

Isla de calor y ocupación espacial urbana en San Juan, Argentina: análisis evolutivo*

Fecha de recepción: 10 de febrero del 2011 Fecha de aceptación: 11 de abril del 2011

Alberto Papparelli**

Arquitecto

Profesor titular, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)

Universidad Nacional de San Juan, Argentina

apapparelli@unsj.edu.ar

Alejandra Kurbán***

Magíster arquitecta

Profesora titular, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)

Universidad Nacional de San Juan, Argentina

akurban@unsj.edu.ar

Mario Cúnsulo****

Ingeniero Civil

Profesor enseñanza media

Universidad Nacional de San Juan, Argentina

mcunsulo@unsj.edu.ar

Resumen En este artículo se presentan resultados finales de un proyecto de investigación bianual (2009-2010), denominado *Variación histórica y espacial de la isla de calor urbana en zona árida*, financiado por la Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Su objetivo principal es determinar la progresiva modificación de la isla de calor urbana en un periodo de quince años (1995-2010) y la correlación de esta con la ocupación del área urbana del Gran San Juan (GSJ), localizada en la diagonal árida de Sudamérica. Los resultados obtenidos demuestran la interrelación entre la ocupación urbana y la espacialización de la isla de calor en la ciudad

Palabras clave autor Índice urbanístico, isla de calor, zonas áridas, planificación urbana sustentable.

Palabras clave descriptor Gestión ambiental, deterioro ambiental, urbanización, planificación urbana.

* Artículo de investigación científica y tecnológica elaborado a partir del proyecto de investigación bianual (2009-2010): *Variación histórica y espacial de la isla de calor urbana en zona árida*, financiado por la Universidad Nacional de San Juan, Argentina. El equipo de investigación está conformado por el arq. Alberto Papparelli, la arq. Alejandra Kurbán, el ing. Mario Cúnsulo, el arq. Eduardo Montilla, el arq. Andrés Ortega, la arq. Eliana Ríos y la arq. Verónica Ripoll. Duración enero del 2009-diciembre del 2010. Código A 831.

** Profesional principal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental, Área Arquitectura Ambiental. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina. Director organizador, Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental.

*** Profesional principal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental, Área Arquitectura Ambiental. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina.

**** Profesional principal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental, Área Arquitectura Ambiental. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina.

Island heat effect and spatial urban occupancy in San Juan, Argentina: evolution analysis

Abstract In this paper, final result of a bi-annual project (2009-2010) called *Historic and spatial variation of the urban island heat effect in an arid zone*—financed by Universidad Nacional de San Juan, Argentina—are presented. Its main aim is determining the progressive changing of urban island heat effect during a fifteen year period (1995-2010) and its correlation with the occupancy of Great San Juan (GSJ) urban area, located in South America's arid diagonal. Results show the interrelationship between urban occupancy and the spread of island heat effect in the city.

Key words Urban index, island heat effect, arid zones, sustainable urban planning.

Key words plus Environmental management, environmental damage, urbanization, urban planning.

Ilha de calor e ocupação do espaço urbano em San Juan, Argentina: análise evolutiva

Resumo Este artigo apresenta resultados finais do projeto de pesquisa de dois anos (2009-2010), chamado *A variação histórica e espacial da ilha de calor urbana em uma zona árida*, financiado pela Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Seu principal objetivo é determinar a modificação progressiva da ilha de calor urbana por um período de 15 anos (1995-2010) e a correlação desta com a ocupação da área urbana da Gran San Juan (GSJ), localizada na diagonal árida de América do Sul. Os resultados obtidos demonstram a relação entre ocupação urbana e espacialização da ilha de calor na cidade.

Palavras-chave Índice urbanístico, ilha de calor, zonas áridas, planejamento urbano sustentável.

Palavras-chave descritor Gestão ambiental, degradação ambiental, urbanização, planejamento urbano.

Introducción

Los ecosistemas humanos exigen, cada vez más, de la sustentabilidad ambiental; por lo tanto, es prioritario dedicar mayores esfuerzos destinados a paliar uno de los mayores problemas que enfrenta la civilización mundial: el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, producido por su uso indiscriminado como recursos energéticos y específicamente aquel destinado en un alto porcentaje al acondicionamiento edilicio residencial.

