

ISLA DE CALOR URBANA EN ZONA ÁRIDA

Alberto Papparelli¹, Mario Cúnsulo², Alejandra Kurbán³, 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: arqamb@unsj.edu.ar. Tel (0264) 4202664

RESUMEN: Se presentan resultados preliminares de un proyecto de investigación bianual (CICITCA-UNSJ 2006-2007) 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. La estadística a utilizar corresponde a la obtenida durante el año 2006, registrada por la Unidad Ejecutora, por medio de una estación meteorológica fija y mediciones climáticas itinerantes que abarcan todo el ejido urbano del Gran San Juan. Los resultados preliminares demostraron la influencia directa que la ocupación edilicia ejerce sobre la diferencia de temperatura urbana, influencia que se extiende más allá de los límites del ejido urbano, tanto en verano como en invierno, correspondiendo a un aumento de ambos índices urbanísticos, un incremento de la Isla de Calor.

Palabras Clave: isla de calor, factor de ocupación del suelo, densidad volumétrica

INTRODUCCIÓN

Los procesos de antropización en áreas urbanas, debido a los crecientes cambios en las condiciones del soporte físico original, conllevan una alteración del clima natural producida por la ocupación territorial, las volumetrías edilicias (Cúnsulo, M., Papparelli, A., Kurbán, A., *et al.*, 2006), las características de la infraestructura vial, la forestación urbana y el calor antropogénico. Superando ciertos niveles de densidad poblacional urbana, dichos cambios son más marcados e influyen en las condiciones térmicas, tanto en los espacios abiertos como en los interiores edilicios.

Este fenómeno de modificación del clima natural se produce por la alteración de cuatro mecanismos físicos (Mazzeo, 1984):

- Balance de radiación: perturbado por los cambios en las propiedades de las superficies pues el paisaje natural es reemplazado por cemento y ladrillo.
- Flujo natural y turbulencia del aire: modificados por la presencia de áreas construidas, obstáculos para el viento.
- Balance del vapor de agua: modificado por el cambio de superficies húmedas por secas.
- Aumento de la emisión de calor, de vapor de agua y de contaminantes: efectos que se emiten a la atmósfera y son provocados por las zonas urbanas respecto a las zonas no urbanas o rurales.

Asimismo existen interacciones entre estos mecanismos: por ejemplo, la contaminación del aire afecta al balance de radiación y al régimen térmico. Este proceso se define como Isla de Calor Urbana: “*Calentamiento relativo de la ciudad comparado con las condiciones pre-urbanas*”; o de otra manera: “*Diferencias entre las temperaturas urbana y la rural*”.

La *Isla de Calor Urbana* también propicia el aumento de la contaminación ambiental de dos maneras (Akbari, et al, 1992).

- ° En forma directa: funcionando como catalizador de las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera generando mayor cantidad de smog. Por encima de los 20°C de temperatura máxima diaria, el smog aumenta 5,0% por cada 0,5°C.
- ° En forma indirecta: el aumento del consumo de energía produce un incremento de gases de combustión por parte de las plantas generadoras de energía, gases que generan el calentamiento global y la lluvia ácida, entre otros efectos. Estos gases son: CO₂, CO, NO_x, SO_x, vapor de agua y metano.

La presencia de ozono o de smog a nivel del suelo, producto de las altas temperatura ambientales, irrita los ojos, agrava el asma y produce daños y hasta deterioros pulmonares que pueden ser permanentes. Además, la cuantificación y espacialización de la Isla de Calor Urbana, constituye una información esencial para evaluar el incremento del consumo energético y la contaminación ambiental relacionados directamente con ella.

Según Akbari, *et al.*, 1992, para ciudades con más de 100.000 habitantes, los consumos de energía en horas pico se incrementan en 1,5% a 2,0% por cada grado centígrado de aumento de la temperatura de bulbo seco.

