

ISLA DE CALOR URBANA. DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURAS DENTRO DEL AREA METROPOLITANA DE MENDOZA.

E. Correa^{1*}; C. De Rosa^{2*}; G. Lesino^{2**}.

* Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. LAHV-INCIHUSA-CRICYT-CONICET

Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 Mendoza. Tel 0261 4287370.

Fax: 0261 4287370 E-mail: ecorrea@lab.cricyt.edu.ar

**INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa.– CONICET. Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital – Argentina. Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255489 E-mail:

lesino@unsa.edu.ar

RESUMEN: Las características de los espacios urbanos, tales como: la morfología, las propiedades térmicas de los materiales, el grado de forestación, la intensidad del tránsito vehicular y las fuentes de calor antropogénico, modifican el balance térmico de la ciudad siendo responsables del efecto conocido como “isla de calor urbana” (ICU). La cuantificación de este fenómeno es información fundamental para analizar el incremento del consumo de energía y de los niveles de contaminación vinculados a los procesos de urbanización. A partir de su diagnóstico y análisis es posible proponer estrategias que permitan minimizar el impacto del crecimiento de la ciudad sobre el clima local.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio dirigido a cuantificar y analizar la intensidad de la isla de calor urbana dentro del Área Metropolitana de Mendoza (AMM) y su distribución geográfica. La investigación está basada en mediciones realizadas por estaciones fijas dentro del área urbana por el período de un año. Los resultados muestran que el desarrollo del fenómeno es más intenso durante las horas de la noche, especialmente antes de la salida del sol, alcanzando valores máximos de 10.6 °C y que se desarrolla durante todas las estaciones. Durante la tarde la ciudad se encuentra más fresca que los alrededores dando lugar al fenómeno opuesto conocido como isla de frescor urbana (IFU).

Palabras clave: isla de calor urbana, Área Metropolitana de Mendoza, sustentabilidad urbana, perfiles de temperatura, geoestadística.

INTRODUCCIÓN

Los efectos modificantes de la urbanización sobre el clima de la región se expresan principalmente mediante cambios en los perfiles de temperatura y de viento. El consumo urbano de energía contribuye a crear núcleos de calor que pueden cambiar el perfil climático local dando origen a un fenómeno llamado isla de calor urbana.

El incremento de la temperatura urbana tiene un efecto directo en el consumo de energía y las condiciones de confort térmico de los espacios residenciales tanto en verano como en invierno; también propicia el aumento de la contaminación ambiental. Por esta razón la cuantificación de la isla de calor urbana es de suma importancia para evaluar el impacto que las decisiones urbanísticas implementadas en la ciudad tienen sobre el clima.

Se sabe que la isla de calor en el área metropolitana de Mendoza (AMM) es un fenómeno esencialmente nocturno (Correa, 2005) y el enfriamiento pasivo en las áreas urbanas está directamente influenciado por la distribución de los perfiles de viento y temperaturas en la ciudad, por tanto es necesario para el diseño efectivo de estrategias de enfriamiento pasivo un buen conocimiento de las características del clima urbano.

En estudios anteriores (Correa, et al, 2004-2005), se han mostrado los resultados de la caracterización del clima urbano a través de mediciones móviles dentro del AMM. Aunque el monitoreo de la isla de calor urbana por el método de transectas resulta ser uno de los más utilizados a nivel nacional e internacional (Yamashita et al.1994; Unger et al, 2001) ofrece gran cantidad de limitaciones en cuanto al tratamiento de los datos obtenidos debido al desfase temporal en la adquisición de los mismos y la imposibilidad de contar con datos en forma continua que permitan construir las curvas de temperatura y humedad de los espacios monitoreados.

Por otra parte; el método de mediciones móviles por transectas permite caracterizar bien el fenómeno pero no es bueno para cuantificarlo. Estudios comparativos de la aplicación de ambos métodos muestran que las diferencias entre la temperatura del centro de la ciudad y las zonas periféricas registradas tanto durante el periodo de calentamiento como de enfriamiento se alejan hasta un 60 %. En general se observa que la máxima diferencia de temperatura registrada a partir de mediciones móviles coincide con los valores medios de los registros mediante estaciones fijas, lo que indicaría que las medidas obtenidas a partir de las mediciones móviles siguen bien “la tendencia” del fenómeno (Correa, 2006).

* Becaria Posdoctoral CONICET

** Investigador CONICET

Si se quiere analizar el efecto de la urbanización sobre los consumos de energía, la temperatura del aire, las posibilidades de acondicionamiento bioclimático, etc. o bien cuantificar el fenómeno de la isla de calor para el área de estudio; es necesario evaluar el comportamiento de la curva de temperatura a lo largo del día y se debe contar con registros continuos.

Los resultados que se presentan en este trabajo forman parte del proyecto de investigación: PICT 13-12734 -“Calidad de vida urbana y desarrollo urbano sustentable en ciudades de clima árido. El caso del área metropolitana de Mendoza”- financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación. Entre uno de sus objetivos se encuentra llevar a cabo un estudio sistemático del clima urbano dirigido en esencia a estudiar la isla de calor del Área Metropolitana de la provincia de Mendoza, Argentina, y caracterizar sus rasgos generales, como son la frecuencia e intensidad del fenómeno, su distribución espacial, la localización del máximo térmico y el análisis de sus variaciones temporales y analizar la influencia de factores meteorológicos, topográficos y morfológicos en el desarrollo de la misma; con el fin de diagnosticar la situación actual y proponer estrategias de desarrollo ambientalmente conscientes.

IMPACTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El área metropolitana de Mendoza se presenta como un caso de estudio de singular relevancia debido a una serie de características entre las que pueden citarse:

- Su importante crecimiento demográfico y urbano: durante la última década su población ha crecido aproximadamente un 14%, y el 80% vive en áreas urbanas.
- Sus características climáticas: sequedad, elevada heliofanía y escasa frecuencia e intensidad de vientos y precipitaciones; además de una anomalía térmica positiva debido a la altura y las frecuentes inversiones de temperatura son condiciones óptimas para la formación de la isla de calor.
- Sus características orográficas y tipo de clima: emplazamiento sobre ladera y clima mediterráneo árido de desierto, no presentan antecedentes en estudios del fenómeno a nivel mundial.
- La ciudad cuenta además con un clima local especial, debido a la acción del hombre, que ha originado un oasis artificial al pie de la Cordillera de los Andes con una importante forestación del área urbana, sin embargo sus ventajas y desventajas sobre clima urbano no han sido investigadas en profundidad.

METODOLOGÍA

Con el objeto de monitorear el comportamiento térmico de la ciudad de manera continua se han instalado en 16 puntos dentro del AMM, estaciones automáticas de medición de temperatura y humedad, que registran las condiciones del cañón urbano cada 15 minutos. El período de monitoreo comprende los meses de enero de 2005 a enero de 2006. La figura 1 muestra la distribución de las estaciones fijas dentro del AMM. La localización de las 16 estaciones se determinó a partir del análisis del comportamiento térmico de 69 estaciones de medición seleccionadas previamente y utilizadas en el monitoreo del clima urbano de la ciudad a partir de mediciones móviles (Correa, et al, 2005).



Figura 1. Distribución espacial y disposición de las estaciones de monitoreo dentro del área de estudio.

Las estaciones instaladas son del tipo H08-003-02, con dos canales internos: Temperatura, rango de medida -20° a 70° °C, precisión $\pm 0.7^{\circ}$ a 21° °C y Humedad Relativa, rango de medida 25% a 95% (user-replaceable RH sensor), precisión: $\pm 5\%$ RH. Los sensores se han colocado a una altura de 2.5 m desde el nivel de la calle (Oke, 2004), dentro de cajas perforadas de PVC blanco a fin de evitar irradiación y asegurar una adecuada circulación de aire.

Los datos registrados han sido interpolados y representados gráficamente mediante sistemas de información geográfica.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La tabla 1 muestra los valores máximos, mínimos y medios de la intensidad de la isla de calor desarrollada durante el periodo de monitoreo.

Mes	ΔT_{ur-ru}	Transecta C-N			Transecta C-O			Transecta C-E			Transecta C-S		
		°C	día	hora	°C	día	hora	°C	día	hora	°C	día	hora
enero	$\Delta T_{máx.}$	7.3	17	9.45	8.1	16	0.30	6.5	16	2.00	9.6	17	0.30
	$\Delta T_{mín.}$	-7.8	18	17.00	-4.5	17	13.00	-4.6	30	12.00	-4.37	24	11.00
	ΔT_{media}	1.6			3.8			2.3			3.9		
	$-\Delta T_{media}$	-1.15			-0.8			-0.8			-1.6		
febrero	$\Delta T_{máx.}$	6.9	26	5.00	7.7	5	0.00	6.2	7	0.30	8.1	4	6.45
	$\Delta T_{mín.}$	-3.3	25	18.15	-4.5	27	13.15	-5.6	11	15.45	-6.2	27	10.45
	ΔT_{media}	2.0			3.5			1.9			3.9		
	$-\Delta T_{media}$	-1.2			-1.6			-1.1			-1.9		
marzo	$\Delta T_{máx.}$	7.3	19	6.00	6.9	8	22.45	6.3	23	5.30	8.4	11	2.30
	$\Delta T_{mín.}$	-6.2	10	17.00	-7.7	23	12.45	-7.4	10	10.00	-5.5	28	16.30
	ΔT_{media}	3.5			4.6			2.7			4.6		
	$-\Delta T_{media}$	-2.4			-3.6			-1.2			-2.7		
abril	$\Delta T_{máx.}$	9.1	9	5.30	7.3	8	20.00	6.6	10	8.00	9.6	9	7.00
	$\Delta T_{mín.}$	-4.6	4	16.15	-8.9	8	11.45	-6.1	30	10.00	-5.87	5	16.45
	ΔT_{media}	4.8			4.7			3.8			6.0		
	$-\Delta T_{media}$	-1.5			-3.8			-1.2			-1.9		
mayo	$\Delta T_{máx.}$	8.5	27	5.00	7.3	20	20.15	6.7	21	2.00	8.7	21	5.15
	$\Delta T_{mín.}$	-5	17	12.30	-6.6	10	14.30	-4.3	6	10.45	-4.6	10	14.45
	ΔT_{media}	4.4			4.6			3.1			4.4		
	$-\Delta T_{media}$	-1.2			-1.9			-0.8			-1.2		
junio	$\Delta T_{máx.}$	8.1	2	4.30	7.8	1	0.15	6.4	1	1.30	7.8	4	4.00
	$\Delta T_{mín.}$	-3.4	4	16.00	-5	8	14.15	-3.1	5	11.00	-2.7	2	12.15
	ΔT_{media}	4.8			5.1			3.1			5.6		
	$-\Delta T_{media}$	-1.5			2.3			-0.8			-1.1		
julio	$\Delta T_{máx.}$	8.3	26	2.15	5.8	24	12.00	5.4	31	1.00	9.4	26	8.15
	$\Delta T_{mín.}$	-4.21	23	16.15	-7.25	24	16.45	-3.8	30	15.30	-8.4	12	16.30
	ΔT_{media}	4.3			1.7			1.9			5.1		
	$-\Delta T_{media}$	-1.5			-2.6			-1.1			-1.14		
agosto	$\Delta T_{máx.}$	8.8	21	7.30	4.6	8	11.45	4.5	18	8.00	8.1	20	6.00
	$\Delta T_{mín.}$	-5.3	16	15.15	-6.5	20	16.15	-5.3	20	11.30	-4.2	12	13.30
	ΔT_{media}	3.1			1.2			1.9			3.6		
	$-\Delta T_{media}$	-1.1			-1.9			-1.5			-1.1		
setiembre	$\Delta T_{máx.}$	7.9	26	6.30	7	18	23.00	5.7	16	2.30	8.7	16	6.00
	$\Delta T_{mín.}$	-6.1	23	16.45	-3.84	25	14.45	-5	29	13.00	-6.13	21	10.00
	ΔT_{media}	5.4			5.0			2.5			4.3		
	$-\Delta T_{media}$	-1.9			-1.2			-1.5			-0.8		
octubre	$\Delta T_{máx.}$	8.8	20	5.45	8.1	11	23.15	6.6	10	6.30	10.4	20	3.00
	$\Delta T_{mín.}$	-7.5	11	18.30	-5	31	14.15	-6.6	11	18.45	-8.4	27	17.00
	ΔT_{media}	3.5			4.7			2.7			5.3		
	$-\Delta T_{media}$	-1.2			-1.5			-1.5			-2.0		
noviembre	$\Delta T_{máx.}$	7.7	25	6.15	7	20	22.15	4.2	25	6.15	8.5	2	6.15
	$\Delta T_{mín.}$	-4.6	16	17.15	-5.8	26	14.15	-7.36	23	14.45	-8.6	6	17.00
	ΔT_{media}	2.7			4.6			1.6			5.1		
	$-\Delta T_{media}$	-1.1			-1.9			-2.8			-4.1		
diciembre	$\Delta T_{máx.}$	8.6	9	23.15	10.6	23	20.00	7.6	27	21	10.3	24	0.30
	$\Delta T_{mín.}$	-4.7	22	15.30	-5.2	22	15.15	-6.9	31	16.15	-7.5	29	17.45
	ΔT_{media}	2.9			4.5			2.2			5.0		
	$-\Delta T_{media}$	-1.0			-1.1			-1.2			-1.6		