Uno de los manejos más accesibles y menos complejos de la energía lo constituye el uso de la *oferta climática* de cada lugar, especialmente aplicado en el urbanismo y la arquitectura, como objetivos económico y tecnológico (Olgyay, 1973).

El clima en zonas áridas, caracterizado por los altos porcentajes de heliofanía relativa, fuerte radiación solar, vientos frescos predominantes del cuadrante sur, bajos tenores de humedad relativa y altos valores de amplitud térmica diaria y estacional, representa un importante potencial para lograr al confort higrotérmico de la población. De esa manera, el uso de energías limpias no contamina ni deteriora el ambiente, al tiempo que se disminuye la dependencia de las energías convencionales provenientes de recursos naturales no renovables.

Por otro lado, la antropización en áreas urbanizadas produce crecientes cambios en las condiciones del soporte físico original, que altera el clima natural o macroescalar, por la ocupación territorial y sus volumetrías edilicias, por las características de la infraestructura vial (Correa, Flores y Lesino,

2003), por la forestación urbana y por el calor antropogénico (Goward, 1981). Dependiendo de cierta densidad poblacional urbana, los cambios serán de mayor influencia según las condiciones higrotérmicas, tanto en espacios abiertos como en interiores edilicios.

Según Akbari, Davis, Dorsano y Winert (1992), para ciudades con más de cien mil habitantes los consumos de energía en horas pico se incrementan en 1,5% a 2% por cada grado centígrado de aumento de la temperatura de bulbo seco. Por ello, las urbanizaciones en ecosistemas áridos imprimen una fuerte presión en la carga climática y el confort higrotérmico de su población (Cúnulo et al., 2006), particularmente influenciado por las diferentes características y tipologías de la distribución espacial de la ciudad.

Esa modificación del clima natural genera condiciones meteorológicas propias de las ciudades y ocasiona el denominado *clima urbano*, caracterizado por generar isla de calor urbana, respecto a las condiciones macroescalares de la región. Estos fenómenos son los principales aspectos de la climatología urbana, por su directa incidencia en la calidad de vida de sus habitantes, principalmente aquellas localizadas en zonas áridas (Oke, 2006).

Algunos autores definen la isla de calor como: “Calentamiento relativo de la ciudad comparado con las condiciones pre-urbanas” (Mazzeo, 1984), “Diferencias entre la temperatura del área urbana y del área no urbana” (Papparelli et al., 1997 y 1998), y “... un ‘oasis invertido’, donde

las temperaturas del aire y de las superficies son más cálidas que aquellas en sus entornos rurales” (Garland, 2011).

La isla de calor urbana tiene una estrecha relación con la masa térmica construida. Por lo tanto, el potencial térmico de la ciudad debe ser considerado en el diseño urbano, a fin de ser aprovechado para mejorar las condiciones higrotérmicas en los espacios abiertos (y en consecuencia en los interiores edilicios), trabajando sobre las tecnologías y características de calzadas y veredas, la forestación urbana, las áreas de estacionamiento vehicular y otros componentes urbanos de menor cuantía (Givoni, 1976).

Es muy generalizado que en estas zonas áridas se desarrollen rápidamente, y casi al azar, planificaciones urbanas que no se fundamentan en la oferta climática de la región, sino que se basa casi con exclusividad en intereses socioeconómicos con marcada especulación inmobiliaria y, en el mejor de los casos, utilizan modelos morfológico-significativos transculturados de otros contextos espaciales y socioculturales.