¹ Director Organizador INEAA; Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

² Prof. de E.M. UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

³ Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

⁴ Prof. JTP FAUD-UNSJ

⁵ Becaria CONICET

Por lo precedente, el fenómeno de Isla de Calor Urbana es uno de los principales aspectos de la climatología urbana, por su incidencia directa en la calidad de vida de la población en las ciudades. Esto indica que la construcción del hábitat humano, tanto urbano como edilicio, deberá tener en cuenta la oferta climática de la región casi en forma prioritaria, ya que las complejas relaciones recíprocas que se dan entre la atmósfera y el terreno sobre el que se construye la ciudad, inciden en el clima local, agravándose por su fragilidad en las regiones áridas del planeta. Dichos efectos se producen tanto en tramas urbanas densas, como en sus áreas circundantes o periféricas menos densas.

Precisamente en estas zonas áridas, es donde generalmente se desarrollan más rápidamente y casi al azar planificaciones urbanas que no tienen en cuenta los factores climáticos, basándose casi con exclusividad en especulaciones inmobiliarias y decisiones sectoriales socio-económicas, desconociendo la sustancial importancia de dichos factores en la calidad de vida de la población. Para revertir esta situación es necesario concienciar a los poderes de gestión involucrados en la construcción del hábitat humano, sobre la importancia de la planificación bioclimática de los asentamientos humanos consolidados o en vías de consolidación, con el fin de mejorar la calidad de vida del hombre en ecosistemas áridos.

ÍNDICES URBANÍSTICOS DE FOS Y DV

Los componentes que conforman una ciudad y que intervienen en la modificación de las condiciones higrótérmicas de sus espacios abiertos y cerrados, son entre otros: la edificación, las superficies de calzadas y veredas, la forestación urbana, los estacionamientos vehiculares, el calor antropogénico, etc. La *masa térmica urbana* es uno de los parámetros que condicionan la Isla de Calor Urbana. Por tanto es necesario conocer los valores y las formas de distribución de los índices urbanísticos más representativos: Factor de Ocupación del Suelo (FOS) y Densidad Volumétrica (DV).

La Unidad Ejecutora realiza quinquenalmente desde el año 1990, el estudio de las características de la distribución espacial del Gran San Juan, atendiendo a la evolución de sus principales índices urbanísticos: Factor de Ocupación del Suelo (FOS), Densidad Volumétrica (DV) edilicia y Canopia Urbana edilicia (CU). 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 (*Figuras 1*), seleccionados en forma aleatoria, los que representan aproximadamente el 13,5% de la trama urbana total del Gran San Juan, permitiendo obtener una estadística urbana confiable. Dichos Nodos Urbanos fueron restituidos a la plancheta catastral según el perfil de las calles urbanas (*Figura 2*).

