

Carlos Constantino Morales Méndez, Delfino Madrigal Uribe, Lidia Alejandra González Becerril
Isla de calor en Toluca, México
Ciencia Ergo Sum, vol. 14, núm. 3, noviembre-febrero, 2007, pp. 307-316,
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414308>



Ciencia Ergo Sum,
ISSN (Versión impresa): 1405-0269
ciencia.ergosum@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Isla de calor en Toluca, México

Carlos Constantino Morales Méndez,* Delfino Madrigal Uribe*
y Lidia Alejandra González Becerril*

Recepción: 9 de noviembre de 2006

Aceptación: 25 de abril de 2007

*Facultad de Geografía, UAEM.

Correo electrónico: cmm@uaemex.mx y
madurdel@uaemex.mx

Resumen. El clima de la ciudad de Toluca y del mundo ha sido modificado como consecuencia del crecimiento de su población y el aumento de las dimensiones de su distribución territorial. Las variaciones atmosféricas son más acusadas entre los espacios urbanos y rurales a medida que las ciudades son más grandes y su mancha urbana es más extensa, así como de la reducción de la vegetación, el aumento en la calefacción en casas y edificios y por la contaminación del aire. Para identificar los espacios con calor más intenso por la infraestructura urbana, se propone una metodología que consiste en la determinación de los valores de temperatura que se registraron en dos días típicos de invierno y verano, durante el día y la noche, mostrando la distribución de la isla de calor en la zona de estudio, a partir de los datos de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA). Asimismo, se considera el comportamiento y variación de algunas variables atmosféricas como humedad relativa, precipitación y viento, para mostrar su comportamiento relativamente anómalo en la zona urbana.

Palabras clave: isla de calor, clima urbano, atmósfera, cambio climático.

Heat Island in Toluca, México

Abstract. The city of Toluca and the world's weather have been modified as consequences of population growth and the expansion of the limits of territorial distribution. The atmospheric variations are emphasized between urban and rural spaces, in proportion to the size of cities and their extended urban carpet, as well as the decrease in vegetation, the increase in heating houses and the in order pollution of the air. Hottest to identify the suggest a spaces due to urban infrastructure, we methodology which consists in the determination of the temperature values registered in two typical winter and summer days, during day and night, showing the heat island distribution in the area of study taking the data from the Environmental Automatic Monitory Net station (RAMA). Likewise, the behavior and variation of some atmospheric variables, such as relative humidity, precipitation and wind were considered to show the abnormal relative behavior of the urban zone.

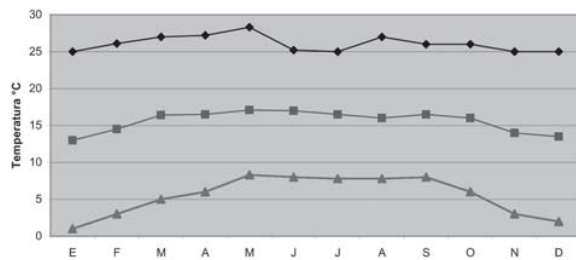
Key words: heat islands, urban climate, atmosphere, climate change.

Introducción

Las anomalías climáticas de la ciudad de Toluca se deben principalmente al cambio del uso del suelo, como son la expansión urbana, la deforestación, el abatimiento de los mantos de agua y la contaminación ambiental.

Con el propósito de identificar el clima urbano en la ciudad de Toluca se tomaron en cuenta los datos climatológicos de la temperatura, precipitación, humedad relativa y vientos de varios años de registro para cumplir con las normas de los trabajos climatológicos. Con la información se elaboraron mapas y gráficas para su representación espacial y temporal.

Gráfica 1. Temperaturas máximas, media y mínimas en el centro de Toluca.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2006.

Con la finalidad de caracterizar la distribución espacial de la isla de calor, se tomaron en cuenta los datos de temperaturas registradas a lo largo de las 24 horas de los días seleccionados (15 de julio de 2004 y 13 de enero de 2005) de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la ciudad de Toluca. También se obtuvieron datos de presión atmosférica, dirección y velocidad del viento y humedad relativa en los días en que se tomaron los datos (2004-2005).

El trabajo se complementó considerando datos de monóxido de carbono y ozono para reconocer su concentración y relacionarla con el efecto invernadero. Estos datos se obtuvieron de siete estaciones que conforman la RAMA. Las estaciones están distribuidas en un terreno casi plano y la distancia que existe en relación con la del centro comprende entre tres y seis kilómetros.

Con los valores térmicos se trazaron isotermas cada medio grado centígrado, con el objeto de disponer mayor número de ellas.