Metodología

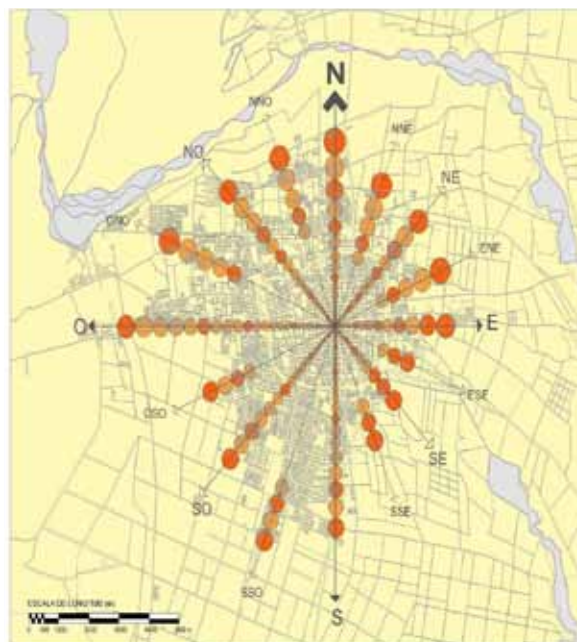
Se ejecuta el estudio tomando como base gráfica el plano de la ciudad de San Juan (GSJ, Argentina) para el 2010, con relevamientos planialtimétricos de nodos urbanos, determinados en trabajos anteriores. Se cuenta con resultados obtenidos con la misma metodología, para los años 1995, 2000 y 2005 (Papparelli, et al., 2000, 2007a y 2007b). Estos se adoptan como base de comparación para las variaciones históricas y espaciales de dicha trama urbana, correlacionada con las variaciones de isla de calor en el mismo periodo.

Índices urbanísticos y área urbana

Para la delimitación del área urbana se utilizaron los valores de *factor de ocupación del suelo* (FOS),

representativos de cada nodo urbano muestra (figura 1), por ser este índice urbanístico el que mejor representa las características propias de la ocupación del territorio. Se procesan dichos valores de FOS con un modelo tridimensional al que se le ejecutan cortes horizontales con equidistancias de 5%. Así se obtuvieron isolíneas representativas de sus formas de distribución espacial. La isolínea correspondiente al FOS igual a 5% se asume como el límite urbano. Al superponer esta isolínea sobre la plancheta gráfica de la trama digitalizada de la ciudad con igual escala de dibujo se regulariza en función de la estructura vial del GSJ, por ser esta donde se asumen los límites geográficos, políticos y administrativos de una ciudad.

Figura 1
Distribución de nodos urbanos



Fuente: elaboración propia.

Mediciones térmicas de punto fijo

Las mediciones climáticas en punto fijo se realizan por medio de una estación meteorológica, localizada en el área eminentemente urbana del GSJ, con un FOS \cong 70%. El instrumental utilizado consta de una estación electrónica digital, con un sistema de adquisición de datos y registro

histórico digital, que permite el acceso a los datos almacenados en un sistema desde un computador. La estación cuenta con sensores de velocidad de vientos, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, pluviometría y radiación solar global.

Mediciones térmicas itinerantes del Gran San Juan (Argentina)

Los registros climáticos itinerantes se ejecutan con un programa de mediciones (figura 2) sobre 48 nodos urbanos seleccionados del conjunto total de 242 nodos urbanos, los que se determinaron en investigaciones anteriores, ejecutados periódicamente desde 1988 hasta el presente. El detalle de los registros es el siguiente:

- › Diez por rumbo (N-S y E-O) = 20 puntos de medición.
- › Diez por medios rumbos (NE-SO y SE-NO) = 20 puntos de medición.

Figura 2
Programa de recorridos para mediciones climáticas itinerantes



Fuente: elaboración propia.

- › Uno por cuarto rumbo (N-NE; E-NE; E-SE; S-SE; S-SO; O-SO; O-NO; N-NO) = 8 puntos de medición.

Las mediciones de temperatura de bulbo seco (T °C) se obtienen por medio de equipos portátiles digitales, con precisión 0,1 °C, y se registran con intervalos de cinco minutos, entre nodo y nodo. Los 48 nodos representan un muestreo de 19,8% del total de los nodos urbanos del relevamiento planialtimétrico del GSJ. Los ejes de las 16 orientaciones cardinales se usan como soporte geográfico, a lo largo de los cuales se posiciona el centro de cada nodo urbano. Esto asegura un muestreo confiable y representativo de todo el ejido urbano del GSJ.

