

ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA CIUDAD DE MENDOZA A PARTIR DE MEDICIONES MÓVILES EN EL ÁREA METROPOLITANA. INFORME DE AVANCE

Erica N. Correa*, Nicolás Goudueau **, Carlos De Rosa *, Graciela Lesino.***.

* 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

**Grupo CLIOPE, UTN-FRM. Universidad Tecnológica Nacional-Regional Mendoza. Rodríguez 273. Ciudad. Mendoza.
Tel/Fax: 0261 4239239.

***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: En este trabajo se muestran los resultados preliminares de un estudio cuyo objetivo es caracterizar la intensidad de isla de calor urbana en el Área Metropolitana de la provincia de Mendoza, Argentina, y analizar la influencia de factores espaciales, edicios, topográficos y climáticos en el desarrollo de la misma.

Esta investigación se basa en mediciones móviles y estacionarias, durante un año, con periodicidad semanal y tres lecturas diarias, de la temperatura del aire, la dirección y velocidad del viento y la humedad, a lo largo de 9 transectas que cubren las direcciones principales de desarrollo de la ciudad. El periodo evaluado hasta el momento comprende los meses de marzo, abril, mayo, junio y julio.

Los resultados muestran que el desarrollo de la isla de calor es más frecuente durante la noche, alcanzando valores máximos de 6 °C y que la diferencia de temperaturas entre el centro de la ciudad y sus alrededores se ha intensificado durante el período invernal respecto de los registros realizados en otoño.

Palabras clave: Isla de Calor, Configuración urbana, Datos geostatísticos.

INTRODUCCIÓN

En zonas urbanas densamente construidas las temperaturas del aire son mayores que las temperaturas en los alrededores de la ciudad. Este fenómeno se conoce como "Isla de calor urbana". La formación de la isla de calor urbana está estrechamente vinculada al proceso de explosión demográfica que se produjo durante las últimas décadas y que trajo aparejada la expansión urbana a expensas del campo o de áreas ocupadas por vegetación natural. Este panorama, ya crítico en la mayoría de las urbes del mundo, es particularmente grave en las grandes ciudades de los países en vías de desarrollo, donde al aumento descontrolado de las poblaciones urbanas, se suma la ausencia de criterios y reglamentaciones para la planificación sustentable del uso del suelo y el crecimiento de la ciudad. En Mendoza la población urbana ha crecido un 14% durante la última década, este incremento ha obligado a una expansión prácticamente incontrolada tanto horizontal como vertical del paisaje urbano, los problemas que eso produce a sus habitantes, han quedado sin ser investigados y documentados con rigurosidad. 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, pero cómo y dónde se manifiestan las ventajas y desventajas del clima urbano aún no se ha analizado con profundidad en la provincia. (Endlicher, 1999).

Desde la década de los setenta se realizan en Europa y América del Norte proyectos sobre clima urbano y metropolitano de muchas ciudades y aglomeraciones que han conducido a nuevos puntos de vista en la ecología urbana. (Oke, 1982); (Jáuregui, 1986). En los países de América Latina, sin embargo, se carece todavía de series de datos y de información. En la región centro-oeste de la República Argentina pueden citarse como antecedentes los trabajos realizados por el Área de Arquitectura Ambiental de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan. (Paparelli, et al; 1994)

La caracterización de la isla de calor urbana es información fundamental para evaluar el incremento de los consumos energéticos y la contaminación ambiental vinculados a su existencia con el fin de desarrollar estrategias que permitan en el corto y mediano plazo mitigar los efectos de la ciudad sobre el clima de la región. Estudios llevados a cabo en la última década que correlacionan el consumo de energía con el efecto de isla de calor han observado que para ciudades con más de 100 000 habitantes los consumos de energía en las horas pico se incrementan 1.5 a 2% por cada grado que se incrementa la temperatura. (Akbari et al., 1992).

Además propicia el aumento de la contaminación ambiental en dos formas: de un modo directo dado que mayores temperaturas urbanas funcionan como catalizador de las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera generando mayor cantidad de smog; la producción de smog aumenta un 5% por cada 0.5 °C que se incrementa la temperatura máxima diaria por encima de los 20 °C.; y de un modo indirecto pues el aumento de consumo de energía hace que las plantas generadoras de energía eléctrica liberen mayores cantidades de gases de combustión (CO₂, CO, NO_x, SO_x, vapor de agua y metano); gases responsables del calentamiento global y la lluvia ácida entre los efectos ambientales más conocidos. La contaminación atmosférica compromete la salud de la población debido a que el nivel creciente de ozono o smog a nivel del

suelo causado por las altas temperaturas ambientales irrita los ojos, agrava el asma, y puede causar daño permanente al pulmón. Por lo tanto bajar la temperatura ambiente dentro de la ciudad a fin de mitigar el efecto de isla de calor, disminuye la cantidad de smog acumulado y protege la salud humana. La Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. estima que 5 a 20 por ciento de la población son especialmente susceptibles a los efectos dañosos de la contaminación atmosférica del ozono.

