con equidistancias de 5,0% y de 1.000,00m<sup>3</sup>/Ha respectivamente, obteniéndose isolíneas representativas de las formas de distribución de cada índice sobre la trama urbana analizada. En la **Figura 1 y 2** se presentan las isolíneas de FOS y de DV, correspondientes al año 2006. Por ser el FOS el índice urbanístico que mejor representa las características propias de la ocupación del territorio, se utilizó la modelización de sus isolíneas representativas, con equidistancias del 5,0% y según las 16 orientaciones cardinales, para obtener áreas urbanas con similares características espaciales de ocupación.

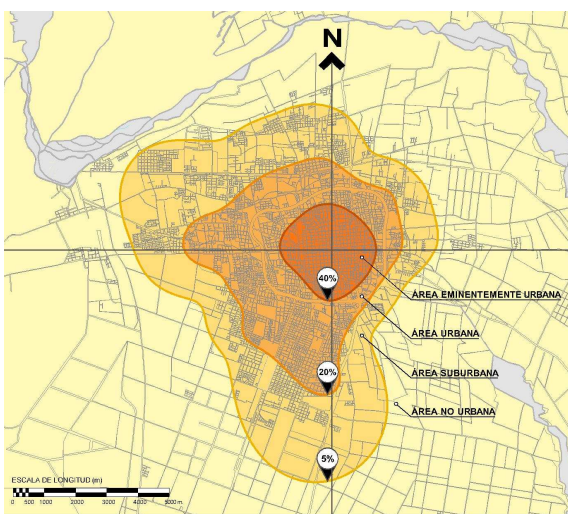
Por medio de métodos estadísticos se definieron los límites de las Bandas Urbanas Características (BUC) para el Gran San Juan (**Figura 3**). Al respecto, se define a cada BUC como: "Área homogénea y continua del ejido urbano, con índices urbanísticos de similar valor, comprendida entre dos isolíneas representativas del Factor de Ocupación del Suelo, las que identifican su límite territorial y el estado de situación espacial; presentándose como área circunvalar al centro principal de la trama urbana" (Papparelli, A., et al, 2007).



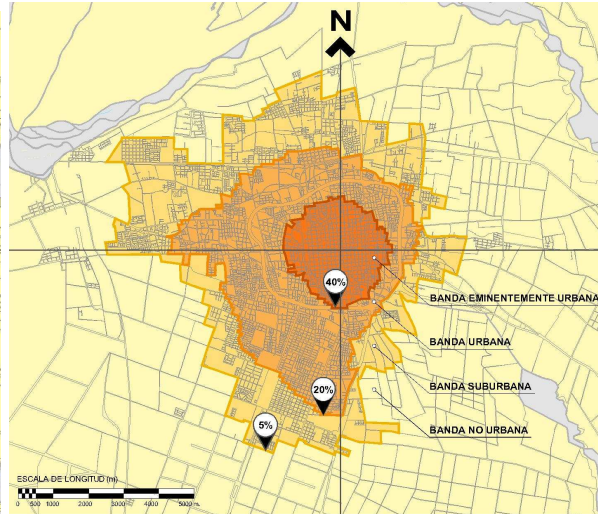
**Figura 1: Isolíneas de FOS – Gran S. Juan – 2006**



**Figura 2: Isolíneas de DV – Gran San Juan - 2006**



**Fig. 3: Isolíneas límite de BUC – 2006**



**Fig 4: Bandas Urbanas Características Restituidas - 2006**

Las curvas representativas del límite de cada BUC, se superpusieron con igual escala de dibujo sobre la plancheta gráfica de la trama urbana digitalizada, lo que permitió restituir o regularizar las isolíneas o curvas modelizadas, con las calles de toda la trama urbana considerada, por ser estos canales urbanos donde se asumen los límites geográficos, políticos y administrativos de la ciudad (**Figura 4**).