Correcciones horarias e históricas de mediciones térmicas itinerantes

Debido a la diferencia temporal de cincuenta minutos que se produce entre el primero y el último registro de la medición térmica itinerante, se realizan correcciones horarias por medio de los valores de T °C registrados minuto a minuto en la estación meteorológica fija, para los mismos días de medición itinerante. Se obtienen así valores representativos de los horarios centrales (horas exactas) en las mediciones de 9:00 h, 15:00 h y 21:00 h. Con estos datos se ejecutan curvas de ajuste logarítmico. Por medio de sus ecuaciones representativas se obtienen los valores de variación térmica cada cinco minutos y se calculan los coeficientes de corrección para referenciar la toma realizada en cada nodo urbano muestra.

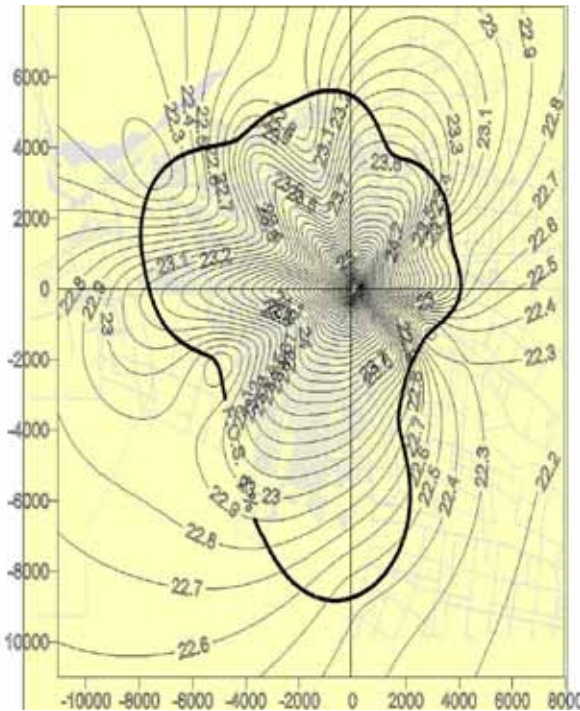
A fin de evitar posibles influencias circunstanciales de un año climáticamente atípico que produjeran alteraciones globales a las mediciones térmicas, los valores registrados en las mediciones itinerantes se contrastan con una estadística de quince años (1995-2010), medida en la misma estación fija. Se obtiene así un porcentaje de corrección que se aplica a cada una de las tomas

realizadas cada cinco minutos, luego de haber sido ajustadas con la corrección horaria. Esto permite contar con una base de datos en tiempo real para los tres horarios centrales mencionados.

Determinación de isotermas urbanas

Con los valores registrados de T °C en cada uno de los 48 nodos urbanos, se construye un modelo espacial del comportamiento de dicha variable climática. Esta información se procesa mediante un *software* de interpolación de datos, para convertir la información puntual disponible, en información continua más ajustada a la realidad y comparable con otros datos territoriales. Utilizando un modelo de base radial se realizaron cortes horizontales con equidistancias de $0,25$ °C y se obtuvieron las isotermas urbanas. Las figuras 3 y 4 muestran las isotermas de verano e invierno del 2010.

Figura 3
Isotermas de verano del 2010 e isolinia del límite urbano del Gran San Juan