Tabla 1 Valores máximos, mínimos y medios de intensidad de isla de calor. Hora de registro, para las distintas direcciones de desarrollo de la ciudad monitoreadas en forma continua.

El análisis de la tabla revela la existencia de una isla de calor dentro del área metropolitana cuya intensidad máxima alcanza los 10.6 °C en el sentido de la transecta oeste para el mes de diciembre. Durante todo el año evaluado las máximas intensidades mensuales registradas oscilan entre los 8 y 10 °C. El valor mínimo de isla de calor corresponde a 4.2°C, durante el mes de noviembre, con respecto al borde este de la ciudad.

La ocurrencia de la máxima intensidad del fenómeno se da generalmente durante el período de enfriamiento entre las 20 y 8 horas, dependiendo de: la estación del año, la dirección evaluada (topografía y posición respecto de las brisas locales) y de las condiciones meteorológicas precedentes al día de registro.

Durante la tarde se desarrolla lo que se denomina “isla de frescor urbano” (IFU), es decir: la ciudad se encuentra más fresca que los alrededores. Se registra una IFU máxima de -8.6°C en el sentido sur respecto del centro de la ciudad durante el mes de noviembre y una mínima de -2.7°C para el mes de junio en el mismo sentido de la ciudad. Esto demuestra que la isla de frescor urbana está relacionada con el grado de insolación de los alrededores del AMM; cuando disminuye la intensidad de la radiación disminuye la intensidad de la isla de frescor desarrollada. El horario de registro de máxima intensidad de isla de frescor urbana está comprendido entre las 11 y las 18 horas, período de calentamiento de la ciudad. Como sucede con la isla de calor urbana (ICU), la hora de ocurrencia dentro de este periodo depende de la historia meteorológica de los días que preceden el día de registro, la dirección evaluada y la estación del año. En general las máximas IFU se registran en la dirección O durante el invierno y en la dirección S durante el verano.

En cuanto al comportamiento de las medias, se observa que en el 50% de los casos durante el período de enfriamiento la ciudad se encuentra entre 1.5 y 6°C más cálida que los alrededores y la ciudad se encuentra entre 1 y 4°C más fresca que los alrededores.

Distribución diaria de la temperatura del aire dentro del AMM.

Se ha obtenido la distribución horaria de temperaturas para los días típicos (despejados y condiciones de viento calmo) de las cuatro estaciones del año de monitoreo y en los cuatro sentidos de desarrollo de la ciudad evaluados: N, S, E y O. En la figura 2 se muestran a modo de ejemplo los resultados obtenidos para el caso de verano. Cada una de las gráficas ha sido identificada con la sigla que representa su ubicación, por ejemplo C-N indica transecta centro-norte, del mismo modo para las demás direcciones C-S, C-O, C-E. Dentro de las gráficas las referencias indican a que estación de monitoreo (ver figura 1) dentro de la dirección evaluada corresponde la curva térmica graficada. Se presentan además, para el caso de verano y para los dos ejes de desarrollo de la ciudad (O-E y N-S) los perfiles de temperatura a distintas horas del día (6.00; 14.00; 22.00). En el eje de abscisas se ubican las distintas estaciones de monitoreo comprendidas en el sentido evaluado (ver figura 1) y sobre el eje de ordenadas la temperatura.