Por último, existe entre especialistas y científicos de todo el mundo, un amplio consenso respecto a que es en las ciudades y en sus zonas de influencia, donde se están produciendo los deterioros ambientales más notorios y, por lo tanto, es en ellas donde pueden implementarse las medidas más efectivas que permitan progresivamente desacelerar, contener y finalmente revertir las actuales tendencias y sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la calidad de vida de los pobladores urbanos, para poder alcanzar en medianos plazos el paradigma de la sustentabilidad.

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La provincia de Mendoza se encuentra situada al oeste de la Argentina, limitando con Chile, entre los 32° y 37° de latitud sur, es una provincia mediterránea, que dista 1000 Km del océano Atlántico y solo 170 Km del Pacífico. Del primero la separa una extensa planicie salpicada de macizos antiguos con alturas medias a bajas y del segundo la Cordillera de los Andes. El área de estudio comprende el área metropolitana de la provincia conocida como “El Gran Mendoza”, con más de 900 000 habitantes (aproximadamente el 65% de la población total de la provincia vive y trabaja en esta zona) es la quinta aglomeración de la república Argentina y está compuesta por los departamentos de Capital, Godoy Cruz, Las Heras, Maipú, Luján y Guaymallén. Situada al norte de la provincia de Mendoza con una extensión de 148 827 Km², el aglomerado se extiende en un piedemonte conformado por un extenso glacis y su playa que se desarrolla al oriente de un macizo antiguo que se denomina Precordillera, el perfil oeste-este del área metropolitana decrece desde los 950 m de altura hasta 680 m al este, y el perfil norte- sur crece desde 704 m hasta 900 m de altura en el sur, en la Fig.Nº 1 se muestra las isolíneas de altitud cada 50 m para la provincia de Mendoza y dentro de ellas donde se encuentra emplazada la ciudad.

Se trata de un espacio inconfortable cuya característica principal es la sequedad, la elevada heliofanía y la escasa frecuencia e intensidad de los vientos, exceptuando el zonda (Föhn mendocino). Las condiciones climáticas regionales están dadas por escasa precipitaciones distribuidas irregularmente, exclusivamente en verano que se producen por la acción conjunta del Anticiclón semipermanente del Atlántico Sur y de la depresión del NO. Los inviernos son fríos y secos con predominio de tiempo estable y sin viento. Estas características más una anomalía térmica positiva en altura y las frecuentes inversiones de temperatura son condiciones óptimas para la contaminación atmosférica.

Todas estas características han contribuido a la formación de la isla de calor que en ciertos sectores de la ciudad es más acentuada que en otros, dependiendo de su posición respecto al sentido de las brisas locales, la densidad de edificación, etc.