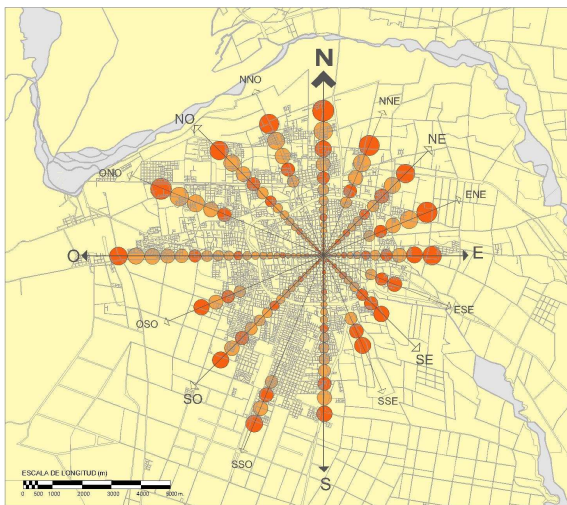


Figura 1: Distribución de Nodos Urbanos

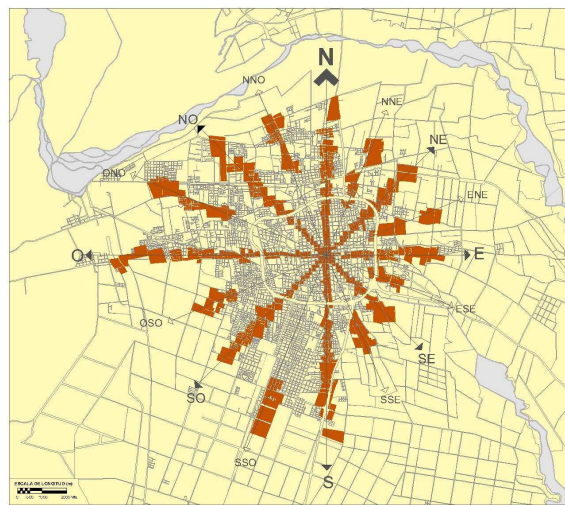


Figura 2: Nodos Urbanos Restituidos

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 1.000,00 m³/Ha respectivamente, obteniéndose isolíneas representativas de las formas de distribución de cada índice sobre la trama urbana analizada. En la *Figura 3* y *4* se presentan las isolíneas de FOS y de DV, correspondientes al año 2006.

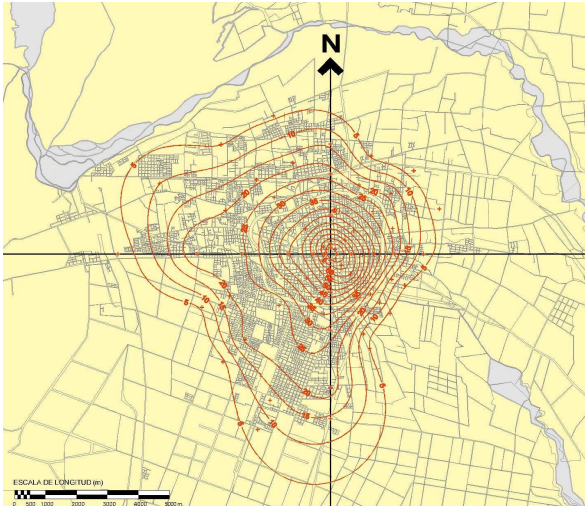


Figura 3: Isolíneas de FOS – Gran S. Juan – 2006

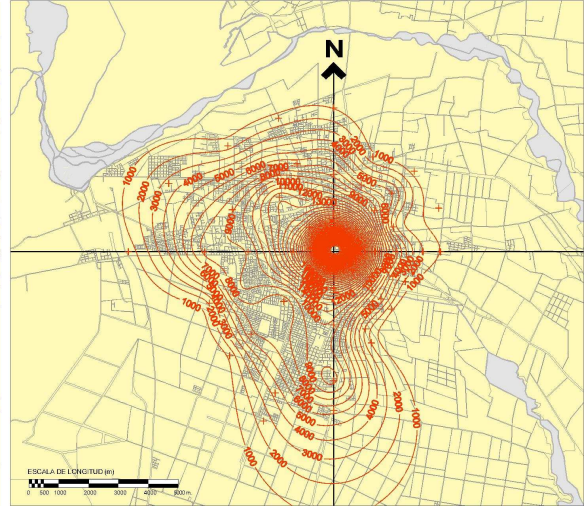


Figura 4: Isolíneas de DV – Gran San Juan - 2006

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 5). 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).