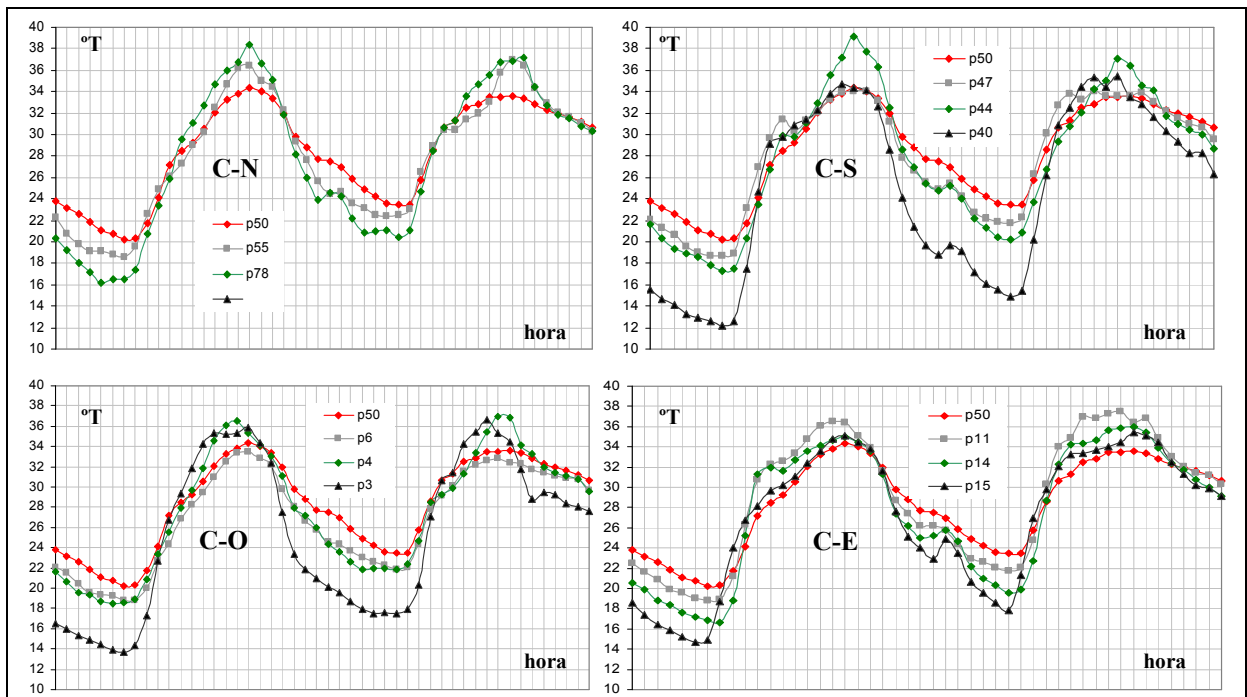


Figura 2 Distribución horaria de temperatura para cada estación de monitoreo que compone cada transecta evaluada. Verano 16-17 enero de 2005

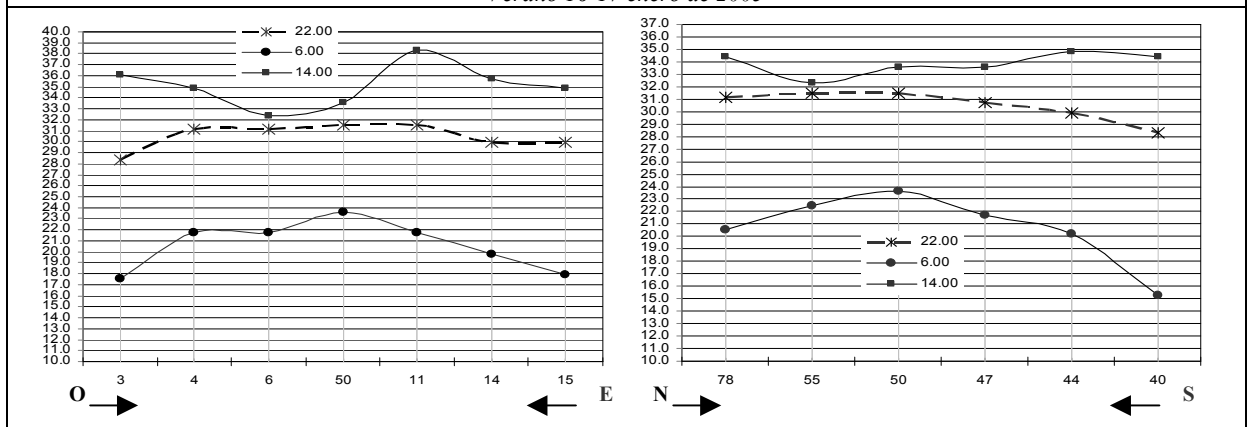
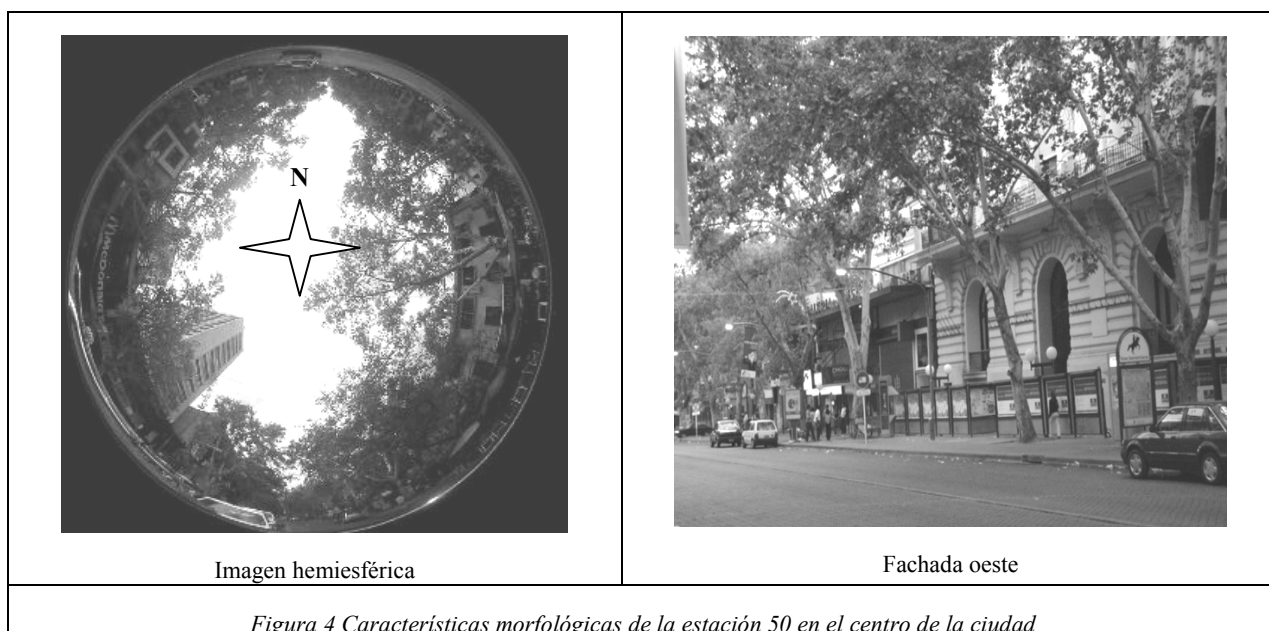