### MEDICIONES CLIMÁTICAS

Se realizaron dos tipos de mediciones: **Itinerantes**: en los Nodos Urbanos muestra localizados en el ejido urbano y **Fijas**: de control, obtenidas en el centro urbano principal. El detalle de las mediciones es el siguiente:

**Mediciones Climáticas Itinerantes**: se registraron en 48 Nodos Urbanos muestra del Gran San Juan ubicados a lo largo de los 8 ejes cardinales principales de Rumbos, Medios Rumbos y Cuartos de Rumbos. Se utilizaron 2 termohigrómetros digitales portátiles marca VAISALA con sensores HMI 31W / HMP 35 y tiempo de respuesta de 5 seg. Los períodos de

medición fueron: Verano'06, entre el 15/12/2005 y el 15/02/2006; Invierno'06, entre el 15/06/2006 y el 15/08/2006. Las mediciones se realizaron en siete (7) días alternados de registros tridimensionales con horario central a las 9:00, 15:00 y 21:00 y por cada estación climática, eliminándose de éstas la más atípica. Las mediciones se ejecutaron sobre dos (2) recorridos para dos (2) orientaciones perpendiculares entre sí y en forma simultánea. Se seleccionaron días con cielo despejado, con un Índice de claridad  $K_T \cong 0,7$ . Los registros entre uno y otro Nodo Urbano se realizaron con una diferencia de 5 minutos, totalizando cada recorrido, 50 minutos.

**Mediciones Climáticas Fijas:** se realizaron con una estación meteorológica (EM-II), localizada en el área urbana central del Gran San Juan. La estación es un equipo marca DAVIS (Weather Monitor II), cuyos datos son adquiridos en una PC a través de una interfase Weatherlink. 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 meteorológicas del área urbana. El sistema de adquisición de datos se programó para realizar tomas cada 60 minutos. Esta EM-II es verificada, contrastada y calibrada en forma periódica (30 días), por medio de un psicrómetro instalado en abrigo meteorológico ubicado a una distancia de 3,0m de aquella y en idénticas condiciones de captación.

## DEPRESIÓN HUMÍDICA URBANA

Se define **Depresión Humídica** urbana a la diferencia de humedad relativa entre el área urbana y el área no urbana periférica. Para determinar su comportamiento espacial, se calcularon las diferencias de humedad relativa entre la periferia no urbana y cada Nodo Urbano de medición. Estas diferencias se modelizaron espacialmente obteniéndose para invierno y verano, la Depresión Humídica Urbana representada por isóneas con equidistancias de 1,0%. En las **Figuras 5 y 6**, se presenta dicha Depresión para invierno y verano, superpuesta con un plano de la ciudad y la mancha indicativa del área urbana real del Gran San Juan.

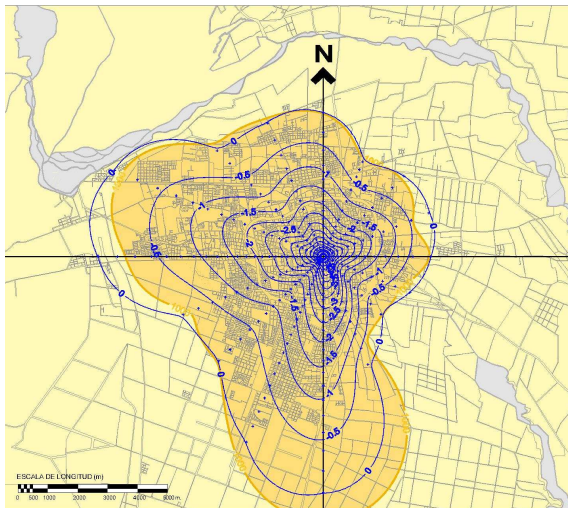


Fig. 5: Isóneas de  $\Delta HR\%$  c/Límite urbano-INV.

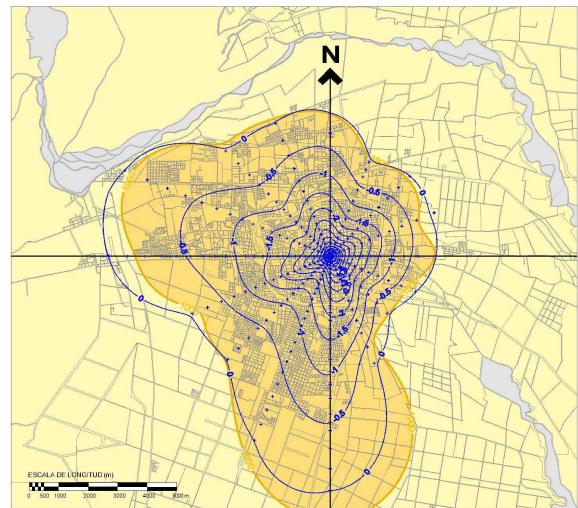


Fig. 6: Isóneas de  $\Delta HR\%$  c/Límite urbano-VER.

## CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES URBANÍSTICOS Y DEPRESIÓN HUMÍDICA URBANA

Se ejecutaron perfiles representativos de diferencias de humedad relativa para cada una de las 8 orientaciones cardinales principales, modelos que permitieron calcular los valores de  $\Delta HR\%$  de cada nodo uno de los 242 Nodos Urbanos, respecto a su periferia urbana. Estos valores, junto a los de FOS y DV de cada Nodo Urbano se incorporaron a una base de datos, cuyo procesamiento en gráficas de correlación entre ambas variables, permitió cuantificar y modelizar la vinculación entre el  $\Delta HR\%$  y dichos índices urbanísticos (Ver **Figuras 7, 8, 9 y 10**).

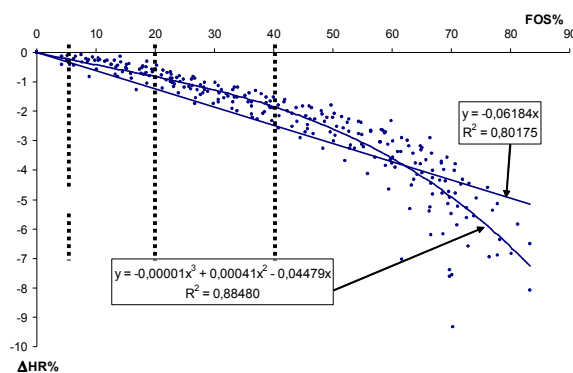


Fig. 7: Correlación entre FOS y  $\Delta HR\%$  - INVIERNO

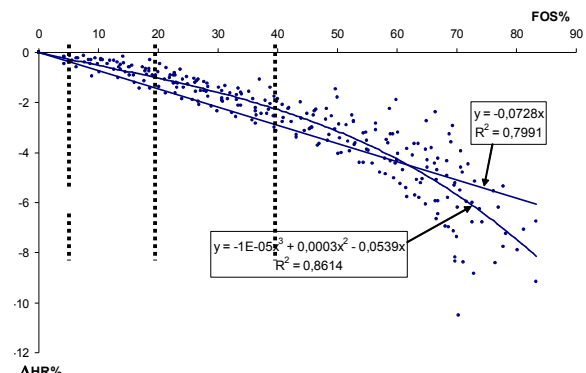


Fig. 8: Correlación entre FOS y  $\Delta HR\%$  - VERANO

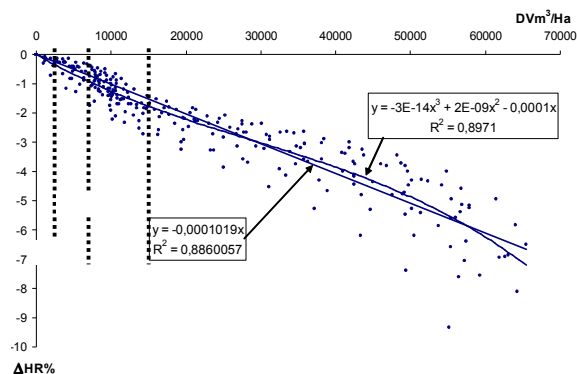


Fig. 9: Correlación entre DV y ΔHR% - INVIERNO

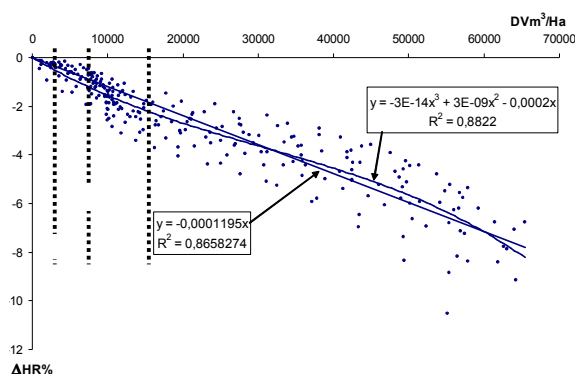


Fig. 10: Correlación entre DV y ΔHR% - VERANO

En función de las correlaciones anteriores, en la *Planilla 1* se cuantifica la relación entre los índices urbanísticos y la depresión húmeda.