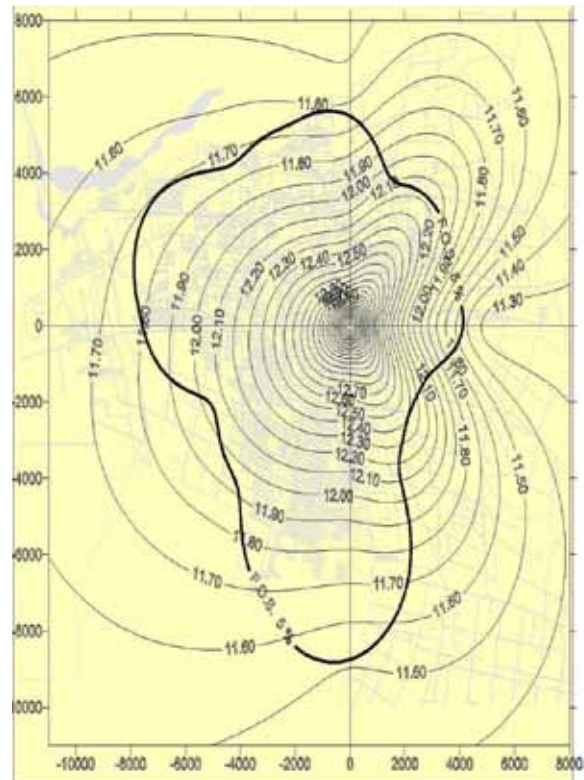


Fuente: elaboración propia.

Determinación de isóneas de isla de calor: invierno y verano

Tomando como base referencial el primer nodo no urbano de cada orientación cardinal, se calculan las *diferencias* de temperatura ΔT °C con los correspondientes a los nodos urbanos en la misma dirección. Los valores de ΔT °C obtenidos se procesan para convertir la información puntual disponible en información continua. Utilizando un modelo de base radial se realizan cortes horizontales con equidistancias de $0,25$ °C para la ΔT °C. Esto permite obtener isóneas representativas de la forma de distribución de dichas ΔT °C, para invierno y verano. En general, estas isóneas resultan concéntricas al origen de los ejes de referencia de la ciudad. Como ejemplo se presentan las curvas del 2010.

Figura 4
Isotermas de invierno del 2010 e isolinia del límite urbano del Gran San Juan



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1
Distancias entre el centro de la ciudad y el límite de la isla de calor

Orientación cardinal	Alcance (m)							
	1995		2000		2005		2010	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Norte	5771,9	5242,6	6033,7	5365	6079,4	5983,7	6069,9	5898,5
Noreste	4790,3	5264,1	5299,9	5665,9	5082,5	5386,9	5457,0	4881,3
Este	5148,5	5163,8	5913,3	5405,5	4573,5	4511,4	4613,9	4314,0
Sureste	4053,3	4213,1	3917,6	3772,0	4256,7	4243,2	4147,6	4059,0
Sur	7487,1	7119,5	7162,6	7780,0	10361,2	9644,8	9428,0	8968,0
Suroeste	7326,5	7272,4	7290,4	7433,6	6975,5	7239,9	7391,6	7505,0
Oeste	9076,1	9250,8	9178,0	8775,1	8295	8528,1	8302,3	9094,5
Noroeste	5681,8	6089,1	6960,3	5898,3	6827,5	6810,8	7479,5	6874,4
Promedio	6166,9	6201,9	6469,5	6261,9	6556,4	6543,6	6611,2	6449,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Diferencia porcentual entre la distancia de alcance de la isla de calor y el límite urbano.

Orientación cardinal	Extensión (%)							
	1995		2000		2005		2010	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Norte	28,4	14,3	34,8	16,6	11,4	8,8	10,4	6,8
Noreste	23,2	26,1	42,5	22,0	18,4	20,3	23,9	9,8
Este	18,8	16,1	23,5	11,4	15,5	12,2	11,6	4,2
Sureste	35,0	28,7	45,0	28,4	33,5	24,8	32,4	22,8
Sur	22,1	13,8	33,1	30,8	17,3	8,4	7,8	2,5
Suroeste	33,9	24,7	26,4	22,4	19,8	19,6	26,3	22,0
Oeste	27,1	22,8	13,9	8,2	9,1	10,9	10,0	17,0
Noroeste	23,4	24,4	41,0	16,3	14,0	12,1	24,5	12,6
Promedio	26,5	21,4	32,5	19,5	17,4	14,6	18,4	12,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3
Intensidad de la isla de calor

Intensidad máxima de la isla de calor (°C)	1995		2000		2005		2010	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
	2	1,25	5	3	4	3,75	3,75	2,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4
Distancias entre el centro de la ciudad y el límite urbano

Orientación cardinal	Distancia desde el centro al límite urbano (m)			
	1995	2000	2005	2010
Norte	4455	5332	5442	6063
Noreste	3825	4249	4282	4576
Este	3723	3902	3966	4107
Sureste	3000	3044	3199	3280
Sur	6200	6556	9000	10052
Suroeste	5180	5803	5825	6248
Oeste	6520	7495	7598	8282
Noroeste	4540	4997	5973	6603
Promedio	4680	5172	5660	6151

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4 se presentan las distancias desde el centro urbano al límite de la ciudad en las ocho orientaciones cardinales principales.