Figura 3. Perfil de temperaturas a lo largo del eje O-E y N-S de desarrollo de la ciudad. Verano 17 enero de 2005

El análisis de la forma de las curvas que se presenta en las figuras muestra una característica importante: Dentro de la complejidad del fenómeno y la interacción de múltiples variables dentro del espacio urbano que determinan la temperatura del aire, las curvas horarias de distribución de temperatura del aire para las distintas estaciones parecen seguir durante el periodo de calentamiento la forma de la curva de radiación para distintas orientaciones de fachadas aunque desfasadas. El estudio de los diferentes casos muestra una marcada relación entre la forma de la curva de la temperatura del aire, la radiación solar y de las obstrucciones presentes en el espacio urbano, esto responde a las características del clima local caracterizado por intensos niveles de radiación solar en todas las estaciones.

Por citar un caso: La curva de temperatura del aire en la estación 50 (centro de la ciudad) durante el verano parece seguir el comportamiento de la curva de radiación correspondiente a una superficie horizontal (evaluar simetría de la curva respecto a las máximas) y en el resto de las estaciones del año cuando el sol está más bajo se comporta como una fachada Este sombreada. Como se trata de una avenida -cañón vial de 30 m de ancho- cuando el sol está más alto, durante el verano, la superficie horizontal se encuentra más intensamente irradiada. Cabe destacar que en verano la superficie horizontal es la que presenta mayor cantidad de radiación incidente con respecto a las demás orientaciones de fachada. En el resto de las estaciones cuando el sol está más bajo, el comportamiento de la curva de temperatura puede ser explicado por dos características configuracionales: a) mayor altura de los edificios de la fachada este, lo cual provoca sombra sobre la fachada oeste y b) mayor protección forestal sobre la fachada oeste, además la fachada oeste es más clara por lo que acumula menos cantidad de calor (ver figura 4).



El comportamiento de la curva de temperatura del aire en las estaciones de monitoreo que componen las distintas direcciones evaluadas presentan diferencias notorias especialmente durante el período de enfriamiento que comienza alrededor de las 19 horas consecuente con la puesta del sol para los días analizados (20.42 horas).

La diferencia en la velocidad de enfriamiento responde claramente a la configuración de los distintos espacios. Aquellos con mayor masa de acumulación (densidad edilicia), menor factor de visión de cielo (SVF), forestados con especies de primera magnitud, presentan menores posibilidades de enfriamiento convectivo y radiativo y como consecuencia se enfrían más lentamente e inversamente. (Ver figura 2 comportamiento de estación 50 que representa el centro de la ciudad: SVF de verano =0.15, densidad edilicia mayor a 3 m³/m², altura media de los edificios de 12.15 m)

Los puntos en las afueras de la ciudad (estación 78, 40, 3 y 15) presentan un enfriamiento rápido durante las primeras horas hasta la medianoche, luego la velocidad de enfriamiento va disminuyendo proporcionalmente a las propiedades térmicas de los materiales que los componen, la rugosidad del terreno de emplazamiento, los factores de visión de cielo y la altitud. Como ejemplo, ver en la figura 2 el comportamiento de las estaciones 78 y 15 en la transecta C-N y C-E respectivamente, que corresponden a testigos sobre accesos vehiculares versus el comportamiento de la curva de las estaciones 3 y 40 en la dirección C-O y C-S, que se hallan emplazados en espacios fuertemente vegetados, el Parque General San Martín al Oeste, y un sector residencial al sur de alta relación de espacios verdes con respecto a su densidad edilicia.

Comparando el comportamiento de las curvas correspondientes a la estación 78 y 15 con características morfológicas muy parecidas -están situadas sobre un acceso vehicular, presentan un factor de visión de cielo en verano de 0.95 y 0.99 respectivamente, localizados ambos en las afueras de la trama urbana consolidada (buena condición de ventilación)- se observa que el punto 15 se enfría dos grados más que el punto 78. Esto se explica debido a diferencias en las características térmicas de los materiales que componen los pavimentos, hormigón estación 78 y asfalto en la estación 15. El hormigón de mayor calor específico y densidad, en iguales condiciones de irradiancia acumula mayor cantidad de calor. Durante el calentamiento a partir de la salida del sol (7.00 h.) como el hormigón, pavimento de la estación 78, tiene mayor difusividad

térmica, su temperatura superficial sube más lentamente (ver en la figura 2 la diferencia de comportamiento durante el inicio del periodo de calentamiento para curva 78 y 15 que muestra la diferencia de inercia térmica de ambos materiales).

Para todas las direcciones evaluadas se registra un defasaje de una hora entre la ocurrencia del mínimo en las afueras de la ciudad y el centro de la misma. Durante el periodo de calentamiento las máximas están de acuerdo al factor de visión de cielo (condición de sombra) de las estaciones, las características térmicas del material de la envolvente horizontal, y la altura sobre el nivel del mar.