FOS	Variación de ΔHR% Depresión Húmeda		DV	Variación de ΔHR% Depresión Húmeda	
	INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO
10 %	- 0,42%	- 0,52%	10.000 m³/Ha	- 1,27%	- 1,56%
20 %	- 0,82%	- 1,03%	20.000 m³/Ha	- 2,22%	- 2,70%
30 %	- 1,28%	- 1,60%	30.000 m³/Ha	- 3,03%	- 3,63%
40 %	- 1,85%	- 2,28%	40.000 m³/Ha	- 3,85%	- 4,55%
50 %	- 2,60%	- 3,15%	50.000 m³/Ha	- 4,87%	- 5,66%
60 %	- 3,60%	- 4,26%	60.000 m³/Ha	- 6,25%	- 7,16%
70 %	- 4,91%	- 5,68%	70.000 m³/Ha	- 8,15%	- 9,26%
80 %	- 6,61%	- 7,47%	80.000 m³/Ha	- 10,74%	- 12,17%
90 %	- 8,75%	- 9,69%	90.000 m³/Ha	- 14,20%	- 16,08%
100 %	- 11,40%	- 12,40%	100.000 m³/Ha	- 18,69%	- 21,19%

Planilla 1: Correlación cuantitativa entre FOS y DV con la Depresión Húmeda - INVIERNO y VERANO

## RESULTADOS PRELIMINARES

De la *Figura 6* correspondiente al **verano**, se desprende que la isolínea del límite urbano real del Gran San Juan, presenta un modelo morfológico semejante al de la Depresión Húmeda, definida por la isolínea de  $\Delta HR\% = 0,0\%$ ; por su parte, de la *Figura 5* correspondiente al **invierno**, se verifica un comportamiento muy similar. Ésto demuestra la directa correlación que existe entre el FOS (ocupación territorial), la DV (volumetría edilicia) y la humedad relativa macroescalar.

Los valores de las distancias entre la isolínea del límite urbano real y el centro principal de la trama urbana, se correlacionaron con los valores de las distancias entre la isolínea límite de  $\Delta HR\% = 0,0\%$  y el mismo centro urbano (*Planilla 2*). Este cálculo determinó que en promedio para todas las orientaciones cardinales, el alcance espacial de la Depresión Húmeda se extiende como valor promedio para **invierno** y **verano** un **7,4%** más allá de la isolínea representativa del límite urbano real.

Cuando la Depresión Húmeda se correlaciona con el Factor de Ocupación del Suelo utilizando 2 modelos de correlación: lineal y polinómico, se verifica que ambos ajustes tienen un comportamiento disímil (*Figura 7* y *8*). El modelo polinómico ajusta mejor a la nube de puntos presentada, en cambio el modelo lineal sólo se mantiene semejante a aquél hasta el valor **FOS = 40%** y a partir de ese punto se separa notablemente del modelo polinómico. Esto implica que deberá asumirse este último para establecer las comparaciones entre los casos de estudio que correspondieren.

Cuando la Depresión Húmeda se correlaciona con la Densidad Volumétrica, utilizando 2 modelos de correlación: lineal y polinómico, se verifica que ambos ajustes se comportan de forma similar (*Figura 9* y *10*). Si bien el modelo polinómico es el que mejor ajusta a la nube de puntos presentada, se asumió como válido al ajuste lineal, debido a la exigua diferencia entre sus respectivos coeficientes de determinación  $R^2$ .

ORIENTACIÓN CARDINAL	DISTANCIAS DESDE EL CENTRO URBANO				
	LÍMITE URBANO	$\Delta$ HR% VERANO	$\Delta$ HR% INVIERNO	$\Delta$ HR% Prom. (VER - INV)	% de aumento Entre $\Delta$ HR v L. U.
NORTE	5.461m	5.772m	5.784m	5.778m	5,8%
NORESTE	4.297m	4.568m	4.566m	4.567m	6,3%
ESTE	3.958m	4.315m	4.295m	4.305m	8,8%
SURESTE	3.184m	3.377m	3.420m	3.399m	6,7%
SUR	8.834m	9.495m	9.484m	9.490m	7,4%
SUROESTE	5.822m	5.959m	5.974m	5.967m	2,5%
OESTE	7.599m	9.036m	9.026m	9.031m	18,8%
NOROESTE	5.993m	6.182m	6.165m	6.169m	2,9%
PROMEDIO	5.643m	6.088m	6.089m	6.088m	7,4%

NOTA:  $\Delta$ HR = Depresión Humídica; L. U. = Límite Urbano

**Planilla 2: Correspondencia entre Distancias: Límite Urbano y Límite de Depresión Humídica**

## CONCLUSIONES

La correlación que vincula la curva de Depresión Humídica con la isolínea representativa del límite urbano real, presenta un mismo patrón morfológico, correspondiéndose en un mismo plano de referencia y coincidente con la trama urbana analizada, tanto para invierno como para verano. Esto demuestra la directa correlación que existe entre el FOS (ocupación urbana), la DV (volumetría edilicia) y la humedad relativa macroescalar analizada.