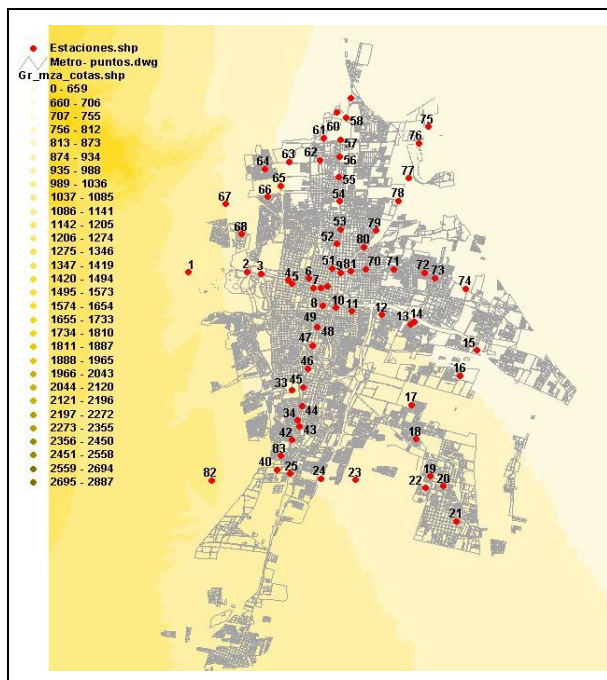


Fig. Nº 1. Mapa de cotas AMM

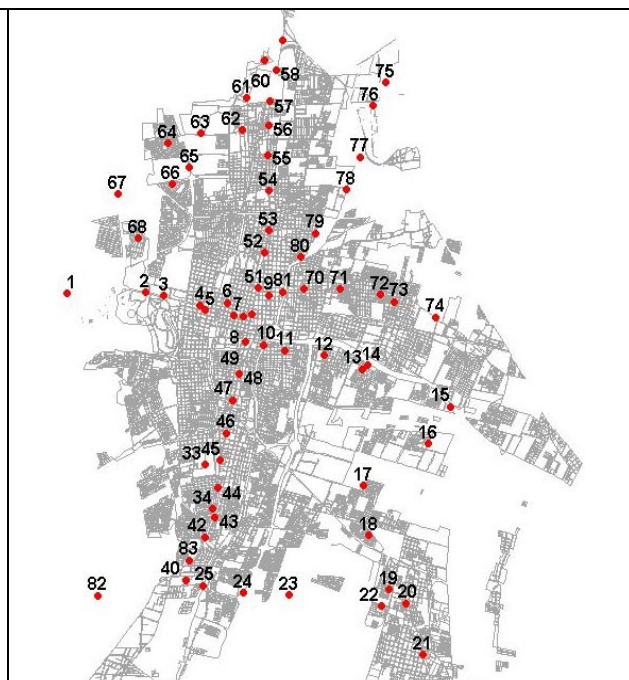


Fig. Nº 2. Grilla de estaciones de medición

METODOLOGIA

La investigación está basada en mediciones móviles dentro del área metropolitana de Mendoza (AMM), las variables medidas son: temperatura del aire, dirección y velocidad del viento y humedad; las mediciones comenzaron a mediados del mes de marzo próximo pasado con una periodicidad semanal, y tres recorridos diarios, el primero inicia a las 7:00 AM, meridiano -3, el segundo aproximadamente a las 14:00 PM y por último a las 20:00 PM, las mediciones tendrán una duración de 1 año. Las medidas móviles son comparadas con una red de medidas fijas que está compuesta por tres estaciones meteorológicas que operan en la ciudad y que dependen del Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina, dos de las cuales se encuentran en los alrededores de la ciudad ubicadas al N y S respectivamente, y la tercera se encuentra

emplazada en la zona central dentro del Parque General San Martín (el área forestada más importante y cercana al centro de la ciudad).

Las mediciones móviles se realizan a lo largo de 9 transectas que cubren las direcciones principales de desarrollo de la ciudad, con un recorrido total de aproximadamente 160 km, cada recorrido está compuesto por 69 puntos de medición identificados a lo largo de las transectas seleccionadas. La Fig. N° 2 muestra la disposición de las estaciones móviles dentro del área metropolitana. Las medidas de temperatura se toman mediante dos sensores de tipo termistor TMC6-HB, precisión ± 0.4 a 20°C y resolución 0.2 a 20°C y se almacenan en data logger del tipo HOBO H8 con 4 canales externos, los sensores se hallan colocados sobre una parrilla en el techo del vehículo a una altura aproximada de 1,5 m y protegidos dentro de un tubo de PVC blanco con el fin de evitar que sean irradiados durante las horas de sol. Para la asignación de la temperatura final que corresponde a un punto de medición se toma como decisión optar siempre por la menor, dado que se ha contrastado el comportamiento de ambos sensores a lo largo de varios días y se observa que en horas de la noche sus medidas coinciden exactamente, lo que hace suponer que durante las horas de sol el incremento de uno respecto al otro es por irradiación. La humedad se mide mediante un termohigrómetro de película polimérica y la velocidad del viento promediada en un minuto, se toma a una altura de 1.5 m, mediante un anemómetro de hilo caliente.

Los datos de temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento para cada uno de los días medidos y en los tres horarios se han representado cartográficamente mediante el software para sistemas de información geográfica ArcView3.2 y las isolíneas se han trazado interpolando los datos mediante el método Krigging Universal.

Los mapas se han trazado para distintos sectores de la ciudad, el sector NO-Centro, el Sector NE-Centro y el sector S-Centro, debido a la diferencia horaria entre los puntos medidos en estos cuadrantes que hace imposible el mapeo global del área metropolitana completa que represente la realidad.