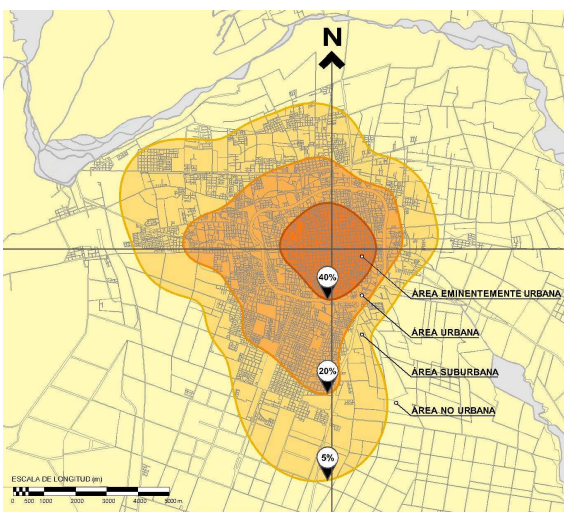


Fig. 5: Isolíneas límite de BUC – 2006

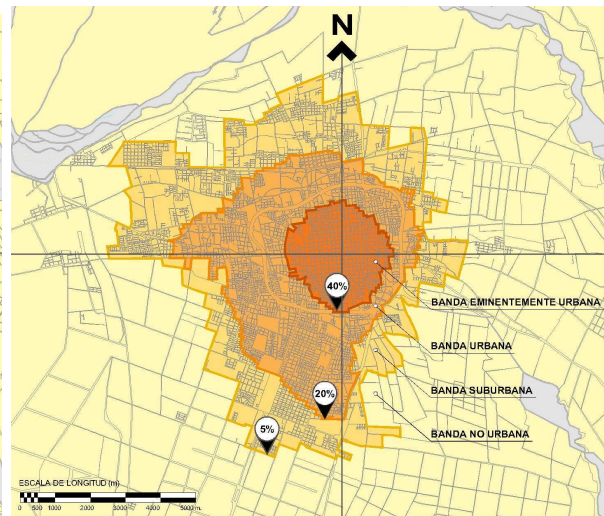


Fig 6: Bandas Urbanas Características Restituidas - 2006

Las isolíneas representativas del límite urbano de cada BUC, se superpusieron con igual escala de dibujo sobre la plancheta gráfica de la trama urbana digitalizada, lo que permitió restituir o regularizarlas con las calles de toda la trama urbana considerada, por ser estos canales urbanos donde se asumen los límites geográficos, políticos y administrativos de una ciudad (Figura 6). El método consistió en asumir que, cuando una isolínea dividía una manzana urbana en una cantidad mayor a la mitad de su superficie, esta manzana quedaba incorporada hacia el interior de la isolínea considerada, caso contrario la manzana quedaba segregada de la BUC que correspondiere. La determinación de las BUC en el ejido urbano, permitió relacionar espacialmente la ocupación territorial y su volumetría edilicia con la variable climática de temperatura de bulbo seco para invierno y verano.

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 tridurnos 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.

ÍNDICES URBANÍSTICOS E ISLA DE CALOR URBANA

Se calcularon las diferencias de temperatura de bulbo seco entre el valor en la periferia no urbana y cada Nodo Urbano de medición. Estas diferencias se modelizaron espacialmente obteniéndose para invierno y verano, isolíneas representativas con equidistancias de 0,5°C. En las **Figuras 7 y 8** se presentan dichas isolíneas para invierno y verano, superpuestas a un plano de la ciudad en el cual aparecen graficadas las BUC.

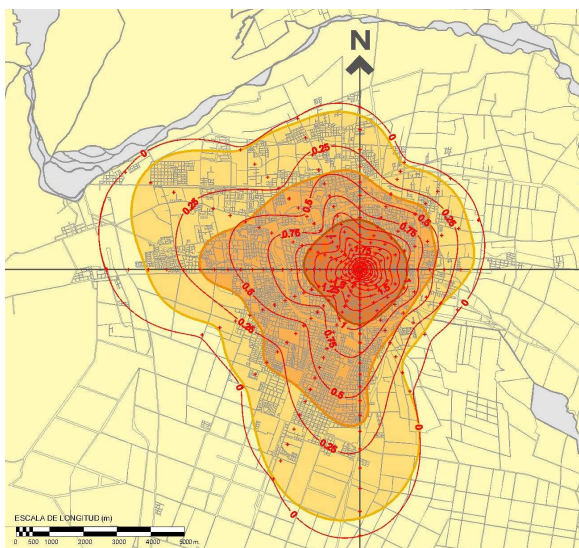


Fig. 7: Isolíneas de Isla de T°C c/Límite urbano-INV.