El periodo de ocurrencia de las máximas coincide para las distintas estaciones de monitoreo dentro de las direcciones evaluadas durante el verano, presentándose alrededor de las 17 horas desfasadas 3 horas del medio día solar (máximo de radiación). Solo en la transecta C-O se registra un defasaje de 1 h. entre la ocurrencia de la máxima para el testigo al oeste de la ciudad y las estaciones dentro del área urbana, esto sucede porque el punto testigo se ubica en el parque, intensa cubierta vegetal que no posee masa de acumulación, mientras que el resto de los testigos se hallan o bien sobre el pedemonte, cerca de accesos vehiculares o inmersos en una trama residencial poco consolidada (presentan masa de acumulación).

Los perfiles de temperatura a distintos horarios del día en los dos ejes de desarrollo de la ciudad (ver figura 3) muestran entre las 0.30 y las 6.00 de la mañana, un claro desarrollo del fenómeno, semejante a la forma característica expuesta en la literatura internacional (Oke, 1984), la cual presenta un máximo en el centro de la ciudad (punto 50), una meseta o periodo de transición en las áreas suburbanas y un mínimo en las afueras del área metropolitana.

Durante las primeras horas después de la puesta de sol (22 h.), durante el verano los perfiles en ambos ejes muestran poca diferenciación entre el centro de la ciudad y los bordes, encontrándose sólo una diferencia apreciable entre el borde O (Parque General San Martín) y el centro de la ciudad. Las características de los materiales que componen los puntos testigos al (N; S; E) que poseen mayor acumulación trae como consecuencia que a mayor intensidad de radiación solar acumulen más calor y demoren más en enfriarse.

Durante la tarde entre las 14.00 y las 16.30 h. se produce un claro efecto de isla de frescor urbana. Por ejemplo el punto 11 dentro del perfil O-E en el cual se observa un pico de temperatura durante la tarde (ver figura 3 sentido O-E); tiene un SVF= 0.8 mientras que en el mismo perfil el punto 15 con un SVF= 0.99 se encuentra a menor temperatura, esta diferencia se explica debido a varios factores entre los que pueden citarse, material de la superficie horizontal, en el punto 11 es hormigón y en el 15 asfalto, además el punto 15 se encuentra fuera de la trama urbana consolidada por lo que las posibilidades de ventilación son mejores, y como se trata de un acceso vehicular presenta gran superficie horizontal de intercambio, que al estar a mayor temperatura (asfalto), se enfría más rápidamente, por el contrario el punto 11 con menor acceso al sol se encuentra dentro de una trama urbana consolidada de baja densidad, con un intenso tránsito vehicular, localizado cerca de la confluencia de los accesos desde los 4 puntos cardinales al centro de la ciudad, en una zona de uso mixto del suelo del tipo comercial-residencial, un cañón de altura promedio de 3.7 m, el material de la envolvente horizontal es hormigón.

Otra característica importante del comportamiento de las curvas durante el verano es que durante el periodo de calentamiento, el centro de la ciudad como consecuencia de la intensa forestación urbana de especies de primera magnitud (plátanos - *Plátanus acerifolia*- y tipas -*Tipuana tipu*-) se encuentra hasta 5°C más fresca que los alrededores, mientras que durante el enfriamiento se encuentra 10°C más caliente.

En la figura 3 si se examina el comportamiento de los perfiles en las distintas horas se observa una importante movilidad del fenómeno a lo largo del día y principalmente durante el calentamiento, consecuencia de las distintas velocidades de transferencia de calor que resultan de las características configuracionales y geográficas de los espacios.

Representación cartográfica de la distribución de los perfiles de temperatura y humedad dentro del área metropolitana de Mendoza.

A partir de los datos recolectados cada 15 minutos por las 16 estaciones fijas de monitoreo colocadas dentro del área metropolitana de Mendoza (AMM) durante el año 2005, se han confeccionado mapas representando la distribución horizontal de la temperatura para todo el área de estudio.

Las figuras 5 y 6 muestran los mapas confeccionados para el caso de invierno y verano de la distribución horizontal de los perfiles de temperatura para distintas horas en distintos momentos del día (mañana, tarde y noche). Los datos se han representado mediante sistemas de información geográfica (Arc View), y como método de interpolación se ha utilizado el IDW o inverso de la distancia pues es el mecanismo que minimiza el error cuadrático medio.

Este mecanismo de sistematización de los datos no solo ofrece la representación gráfica de los mismos, sino que permite seguir trabajando sobre ellos con la incorporación de otras variables presentes en el área urbana, como por ejemplo distribución de contaminantes, crecimiento forestal, plagas, etc., que surjan de estudios posteriores y quieran ser contrastadas con la situación térmica de la ciudad.

Los distintos colores en las figuras representan la distribución de temperaturas con isotermas cada 1°C de diferencia. En las figuras se muestra la distribución de las isotermas dentro del AMM para un día típico de verano y de invierno (condiciones de viento calmo, velocidad promedio menor que 0.3 m/s y claro, nubosidad inferior a 3/octavos).

Durante la noche luego de la puesta del sol (20.45); existe una gran homogeneidad de temperaturas (mapa "c" de la figura 5), encontrándose la zona norte aproximadamente 1°C más caliente que la zona sur. Los puntos testigos al oeste (Parque General San Martín) y al sur, que se hallan intensamente forestados y parquizados, con mínima masa de acumulación y a mayor

altura, se encuentran 2 y 3°C más fríos que la ciudad. Durante el verano esta diferenciación se explica porque los materiales que componen los bordes de la ciudad (roca, ripio o suelo desnudo) en presencia de la intensa radiación solar del verano y con mayores factores de visión de cielo, acumulan calor y por lo tanto se enfrían más lentamente, diferente a lo que sucede cuando los alrededores de la ciudad se hallan vegetados. Esta característica es diferenciante en la ciudad de Mendoza respecto al comportamiento del fenómeno en estudios en Europa, es por ello que estos estudios reportan la mayor intensidad alrededor de las dos horas después de la puesta del sol, mientras que en Mendoza las máximas tienen lugar alrededor de la salida del sol (ver tabla 1).