Para identificar la isla de calor se compararon los datos de todas las estaciones, a la misma hora del día y de la noche. La información de presión atmosférica permitió inferir la convección provocada por el espacio urbano, las tolvaneras típicas y las lluvias torrenciales en el verano.

Las condiciones atmosféricas que prevalecieron durante los dos días que se ocuparon para reconocer la isla de calor fueron despejados y soleados, los vientos no superaron los dos metros por segundo y no se registraron precipitaciones. Este detalle es importante porque sólo así se puede formar e identificar con mayor facilidad el calor en algunas áreas de la ciudad.

1. Condiciones ambientales de la ciudad de Toluca

La ciudad de Toluca se encuentra a latitudes de 19° 13' y 19° 17', entre las longitudes de 99° 35' y 99° 43', mientras las altitudes fluctúan entre 2 655 y 2 670 msnm. La ciudad

se halla en una región donde convergen fenómenos atmosféricos provenientes de las zonas frías, templadas y tropicales, por lo que su atmósfera es muy dinámica a lo largo del año. La elevada altitud define un clima templado, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación en invierno, inferior al 10%, la oscilación térmica anual es inferior a 5° C y la temperatura más elevada ocurre antes del solsticio de verano; de esta manera, según la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García, la simbología climática es: C(w₁)(w)_{big}.

Las temperaturas más bajas se registran en los meses de diciembre, enero y febrero, con valores que oscilan entre -2.0 y 8.0° C. Las heladas son muy frecuentes en invierno, pero pueden presentarse en cualquier día del año, con un promedio de 110 días durante el año. Las bajas temperaturas están asociadas con la fuerte irradiación nocturna, con la irrupción de vientos polares y masas de aire frío, lo que en muchas ocasiones origina inversiones térmicas, es decir, estratos atmosféricos cercanos a la superficie del valle de Toluca con temperaturas más bajas en relación con las capas de aire que se encuentran más arriba. Cuando a las inversiones térmicas se les adhieren gases y partículas contaminantes suelen ser muy peligrosas para los seres vivos y todo el medio ambiente.

Las temperaturas más elevadas se presentan entre abril y mayo, con valores que fluctúan entre 26.0 y 28.0° C. Se presentan además ondas de calor que duran entre uno y tres días en promedio, aunque en algunos años, éstas suelen tener mayor número de días sobre todo en el periodo de la sequía intraestival (disminución de las lluvias durante el verano). Las elevadas temperaturas generalmente son interrumpidas por los vientos de la tarde y la persistente trayectoria de los vientos dominantes (gráfica 1).

Las altas temperaturas de la primavera y el verano crean campos de baja presión atmosférica que atraen vientos locales, regionales y planetarios que llegan con velocidades de 1.0 a 4.0 metros por segundo. Las brisas de montaña suavizan las temperaturas y transportan partículas a la ciudad, creando un domo de polvo, típico del invierno y primavera, pero cuando los vientos alisios soplan con mayor intensidad, transportan los contaminantes a regiones lejanas de la ciudad.

La ciudad de Toluca tiene una temperatura media anual de 12.9° C, pero en invierno suele bajar hasta los -2.0° C y en verano asciende a 28.0° C, por lo que la amplitud térmica es de 30.0° C, situación que puede incrementarse como consecuencia del cambio de uso del suelo (Hernández *et al.*, 2005: 265).

Por otro lado, los vientos alisios, los huracanes, los frentes y el efecto monzónico, son los sistemas meteorológicos que producen las lluvias en la región. Considerando las últimas cinco décadas la precipitación media anual en la ciudad es de

760 mm, abarcando el periodo de lluvias de mayo a octubre. El mes más lluvioso es julio y el de menor precipitación es febrero, presentándose ocasionalmente una sequía intraestival que dura entre una y dos semanas.

Cuando los huracanes se acercan a las costas mexicanas trasladan vientos húmedos al valle de Toluca, y como consecuencia se forman nubes de tipo cúmulos y cumulonimbos que se concentran en lo alto de las montañas, pero en la ciudad también se gestan en aquellos sitios donde la temperatura suele ser elevada, originándose áreas o islas de humedad o de lluvia. Así, la ocurrencia de huracanes es muy importante para la dinámica ambiental de la región, y al mismo tiempo limpian la atmósfera que ha estado contaminada durante el invierno y primavera.