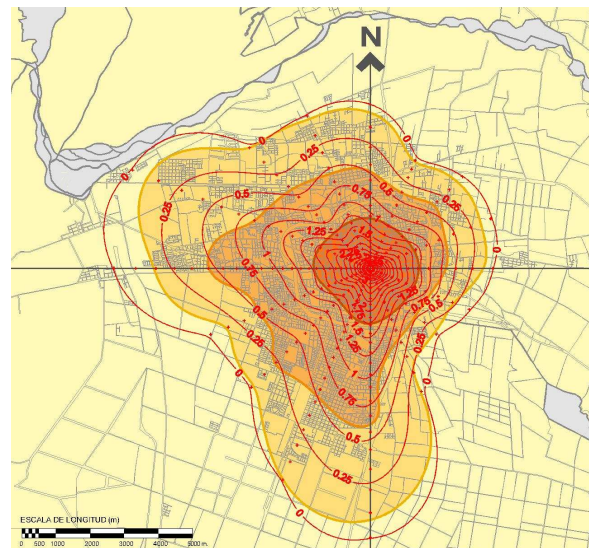


Fig. 8: Isolíneas de Isla de T°C c/Límite urbano-VER.

CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES URBANÍSTICOS E ISLA DE CALOR URBANA

Por medio de las gráficas de Isla de Calor para verano e invierno, se establecieron los perfiles representativos de temperatura para cada una de las 8 orientaciones cardinales principales. Estos modelos permitieron calcular los valores de $\Delta T^{\circ}C$ de cada uno de los 242 nodos urbanos respecto de su periferia no urbana. Los valores de las diferencias de $\Delta T^{\circ}C$ junto a los de FOS y DV permitieron cuantificar y modelizar la vinculación entre la temperatura y dichos índices urbanísticos, ejecutándose gráficas de correlación entre ambas variables (Ver **Figuras 9, 10, 11 y 12**).