En un principio se pensaba ajustar todas las mediciones correspondientes a un periodo (mañana, tarde y noche) a una misma hora, usando como criterio sumar o restar del valor medido a un determinado horario, el incremento correspondiente a la curva horaria de temperatura de las estaciones fijas tomadas como referencia, usando como parámetro de asignación la altura a nivel del mar a la que se encuentra el punto evaluado con respecto a la altura de la estación de referencia. Cuando se compararon los comportamientos de las curvas de los distintos puntos o estaciones este criterio fue descartado debido a que las formas de las curvas horarias de temperatura de las estaciones de referencia son muy diferentes a las de los puntos dentro de la ciudad, esto sin duda se debe a varios factores entre los más importantes se observa el efecto de inercia de la ciudad. A modo de ejemplo en la Fig. N° 3 puede verse el desarrollo de la curva de temperatura de las estaciones de referencia (aeropuerto y observatorio) versus la temperatura de tres estaciones de medición. El punto 50 se encuentra en el centro de la ciudad ubicado en el sector de mayor densidad edilicia, esta curva muestra claramente los efectos de la inercia de la ciudad con respecto a los alrededores, la curva se encuentra a mayor temperatura pero su variabilidad durante el día es mucho menor, por otra parte el punto 79 es un punto cercano a la estación fija aeropuerto y el punto 3 es un punto cercano a la estación fija observatorio.

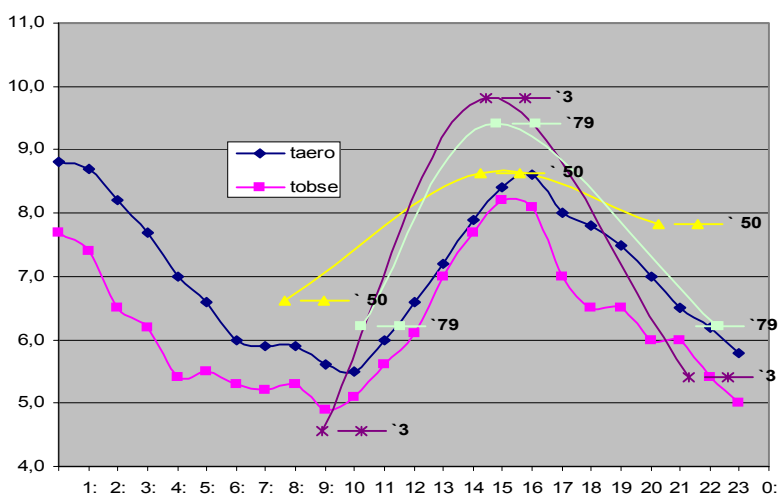


Fig. N°3 Curvas horarias de T° de las estaciones fijas vs. tres puntos de dentro de la ciudad. Datos registrados el 03/05/04

En este contexto es necesario avanzar sobre el desarrollo de una metodología válida para homologar las temperaturas tomadas a distintos horarios a un horario común debido a que el uso del criterio anteriormente mencionado intruduciría un error importante en la veracidad de los datos mapeados.

RESULTADOS OBTENIDOS

La Tabla N° 1 muestra para cada día monitoreado la diferencia de temperaturas registradas entre el centro de la ciudad y los alrededores para cuatro de las transectas que cubren los perfiles Norte-Sur y Este-Oeste del área metropolitana. El signo negativo indica que los alrededores se encuentran a mayor temperatura que el centro de la ciudad.

Tabla N°1. Diferencias de temperaturas registradas entre los extremos de las transectas Centro-Oeste, Centro-Este, Centro-Norte y Centro Sur durante la mañana ($\Delta T^\circ m$) y durante la noche ($\Delta T^\circ n$).

fecha	Centro-Oeste		Centro- Este		Centro-Norte		Centro- Sur	
	$\Delta T^{\circ} m$	$\Delta T^{\circ} n$	$\Delta T^{\circ} m$	$\Delta T^{\circ} n$	$\Delta T^{\circ} m$	$\Delta T^{\circ} n$	$\Delta T^{\circ} m$	$\Delta T^{\circ} n$
22/03	-0.8	5.4	-1.6	0.8	0.8	5.4	4.4	3.5
29/03	1.5	1.2	1.5	0.8	0.8	1.2	3	2.7
5/04	1.2	2.7	-1.6	2.3	0.4	2.7	0.4	1.9
12/04	2.7	1.5	0	0.4	4.6	5.3	3	2.3
19/04	1.5	2.7	-0.8	2.3	2.7	4.6	3.4	3.5
26/04	3.5	3.9	-1.5	1.9	6.8	4.6	2.7	2.7
3/05	1.2	-1.2	-0.4	0.4	0.4	-0.8	2	1.2
10/05	2.3	1.5	-1.5	0.8	-2.3	2.7	3.4	1.5
31/05	3.2	3.2	1.9	1.2	5	2.7	3.5	3.2
7/06	3.7	3.6	1.6	2	5.6	6.5	2.7	3.7
14/06	4.4	3.6	0.8	3.6	6.2	5.5	2.3	3.2
22/06	4	3.5	-1.2	2	6.2	5.9	2.7	1.2
28/06	1.7	2	0.4	2.2	1.8	4.3	1.6	0.4
5/7	4	4	1	3.1	4.1	4.2	1.5	-0.8
12/7	4.7	3.9	1.6	2.4	5.6	5.5	2.7	1.6
19/7	2.6	3.2	2	2.4	4.2	2	1.2	2.4