En la gráfica número 2 se aprecia que los vientos dominantes en la ciudad de Toluca son los provenientes del sureste y del este, lo que indica que se trata de los alisios. Son vientos que soplan la mayor parte del año, aunque los vientos del noroeste también son importantes sobre todo en otoño e invierno. Si la dirección del sureste es la más constante durante el año, los flujos al encontrarse con elementos atmosféricos contaminantes los traslada hacia los rumbos del norte y noroeste; situación que hay que tomar en cuenta para la instalación de centros industriales, para evitar mayor contaminación.

El conocimiento de los sistemas atmosféricos permite saber bajo qué condiciones los valores de temperatura ambiente se incrementan o disminuyen a lo largo del año, así como su relación con la frecuencia e intensidad del aumento térmico en las zonas urbanas.

El comportamiento de las temperaturas y las precipitaciones a lo largo del año en la ciudad y valle de Toluca es típico de las zonas tropicales, donde las temperaturas más elevadas se presentan antes del solsticio de verano y las más bajas alrededor del solsticio de invierno (21 de junio y 21 de diciembre, respectivamente). Mientras las precipitaciones ocurren durante todo el año, coincidiendo con el verano, las lluvias comienzan a elevarse de manera considerable en junio por un proceso monzónico y de esta manera los meses más lluviosos son junio, julio, agosto y septiembre.

Como lo señala la gráfica 3, las estaciones de invierno y verano muestran los valores extremos tanto en temperatura como en precipitación, razón por la que se escogieron días especiales de esos dos periodos para identificar las islas

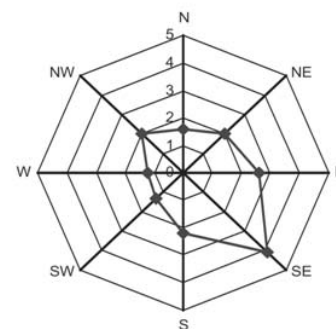
El comportamiento de las temperaturas y las precipitaciones a lo largo del año en la ciudad y valle de Toluca es típico de las zonas tropicales, donde las temperaturas más elevadas se presentan antes del solsticio de verano y las más bajas alrededor del solsticio de invierno.

de calor y así detectar diferencias y semejanzas térmicas en el espacio urbano.

Considerando los 16 años del estudio se observó que a partir de la década de los noventa aumentaron las precipitaciones llegando a 805 mm. Este incremento puede deberse a la formación de la isla de calor en el área urbana, que a su vez engendra un espacio de humedad concentrado sobre todo durante la época lluviosa (ver gráfica 3). La formación de nubes y neblinas pudieran estar asociadas a las partículas suspendidas en el aire y a los diversos contaminantes.

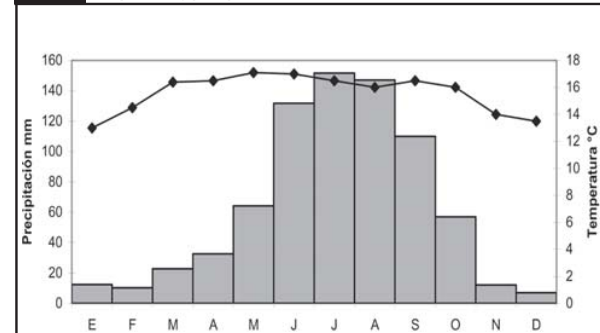
Las precipitaciones que se concentran en los espacios urbanos están precedidas por la presencia de una zona

Gráfica 2. Dirección y velocidad del viento (M/S) en Toluca.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2006.

Gráfica 3. Temperatura y precipitación media mensual en Toluca centro.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2006.

convectiva que no solamente atrapa calor, sino también crea un campo de baja presión atmosférica y ésta a su vez provoca flujos de la periferia al centro creando en días de primavera y otoño, concentraciones de polvo que cubren a la ciudad. El polvo de color pardo es más evidente entre las 13 y 16 horas del día, y cuando no llueve o no corre viento suficiente se prolonga por varios días o semanas.

Las islas de calor generan un entorno propicio para alterar el tiempo atmosférico, al modificar sensiblemente las tormentas, nevadas, regímenes de viento, calidad del aire, y otros parámetros. Así, algunas ciudades producen procesos adicionales de calefacción a través de aparatos domésticos y vehículos, que son en gran medida responsables de las anomalías térmicas (Changnon, S. 2003: 42).

En relación con el aumento de los aguaceros en las grandes urbes como la ciudad de México, el meteorólogo Jáuregui (2000: 32), menciona que: el proceso acelerado de la urbanización que se ha observado en la ciudad capital ha inducido un aumento en la frecuencia de aguaceros intensos. Mientras estos fenómenos ocurrían a razón de cuatro eventos en la década de los años cuarenta (siglo XX), en los años ochenta se quintuplicaron.