La modificación húmedica del clima macroescalar que se produce en un área urbana, excede espacialmente al límite urbano real en **7,4%**, para todas las orientaciones cardinales y tanto para invierno como para verano. Esto significa que la influencia de la ocupación urbana no se limita sólo a su ejido, sino que se extiende a sus zonas perimetrales colindantes.

En la correlación que vincula la Depresión Humídica con la Densidad Volumétrica, se concluye que a un aumento constante de ésta, le corresponde siempre en invierno como en verano, una disminución constante de  $\Delta$ HR%.

De la correlación que vincula la Depresión Humídica con el Factor de Ocupación del Suelo, se concluye que a un aumento constante de este indicador sea en verano como en invierno, no le corresponde una disminución constante de  $\Delta$ HR%, ya que mientras que para valores de **FOS > 40%** (correspondiente a la Banda Eminentemente Urbana) los incrementos en valor absoluto de  $\Delta$ HR%, aumentan significativamente, para valores de **FOS  $\leq$  40%**, (Banda Urbana y Suburbana) la pendiente de la curva de correlación es poco variable y baja.

De la correlación que vincula la Depresión Humídica con la Densidad Volumétrica, un determinado aumento de DV produce un incremento, en valor absoluto, constante de  $\Delta$ HR% en todo el asentamiento, cualquiera sea la BUC en la que éste se produzca; en cambio un determinado aumento de FOS produce un incremento en valor absoluto de  $\Delta$ HR%, diferenciado según la BUC en la que éste se produzca: mayor en la Banda Eminentemente Urbana y menor en la Banda Suburbana.

## REFERENCIAS

- Cúnsulo, M., Papparelli, A., Kurbán, A., *et al* (2006), Impacto de la Edificación en el Clima Urbano Árido, *AVERMA* ISSN 0329-5184 Bs.As. Volumen 10. Págs. 11-01 a 11-07.
- Cúnsulo, M., Papparelli, A., Kurbán, A., Montilla, E. (2007) Temporal Evolution of the Potential of Passive Cooling Systems for Arid Areas. *Architectural Science Review* Volume 50 Number 1 ISSN 0003-8628. The University of Sidney Estadística 2000. ISBN 13:978-987-584-079-9, Editorial Nobuko. Buenos Aires
- Mazzeo, N. (1984) Aplicaciones del Diagnóstico Climático a problemas relacionados con el urbanismo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA, Bs. As.
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., *et al* (1999 - 2000 - 2001- 2002 - 2003 - 2004 - 2005- 2006) Estadística Climática Diaria Hora a Hora Ciudad de San Juan. *PROPAC, Programa de Actualización Climático-urbanística*, FAUD - UNSJ.
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., (1995), Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan. Estadística 1990. ISBN 950-605-073-2, Edit. Gabinete de M. A. (FAUD-UNSJ).
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo M., (2001) Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan. Estadística 1995. ISBN 950-605-226-3, Edit. Gabinete de M. A. (FAUD-UNSJ).
- Papparelli, A., Kurbán, A. Cúnsulo, M., Montilla, E., Herrera, C. (2005) Volumetría Urbana y Clima: Análisis Histórico y Espacial en una Zona Árida. *AVERMA* ISSN 0329-5184 Bs. As. Volumen 9. Págs. 11-15 a 11-19.
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., *et al* (2007), Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de S. Juan Estadística 2000, ISBN 987-584-076-9, Editorial Nobuko, Buenos Aires
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., *et al* (2007), Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de S. Juan Estadística 2005, ISBN 978-987-584-079-9, Editorial Nobuko, Buenos Aires
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, Ríos E. Montilla E. (2006) PROPAC Programa Permanente de Actualización Climático-Urbanística. FAUD-UNSJ

**ABSTRACT:** Preliminary results of a two-year research project (CICITCA-UNSJ: 2006-2007) are exposed. The humidity depression in a city of arid zone (urban frame of the great San Juan city) is correlated with the occupation of the land through the Land Occupation Factor (FOS) and with the building volume through the Volume Density (DV). The preliminary results let to know the incidence of both urban characteristics on the micro-climatic conditions of the city. The definitive ones will be transferred to the government power, which is responsible for the control and development of the human habitat in the province, as a design tool that helps to regulate the applications of urban index in the urban planning of the city of arid zone, tending to the sustainability of the human settlements.

**Keywords:** humidity depression, land occupation factor, volume density.