A medida que avanza la noche se produce una mayor diferenciación entre el centro de la ciudad y las áreas suburbanas, localizándose la isla de calor alrededor de la isoterma de 25.5 °C y una zona más caliente alrededor de los 27.5 °C que se encuentra localizada coincidente con el Km. 0 de la ciudad, alrededor del área de mayor densidad edilicia. Otro sector aparece caliente alrededor de la isoterma 25.5°C en el N-O de la ciudad correspondiente al pedemonte mendocino. Luego se registra hacia los bordes una disminución periódica de la temperatura, hacia las áreas suburbanas, manteniéndose la zona norte, de menor altitud sobre el nivel del mar (600 m.s.n.m.) y mayor aridez, a mayor temperatura. Mientras que el sur y el oeste se hallan más frescos. A las 6.00 de la mañana cerca de la salida del sol se observa el máximo desarrollo del fenómeno, ver mapa "a" de la figura 5, con dos zonas calientes bien diferenciadas, en el centro de la ciudad y el área suburbana del pedemonte y una zona sub-urbana hacia el N-E que se mantiene a mayor temperatura.

Durante la tarde (mapas "b" de las figuras), los vientos anabáticos del N-E refrescan los espacios abiertos al norte de la ciudad, el centro de la ciudad se encuentra en una intensa condición de sombra y se presentan como más calientes aquellos espacios de mayor acceso al sol y constituidos por materiales de menor capacidad de acumulación, como son los espacios verdes, ver situación del parque al oeste y de la avenida de acceso este, al E, a medida que avanza la tarde los espacios vegetados que siguen a la radiación solar, se enfrían y los espacios abiertos pavimentados, que presentan mayor masa de acumulación que los primeros a igual factor de exposición, se muestran como puntos calientes, ver el caso de la estación 78 al N-E del punto 11 al este y del punto 44 al S, en esta zona además se hallan localizados dos hipermercados los cuales presentan grandes superficies asfaltadas destinadas a estacionamiento.

Los mapas de la figura 6 muestran la distribución de la temperatura dentro del AMM para un día típico de invierno. Se observa una localización de la isla de calor en la parte central de la ciudad hacia el SE, que se encuentra consolidada a las 22.00 debido a que el sol se pone a las 18.30 en invierno; además la menor cantidad de radiación incidente durante la tarde sobre los espacios abiertos de los alrededores hacen que estos se enfríen más rápidamente durante la noche.

Durante el invierno desaparece el punto caliente sobre el pedemonte, quedando estos alrededores con igual temperatura que la zona sub-urbana consolidada que rodea el centro de la ciudad. En esta estación la isla de calor es de menor tamaño y esta acotada al centro de la ciudad y sus zonas aledañas. Por la tarde se produce una isla de calor negativa o isla de frescor urbano, encontrándose la ciudad 3°C más fresca que los alrededores asoleados, y que no son enfriados por acción de los vientos anabáticos del NE como es el caso del sector al E del AMM.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que con diferente frecuencia e intensidad el fenómeno de la isla de calor se verifica en todas las estaciones del año. Los registros del monitoreo continuo revelan la existencia de una isla de calor cuyo máximo alcanza los 10.6 °C (diferencia entre el centro de la ciudad y la periferia). Durante todo el año evaluado las intensidades máximas de isla de calor oscilan entre los 8 y 10 °C. La ocurrencia de las máximas se da generalmente durante el período de enfriamiento entre las 20 y 8 horas. La isla de calor urbana en el AMM se encuentra vinculada con los patrones de enfriamiento de los distintos sectores del área metropolitana. Esto se explica por la disminución de las posibilidades de enfriamiento convectivo y radiativo en el centro de la ciudad.

Este estudio muestra que la temperatura del aire en la ciudad sigue en general a la curva de la radiación solar sobre la fachada más expuesta, por lo cual desde el punto de vista del acondicionamiento bioclimático de los espacios resulta aconsejable trabajar sobre la condición de sombra en las fachadas y sobre las propiedades superficiales de las mismas (aumentar su reflectividad) con el objeto de disminuir la acumulación de calor y acondicionar los espacios abiertos en condiciones de intensa radiación solar típicas de la región. Es por ello necesario revisar las estrategias de forestación en los nuevos emprendimientos urbanos, recurriendo al uso de especies que otorguen sombra sobre veredas y fachadas en el verano y permitan el acceso al sol y a la luz natural durante el invierno, permitiendo además el refrescamiento radiativo de la ciudad durante la noche y mejorando el acceso del viento a los canales viales, que posibilite la dispersión de los contaminantes y el refrescamiento convectivo de la ciudad.

REFERENCIAS

- Correa, et.al. (2005). Isla de Calor Urbana. Monitoreo y análisis del impacto de la configuración de los espacios sobre la temperatura del aire en la ciudad de Mendoza. AVERMA- Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente- Vol. 9, 11,49-54. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- Correa, E.N (2006). Tesis Doctoral. Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- Oke, T.R (2004). Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. IOM Report, TD In Press, World Meteorological Organization, Geneva.
- Unger J, Sumeghy Z, Zoboki J (2001) Temperature cross-section features in an urban area. Atmospheric Research. 58(2001)117-127

Yamashita S, (1994). Detailed Structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in metropolitan Tokio.