En la Fig. N° 4 se muestran correlacionados los valores de diferencias de temperatura entre el centro de la ciudad y los alrededores para la transecta Centro-Norte que es la que acusa mayor diferencia de temperatura durante la noche para los días evaluados, ver Tabla N°1, con los valores de velocidad de viento y nubosidad promediados en el día provenientes de las estaciones meteorológicas fijas.

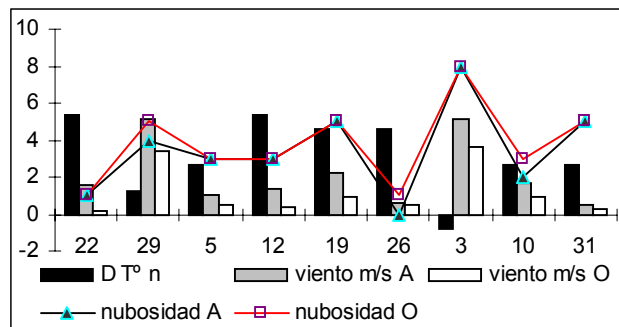


Fig. N° 4. Intensidad de la isla de calor nocturna, transecta Centro-Norte, versus nubosidad y velocidad de viento promedio proveniente de las estaciones fijas. (A indica estación aeropuerto y O estación observatorio).

En las Fig. N° 9 y N° 10 puede verse el mapeo del desarrollo de la isla de calor nocturna para los tres sectores trabajados del área metropolitana. NO-Centro, NE-Centro y Sur-Centro para los días 19/04/04 y el 26/04/04, que de acuerdo a las Figuras N° 5, 6, 7 y 8 donde se muestran las condiciones de nubosidad, velocidad y dirección de viento para esos días; se observa que corresponden a dos condiciones cercanas temporalmente pero de condiciones meteorológicas opuestas, el día 19 nublado y con viento, y el 26 despejado y con brisa suave propia de los vientos convectivos de las zonas de ladera. Se observa como, en condiciones de viento cálido y nubosidad alta, la ciudad conserva mayor temperatura y disminuye el gradiente entre el centro de la ciudad y los alrededores, salvo para el sector sur de la ciudad que se encuentra a mayor altura y es menos afectado por el viento cálido que circula NO-SE.

En la Fig. N° 11 se muestra el desarrollo de la isla de calor nocturna para un día de invierno claro y en condiciones de viento calmo, vemos como se intensifica la diferencia de temperatura entre el centro de la ciudad y los alrededores, consecuencia de la disminución de la intensidad de la radiación solar y de las condiciones de cielo claro que permite mejor transferencia radiativa de los alrededores de la ciudad.