El incremento de las precipitaciones en la ciudad de México y Toluca, puede estar relacionado con la formación de la isla de calor y el aumento de las partículas contaminantes en sus espacios territoriales, ya que éstas facilitan la condensación y la sublimación más rápidamente.

Otra manifestación del cambio climático por urbanización es que las ciudades son más secas, aunque es de con-

siderarse que en ellas los aguaceros y granizadas son más intensos. La disminución de la humedad relativa está asociada a la escasez de vegetación y de cuerpos de agua, además el aumento de temperatura permite la disminución de la humedad atmosférica; y las altas precipitaciones se pueden deber a la gran concentración de nucleantes y la convección inducida por la isla de calor (Garduño, 1994: 135).

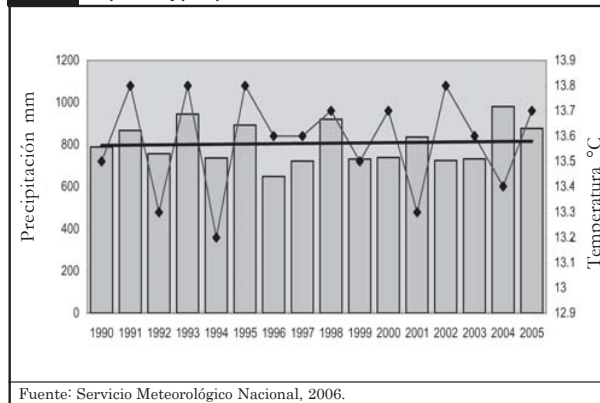
En el cuadro 1 se observa que las lluvias máximas en 24 horas son más intensas en los meses de verano, ocurriendo las cantidades más elevadas en junio y agosto, meses en los que los hidrometeoros tropicales son más dinámicos. No obstante, se aprecia que se registran precipitaciones extremas como las de 48.4 mm y 60.7 mm en junio y septiembre, respectivamente. Son acontecimientos meteorológicos relacionados con tormentas tropicales y huracanes que se acercan al territorio nacional por esas fechas, que contribuyen a elevar la humedad de los mantos acuíferos del país, pero en ocasiones al caer en una ciudad con deficiencias de drenaje y con escasas áreas verdes, como es el caso de la ciudad de Toluca, las lluvias torrenciales provocan inundaciones en algunos sitios.

Los valores de lluvias extremas pueden ocurrir en cualquier mes del año, ya que hasta en invierno y primavera (estaciones donde generalmente llueve poco), los registros son elevados. Las lluvias de invierno y primavera casi siempre están asociadas con la llegada de frentes fríos o masas de aire marítimo tropical, pero la humedad se concentra en lugares contaminados, con lo que pueden dar origen a la formación de nubes cumulonimbos en esa época y al desencadenamiento de fuertes lluvias de poca duración.

Los problemas ambientales que están relacionados con las variaciones climáticas son: las deficiencias de la cubierta vegetal, el abatimiento de los mantos freáticos, el crecimiento de la población, la expansión de la mancha construida de la ciudad y la contaminación atmosférica.

La vegetación original que todavía existe en las montañas cercanas a la ciudad consiste en bosques de pinos, oyameles y encinos. Son comunidades que se encuentran en la Sierra de las Cruces, la Sierra de Tenango y el Volcán Nevado de Toluca, cuyas altitudes van de los 2 500 a los 4 650 msnm. Existen además comunidades de arbustos pastos, hierbas y líquenes que completan los diversos estratos florísticos. Sin embargo, en la actualidad solamente ocupan alrededor del 15% del valle, considerando esta distribución del parteaguas hacia las partes bajas. Los principales enemigos de estos bosques son: la tala, donde se destina la madera a la industria, así como para ocupar espacios para los cultivos agrícola-

Gráfica 4. Temperatura y precipitación de 1990-2005 en Toluca.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2006.

Cuadro 1. Lluvia máxima en 24 horas en la ciudad de Toluca.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Med.	8.2	5.2	7.60	11.8	17.90	27.8	24.8	21.60	25.30	17.0	5.8	4.30
Máx.	42.0	20.0	31.90	62.0	29.70	48.4	45.0	42.40	60.70	37.8	26.2	20.0
Mín.	0.0	0.0	0.00	0.0	2.40	11.6	10.6	9.20	8.80	0.2	0.2	0.0

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2006.

las; asimismo, se encuentran los incendios forestales (se incrementan en la primavera), la erosión, el sobre pastoreo y las plagas forestales.