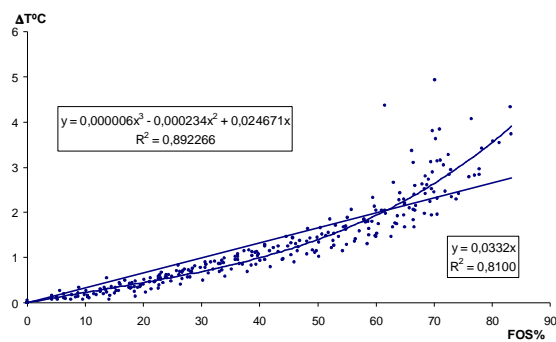


Fig. 9: Correlación entre FOS y $\Delta T^{\circ}C$ - INVIERNO

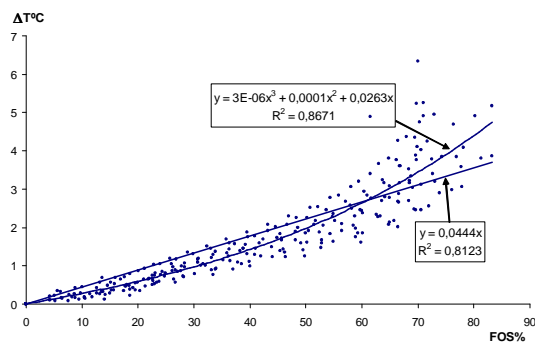


Fig. 10: Correlación entre FOS y $\Delta T^{\circ}C$ - VERANO

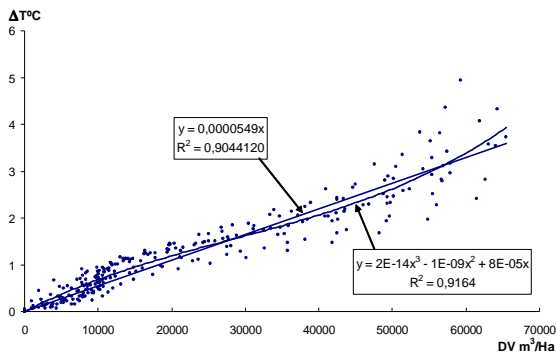


Fig. 11: Correlación entre DV y $\Delta T^{\circ}C$ - INVIERNO

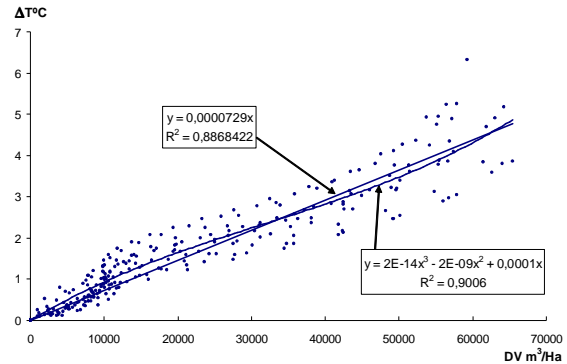


Fig. 12: Correlación entre DV y $\Delta T^{\circ}C$ - VERANO

RESULTADOS PRELIMINARES

Al analizar la *Figura 8*, correspondiente al **verano**, se detecta que la isolínea del límite urbano real, presenta un modelo morfológico semejante al del modelo de la Isla de Calor ($\Delta T^{\circ}C = 0^{\circ}C$). Al analizar la *Figura 7*, correspondiente al **invierno**, se detecta un comportamiento semejante al de verano, demostrando la influencia directa que ejerce la ocupación urbana y la volumetría edilicia sobre la temperatura de bulbo seco macroescalar de una región.

Se correlacionaron los valores de las distancias entre la isolínea del límite urbano real y el centro principal de la trama urbana, conjuntamente con los valores de las distancias entre la isolínea límite de la Isla de Calor y el mismo centro urbano, para cada orientación cardinal (*Planilla 1*). Este cálculo determinó que en promedio, para todas las orientaciones cardinales, la influencia espacial de la **Isla de Calor** se extiende en aproximadamente un **7,8%** más allá de la isolínea representativa del límite urbano, valor promedio para **invierno** y **verano**.

ORIENTACIÓN CARDINAL	DISTANCIAS DESDE EL CENTRO URBANO				
	LÍMITE URBANO	$\Delta T^{\circ}C$ VERANO	$\Delta T^{\circ}C$ INVIERNO	$\Delta T^{\circ}C$ Prom. (VER - INV)	% DE AUMENTO Entre I. de T°C y L.U.
NORTE	5.461m	5.763	5.760	5.762	5,5%
NORESTE	4.297m	4.568	4.584	4.576	6,5%
ESTE	3.958m	4.310	4.305	4.308	8,8%
SURESTE	3.184m	3.381	3.594	3.488	9,5%
SUR	8.834m	9.487	9.466	9.477	7,3%
SUROESTE	5.822m	5.986	5.990	5.988	2,9%
OESTE	7.599m	9.033	9.040	9.037	18,9%
NOROESTE	5.993m	6.208	6.168	6.188	3,3%
PROMEDIO	5.643m	6.092	6.113	6.103	7,8%

NOTA: I. de C. = Isla de calor; L. U. = Límite Urbano

Planilla 1: Correspondencia entre Distancias: Límite Urbano y Límite de Isla de Calor

Las *Figuras 9, 10, 11* y *12* permitieron calcular los valores de $\Delta T^{\circ}C$ en función del FOS y de la DV para invierno y verano, los que se presentan en la *Planilla 2*.

FOS	Variación de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ Isla de Calor		DV	Variación de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ Isla de Calor	
	INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO
10 %	0,23	0,28°C	10.000 m ³ /Ha	0,68	0,93
20 %	0,45	0,59°C	20.000 m ³ /Ha	1,19	1,65
30 %	0,69	0,97°C	30.000 m ³ /Ha	1,62	2,25
40 %	1,00	1,42°C	40.000 m ³ /Ha	2,06	2,82
50 %	1,40	1,98°C	50.000 m ³ /Ha	2,62	3,48
60 %	1,93	2,64°C	60.000 m ³ /Ha	3,39	4,31
70 %	2,64	3,44°C	70.000 m ³ /Ha	4,46	5,41
80 %	3,55	4,40°C	80.000 m ³ /Ha	5,93	6,89
90 %	4,70	5,52°C	90.000 m ³ /Ha	7,89	8,83
100%	6,12	6,84°C	100.000 m ³ /Ha	10,45	11,34

Planilla 2: Influencia cuantitativa de FOS y DV en la Isla de T°C - INVIERNO y VERANO

Cuando la Isla de Calor se correlaciona con el Factor de Ocupación del Suelo, utilizando los 2 modelos de correlación: **lineal y polinómico**, se verifica que ambos ajustes, a diferencia del análisis anterior, tienen un comportamiento disímil (*Figura 9 y 10*). 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.