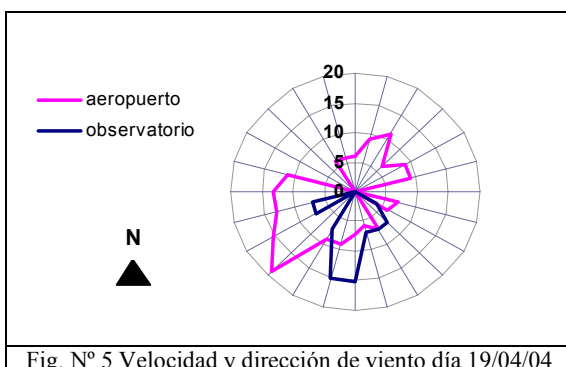


Fig. N° 5 Velocidad y dirección de viento día 19/04/04

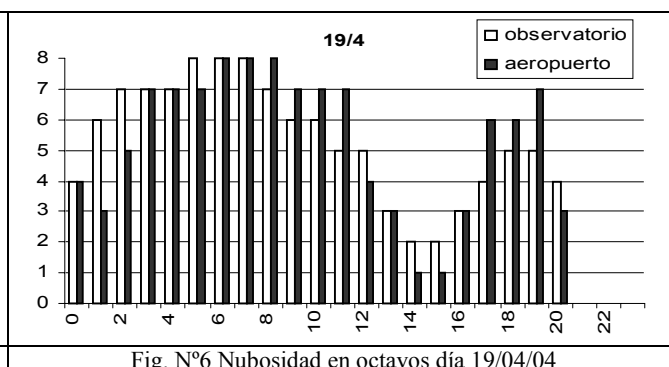


Fig. N° 6 Nubosidad en octavos día 19/04/04

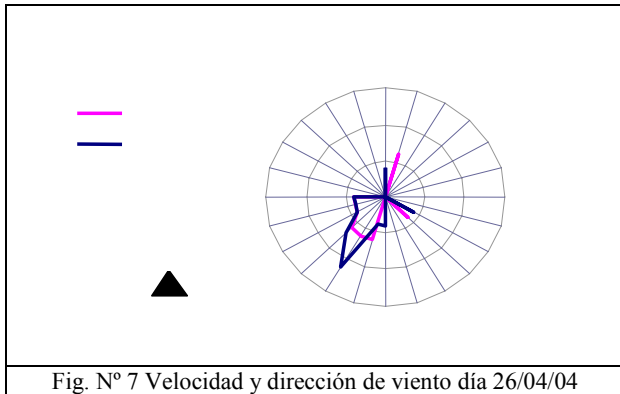


Fig. N° 7 Velocidad y dirección de viento día 26/04/04

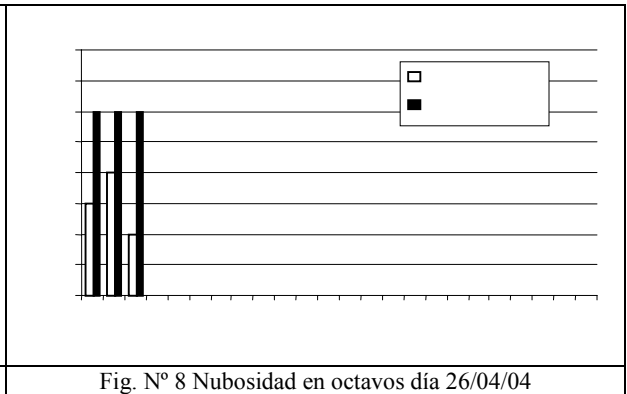


Fig. N° 8 Nubosidad en octavos día 26/04/04

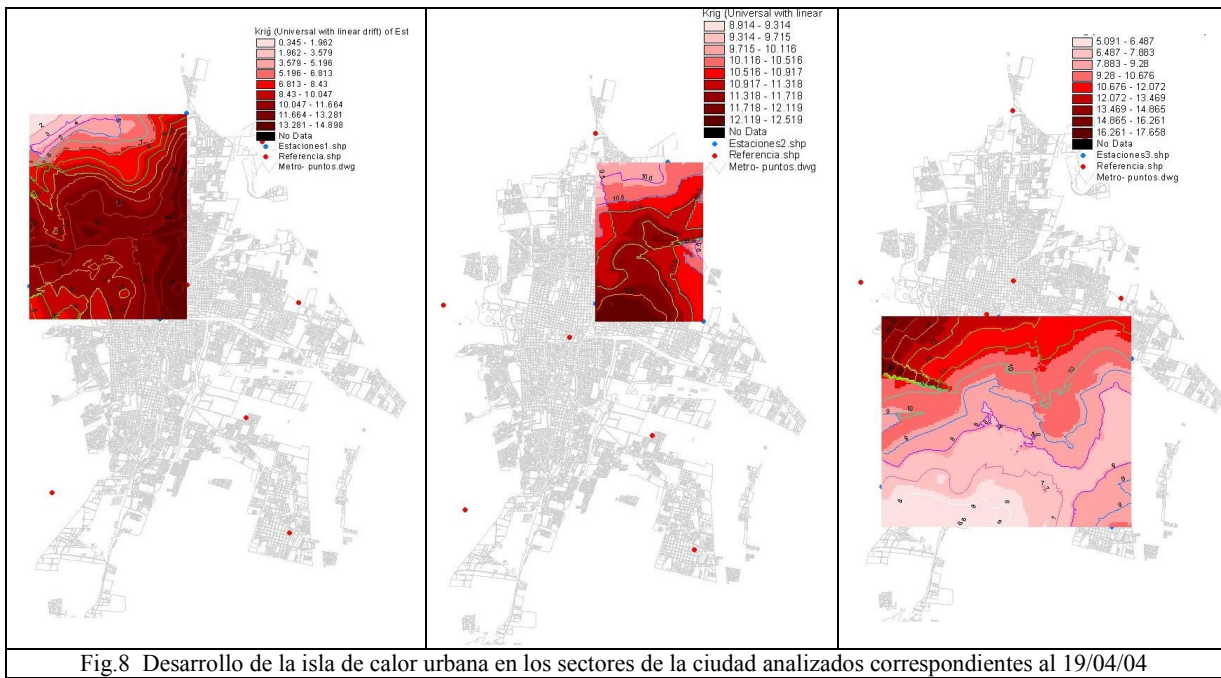


Fig.8 Desarrollo de la isla de calor urbana en los sectores de la ciudad analizados correspondientes al 19/04/04