Las correlaciones existentes entre los tres parámetros de la isla de calor en su evolución temporal en el periodo estudiado y las respectivas espacializaciones del área urbana se presentan en las figuras 7, 8 y 9 para verano, y en las figuras 10, 11 y 12 para invierno.

Conclusiones

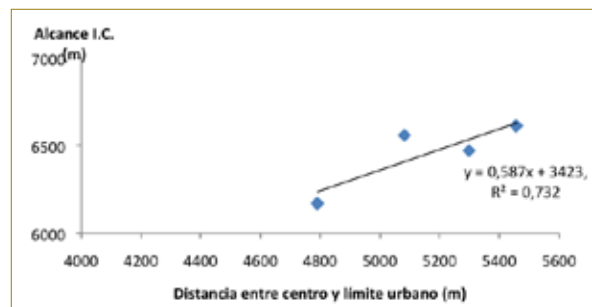
Existen correspondencias, en invierno y verano, entre la ocupación urbana y la modificación que

la ciudad produce a la temperatura macroescalar, verificadas en las consideraciones que a continuación se exponen. La isolínea representativa del límite urbano presenta un patrón similar a la isolínea límite de la isla de calor ($\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} = 0$).

Las curvas que representan la modificación térmica del clima macroescalar que se produce en un área urbana siempre excede al límite urbano. Esto indica que el efecto térmico del área urbana no se limita sólo a su ejido, sino que afecta a sus zonas perimetrales colindantes.

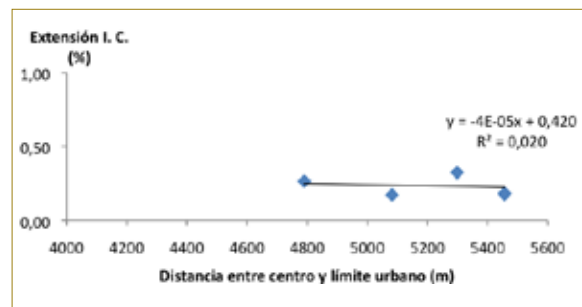
La correlación entre el alcance de la isla de calor y la distancia al límite urbano muestra una tendencia

Figura 7
Alcance isla de calor: verano



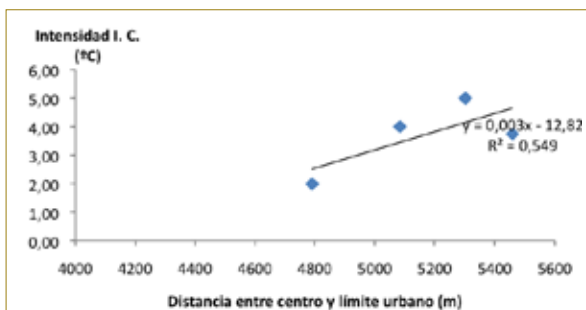
Fuente: elaboración propia.

Figura 8
Extensión isla de calor: verano



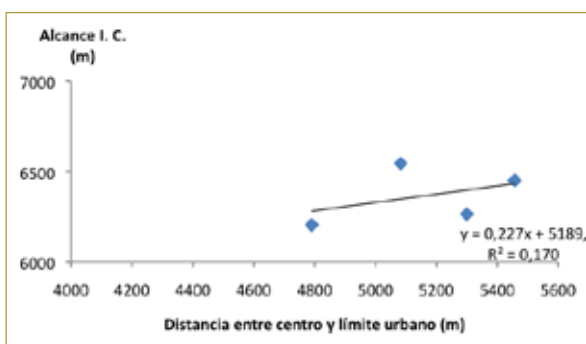
Fuente: elaboración propia.

Figura 9
Intensidad isla de calor: verano



Fuente: elaboración propia.