Si bien el modelo polinómico es el que mejor se ajusta a la nube de puntos presentada, con el fin de hacer comparables los casos de verano e invierno con ambos índices urbanísticos y dada la exigua diferencia entre sus respectivos coeficientes de determinación R^2 , se asumió como válido el ajuste lineal.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Del análisis morfológico establecido en la correlación que vincula la Isla de Calor de invierno y verano con la isolínea representativa del límite urbano real, se concluye que ambas curvas presentan un mismo patrón morfológico, correspondiéndose en un mismo plano de referencia y coincidente con la trama urbana del Gran San Juan. Esto demuestra la influencia directa que la ocupación urbana ejerce sobre la temperatura macrosalar.

La modificación térmica del clima macrosalar que se produce en un área urbana, excede al límite urbano real en invierno y verano en aproximadamente un **7,8%**, para todas las orientaciones cardinales. Esto significa que el efecto de la ocupación urbana no se limita sólo a su ejido, sino que se extiende a sus zonas perimetrales colindantes.

De las gráficas de correlación que vinculan la Isla de Calor con la Densidad Volumétrica, se concluye que a un aumento constante de la misma le corresponde siempre un aumento constante de $\Delta T^{\circ}\text{C}$. Este comportamiento se detecta de igual forma para invierno como para verano.

De las gráficas de correlación que vinculan la Isla de Calor con el Factor de Ocupación del Suelo tanto para verano como para invierno, se concluye que a un aumento constante de éste no le corresponde un aumento constante de $\Delta T^{\circ}\text{C}$, ya que para valores de **FOS \leq 40%**, correspondientes a las Bandas Urbana y Suburbana, la pendiente de la curva de correlación es poco variable y baja, mientras que para valores de **FOS $>$ 40%**, correspondiente a la Banda Eminentemente Urbana, los incrementos de $\Delta T^{\circ}\text{C}$, aumentan significativa y marcadamente.

De las 2 conclusiones anteriores se infiere que la Isla de Calor, es más sensible a un aumento del **FOS** en la Banda Eminentemente Urbana en relación a un aumento de la **DV**. Es decir que el **FOS** en esta BUC tiene mayor influencia en la Isla de Calor que la **DV**. Esta situación no se verifica en las otras BUC (Bandas Urbana y Suburbana), que completan la conformación del ejido urbano analizado.

REFERENCIAS

- Akbari H. Davis S., Dorsano S.,J. and Winert S. (1992) Cooling our Communities – US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division
- 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.
- Mazzeo, N. (1984) Aplicaciones del Diagnóstico Climático a problemas relacionados con el urbanismo. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales. UBA.

- 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 950-605-226-3 Edit. G.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 950-605-073-2 Edit. G.M.A. (FAUD–UNSJ).
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M. *et al* (2007a) Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan Estadística 2000. ISBN 13:978-987-584-079-9 Editorial Nobuko. Buenos Aires
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M. *et al* (2007b) Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan Estadística 2005. ISBN 13:978-987-584-079-9 Editorial Nobuko. Buenos Aires

ABSTRACT: Preliminary results of a two-year research project (CICITCA-UNSJ: 2006-2007) which main objective is to determine the correlations between the Urban Heat Island with the Land Occupation Factor (FOS) and the Volume Density (DV), as a contribution to the bioclimatic urban planning, are exposed. The statistic corresponds to year 2006 registered by the research unit, through a fixed meteorological station as well as by moving climatic measurements over the whole urban metropolitan area of San Juan. The preliminary results, demonstrates the direct influence of the building occupation on the urban difference of temperature, which extends beyond the limits of the urban area, both for winter and summer, resulting an increase of the urban Heat Island when the two urban index increase.

Keywords: heat island, land occupation factor, volume density.