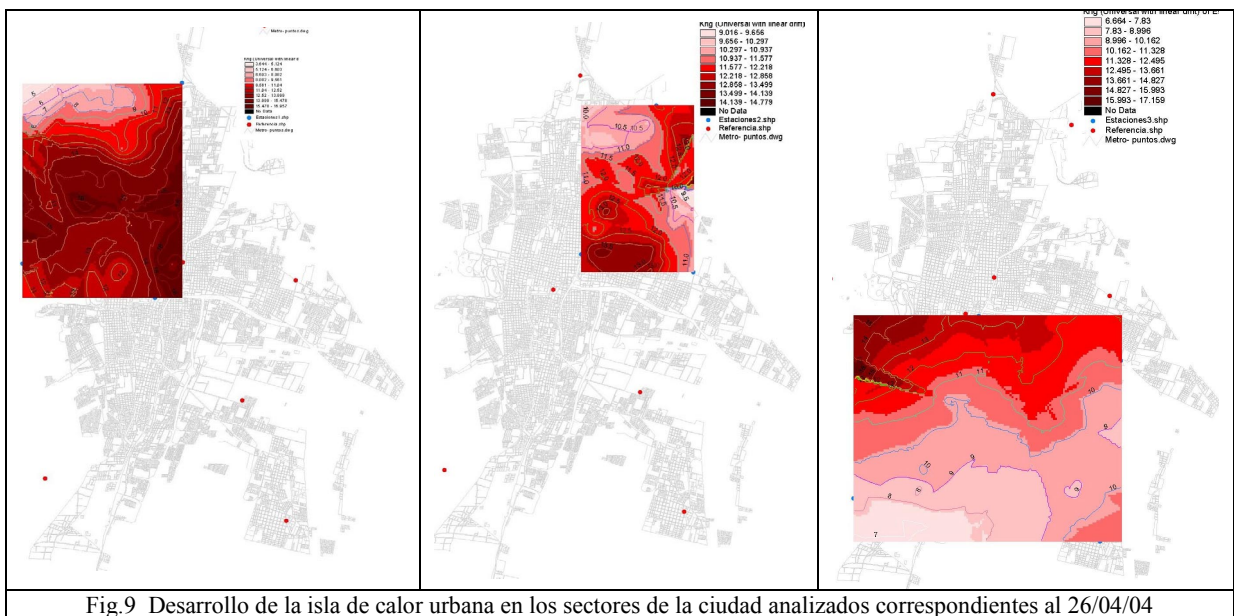


Fig.9 Desarrollo de la isla de calor urbana en los sectores de la ciudad analizados correspondientes al 26/04/04