Figura 10
Alcance isla de calor: invierno

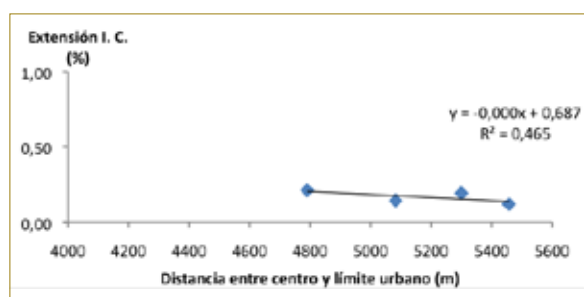


Fuente: elaboración propia.

creciente. Ello indica que a medida que se incrementa espacialmente el área urbana, aumenta la distancia máxima desde el centro principal hasta la isolínea de $\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} = 0$. La intensidad de la isla de calor aumenta según el incremento de la ocupación urbana. Dada la tendencia generalizada en relación con el crecimiento de las ciudades, los planificadores urbanos deberán considerar como una importante variable microclimática de estudio este aumento en la diferencia entre la temperatura urbana y la no urbana.

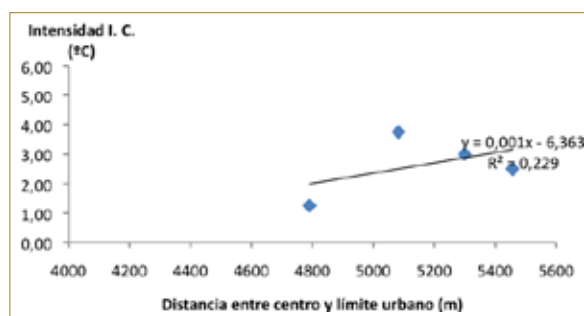
Las características de la ocupación espacial de la ciudad (masa térmica, factores de ocupación del suelo, dimensiones de calles, distribución y tipo de forestación) y el calor antropogénico (cantidad de habitantes y consumo energético), que originan el comportamiento de la isla de calor como

Figura 11
Extensión isla de calor: invierno



Fuente: elaboración propia.

Figura 12
Intensidad isla de calor: invierno



Fuente: elaboración propia.

ha quedado demostrado, las están estudiando los autores, para identificar sus respectivos aportes a tal fenómeno.

Bibliografía

Akbari, H.; Davis, S.; Dorsano, S. J. y Winert, S. (1992). *Cooling our communities: A guidebook on tree planning and light colored surfacing*. Berkeley: US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.

Correa, E. N.; Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. *Averma*, 7 (2).

Cúnsulo, M.; Papparelli, A.; Kurbán, A.; Montilla, E. y Herrera, C. (2006). Impacto de la

edificación en el clima urbano árido. *Averma*, 10 (11), 1-7.

Garland, L. (2011). *Heat islands*. London: Earthscan.

Givoni, B. (1976). *Man, climate and architecture, building research station*. London: Applied Science Publishers.

Goward, S. N. (1981). Thermal behavior of urban landscapes and the urban heat island. *Physical Geography*, 2, 19-33.

Mazzeo, N. (1984). *Aplicaciones del diagnóstico climático a problemas relacionados con el urbanismo*. Buenos Aires: UBA.

Oke, T. R. (2006). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 179-190.

Olgyay, V. (1973). *Design with climate*. New Jersey: Princeton University Press.

Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M. y Montilla, E. (1998). Interdependencia entre isotermas

e isohumas con la modalidad de la estructura urbana. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2 (2), 11-17.

Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E. y Ríos, E. (2000). *Características de la distribución espacial en la ciudad de San Juan: estadística 1995*. San Juan: FAUD-UNSJ.

Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E. y Ríos, E. (2007a). *Características de la distribución espacial en el Gran San Juan: Estadística 2000*. Buenos Aires: Nobuko.

Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E. y Ríos, E. (2007b). *Características de la distribución espacial en el Gran San Juan: estadística 2005*. Buenos Aires: Nobuko.

Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E. y Herrera, C. (1997). Variación higrótérmica entre área urbana y no urbana en una zona árida: ciudad de San Juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1, 225-228.