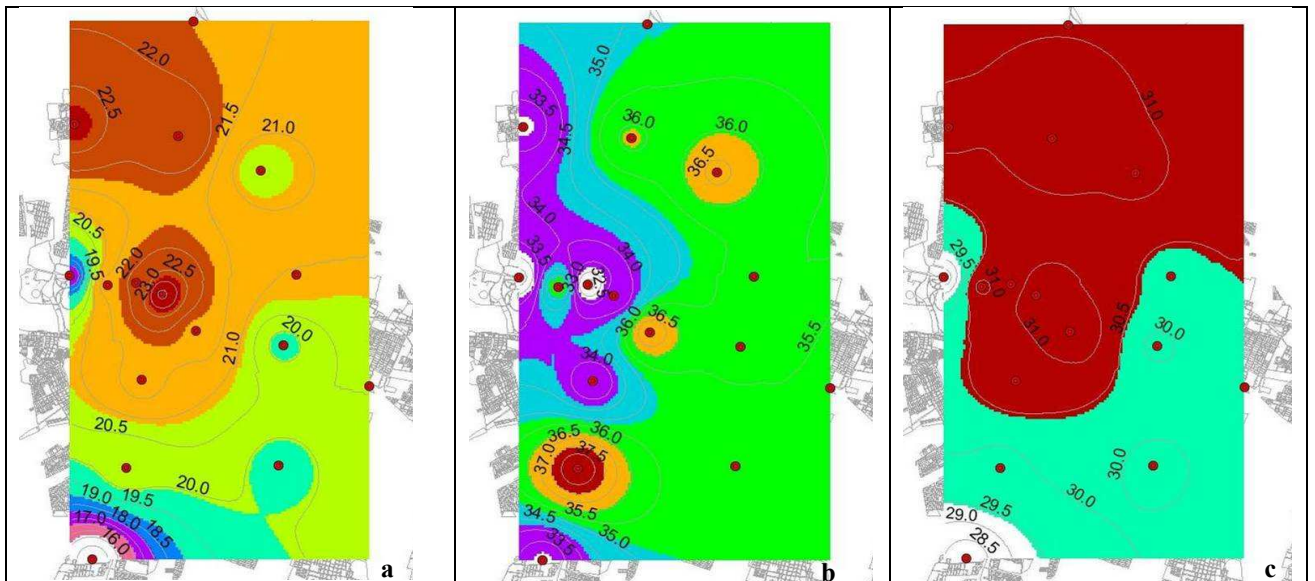


Figura 5 Distribución horizontal de los perfiles de temperatura dentro del AMM. Caso verano. (a) 6.00, (b)14.00, (c) 22.00

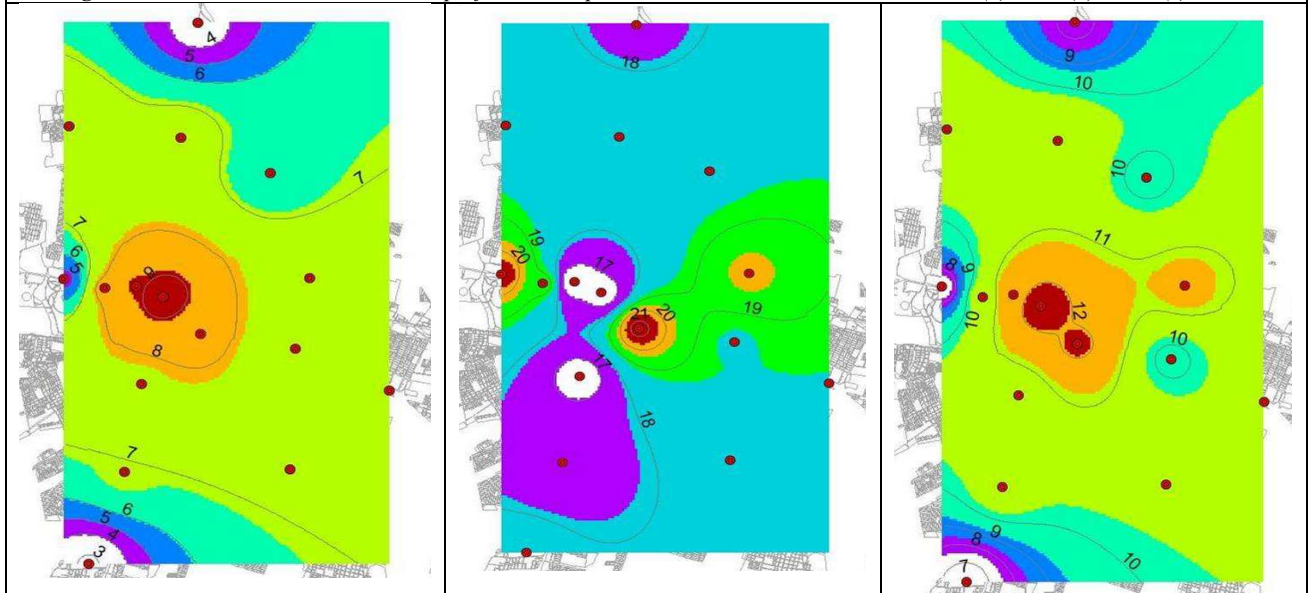


Figura 6 Distribución horizontal de los perfiles de temperatura dentro del AMM. Caso invierno. (a) 6.00, (b)14.00, (c) 22.00

ABSTRACT: The characteristics of urbanizations such as: morphology of the urban space, the thermophysical properties of building materials, the amount of forestry in the urban spaces, the features and intensity of the vehicular transportation and the various other sources of anthropogenic heat, modify the radiative balance of cities, thus being responsible of the phenomenon known as the “heat island effect”. The quantification of the urban heat island is a fundamental information to assess the increase in energy consumption and environmental pollution associated to the urbanization phenomenon. Starting from this analysis and diagnosis, it is possible to develop a strategic planning of the city’s growth.

This paper presents the results of a study aimed at to quantify and to analyze the urban heat island’s intensity in the Metropolitan Area of the city of Mendoza, Argentina and its geographical distribution. The research is base on continuous measurements in fixed stations, during one year. The results indicate that the development of the urban heat island is more intense during the night hours before the sunshine, reaching as maximum values 10.6°C, taking place during all seasons of the year. At the afternoon the city’s center are cooler than the rural surroundings producing the opposed effect named cool urban island.

Keywords: urban heat island, Mendoza’s Metropolitan Area, urban sustainability, temperature profile, Geostatistics.