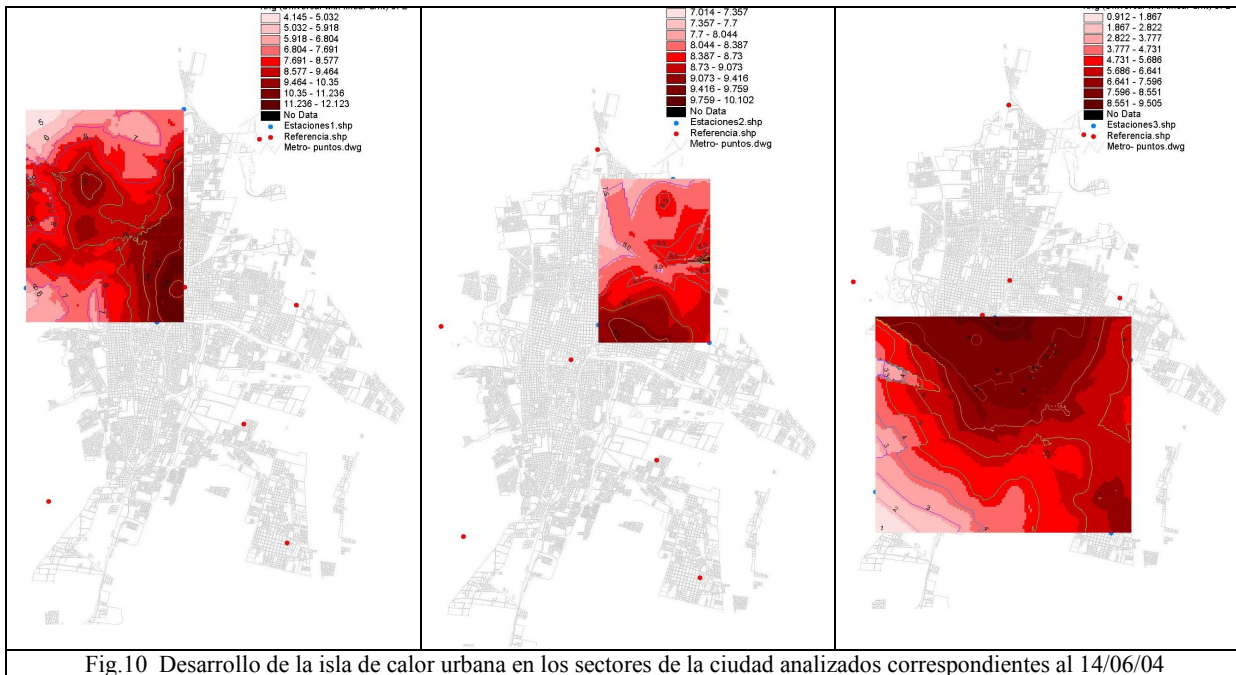


Fig.10 Desarrollo de la isla de calor urbana en los sectores de la ciudad analizados correspondientes al 14/06/04

CONCLUSIONES

De los resultados mostrados en la Tabla N°1 se observa que el fenómeno de la isla de calor se manifiesta con mayor frecuencia e intensidad durante la noche, alcanzando diferencias máximas de 6,5 °C y también se manifiesta en horas de la mañana en algunos sectores de la ciudad aunque con menos frecuencia e intensidad. Los resultados en la Fig. N° 4 relacionan nubosidad y velocidad de viento con la magnitud de las diferencias de temperaturas, se observa que las mayores diferencias de temperaturas nocturnas se registran días relativamente claros (< de 4/8 de nubosidad) y vientos calmos e inversamente. En los mapas de las Fig. N° 8, 9 y 10 se observa la concentración durante la noche de altas temperaturas en el área central de la ciudad, resultando más fresca la zona sur, de mayor altura, menor densidad edilicia y mayor cantidad de espacios verdes y más cálida el área NO-Centro de la ciudad donde se encuentra concentrada la mayor densidad edilicia.

Este trabajo muestra los resultados parciales alcanzados hasta el momento en el desarrollo de la investigación, los mismos demuestran que para caracterizar el fenómeno estudiado es necesario analizar con profundidad la interrelación de las variables climáticas y urbanas dentro del área de estudio.

TAREAS A FUTURO

Se pretende caracterizar el efecto de la isla de calor urbana y desarrollar una zonificación del área metropolitana mediante la obtención de los grados día que contemplen el efecto de la ciudad sobre las temperaturas del aire, una vez desarrollada esta zonificación; desarrollar una metodología que permita cuantificar tanto el efecto sobre los consumos energéticos como así también el impacto ambiental asociado al desarrollo del fenómeno para el área metropolitana de Mendoza.

REFERENCIAS

- Akbari H., Davis S., Dorsano S. Huang J. and Winert S. (1992). *Cooling our Communities*- US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.
- Endlicher, W (1999). Concepción y Metodología del proyecto Mendo clima. *Rev. Meridiano* ISSN 0328-543X.
- Jauregui, E (1986). The urban climate in Mexico City. *Proceedings of WMO Technical Conference on Urban Climatology*. N°652 pp 63-86.
- Oke, T.R (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society* 108 (45) 1-24.

ABSTRACT

This paper presents the preliminary results of a study aimed at characterizing the urban heat island's intensity in the Metropolitan Area of the city of Mendoza, Argentina and to analyze the influence of spatial, building, topographic and climatic factors on its development.

The research is based in stationary and mobile measurements during one year, of: air temperature, wind direction and velocity and humidity, along 9 transects in close coincidence with the city's development. The period evaluated so far includes the months of March, April, May, June and July

The results indicate that the development of the heat island effect is more frequent during the night time hours, reaching maximum values of 6°C and the temperature's difference between the city's center and surroundings is higher in winter.

KEYWORDS: Heat Island, Urban Configuration, Geostatistical Data.