Hay que resaltar que originalmente no todo el valle estuvo cubierto de bosque, sino además se encontraba ocupado por lagunas someras, donde todavía existe agua, en algunas de ellas, como las de Almoloya del Río, San Mateo Atenco y Lerma. Estos cuerpos de agua se han ido secando paulatinamente por la extracción de agua de pozos profundos que se distribuye como agua potable hacia la ciudad de México y Toluca, así como por la ampliación de áreas agrícolas. Por otra parte, los arroyos que bajaban de las montañas cercanas abastecían a esas depresiones que contenían cuerpos de agua y donde en invierno arribaban patos canadienses y garzas.

En 1987 la compañía Lesser y Asociados hizo un trabajo con el propósito de medir los niveles estáticos en los pozos piloto de los valles de Toluca e Ixtlahuaca, en el cual se reportan datos relacionados con el abatimiento de los mantos acuíferos. El estudio manifiesta abatimientos de 70 m en la zona industrial aledaña a la ciudad de Toluca, que disminuyen radialmente hasta 10 y 20 m en el resto del valle; en la región sur los mayores abatimientos son de 30 m, hacia el oriente disminuye a 40 m y hacia el poniente 20 m, mientras al norte el abatimiento es de 10 m (Colín y Nuncio, 2006: 17).

Los mantos acuíferos y los cuerpos de agua mantenían un ambiente fresco que facilitaba la formación de neblinas abundantes y contribuía a la capa de nieve del Nevado de Toluca. La elevada humedad y la nieve todavía se forman cuando ocurren eventos atmosféricos como la llegada de masas de aire húmedo de los dos océanos.

La vegetación y los humedales se han ido acabando como consecuencia del crecimiento demográfico, ya que la población tuvo un incremento paulatino de 1940 a 1970, pero de los setenta a 2006 el ascenso ha sido considerable.

A medida que la población crece, los límites físicos de la ciudad se ensanchan debido a la construcción de casas, edificios y avenidas, entre otros; lo que ha propiciado un cambio del uso de suelo y la reducción de una de las regiones agrícolas más productivas del país, pues desde la época prehispánica se consideró uno de los graneros que abastecía de maíz al imperio azteca y posteriormente a la población colonial y contemporánea.

Los suelos originales son ricos en materia orgánica y nutrientes, por lo que en algunas parcelas del valle los rendimientos de maíz por hectárea son de hasta siete toneladas. No obstante, la infraestructura urbana amenaza con desaparecer los suelos que quedan.

En el cuadro 2 se observa el crecimiento elevado del número de automóviles en la ciudad de Toluca y su zona

Cuadro 2. Número de automóviles en la ciudad de Toluca y municipios.

Municipio	1993	1996	1999	2002
Lerma	3 089	3 930	6 716	9 780
Metepec	13 072	21 322	34 901	12 120
San Mateo	2 391	2 835	4 703	8 425
Toluca	72 445	125 461	127 663	224 385
Zinacantepec	2 797	3 974	6 384	11 540
Total	93 794	157 522	180 367	266 250

Fuente: Anuario Estadístico del Estado de México, INEGI 2003.

periférica. En el municipio de Toluca se concentra la mayor cantidad de automóviles y el segundo lugar lo ocupa Metepec, donde también la expansión urbana se ha acrecentado en los últimos años. El flujo vehicular en Toluca ha incrementado por el proveniente de los municipios y de los estados que visitan la ciudad diariamente.

La circulación de los automóviles no solamente implica la contaminación del aire y una mayor probabilidad de accidentes, sino que desprenden mucho calor a través de los escapes y de toda la unidad (la temperatura del escape oscila entre los 70 y 80° C). Esta energía contribuye a elevar la temperatura ambiente en la ciudad y su periferia, sobre todo cuando existen congestionamientos continuos de tráfico, debidos principalmente a la estrechez de las calles y avenidas.

2. Resultados

El clima urbano de la ciudad está relacionado con la isla de calor que se forma cuando el aire caliente tiende a acumularse en el centro de la ciudad, debido a la concentración de edificios y calles pavimentadas. Este aire caliente arrastra consigo la carga de contaminación, luego se expande hacia los bordes de la ciudad y vuelve a formarse un sistema circulatorio que se podría romper por el efecto de la presencia de un viento fuerte (Kenneth, 1992, citado por Hernández, 2002: 48).

La distribución e intensidad de la temperatura en la ciudad de Toluca, para las fechas de estudio, se comportó de la siguiente manera:

El 13 de enero de 2005 la distribución de la temperatura fue de manera irregular, presentándose los valores más bajos en la periferia de la ciudad, con 13.0° C, como son las áreas de las estribaciones del Nevado de Toluca con un rumbo este-oeste, ahí donde existen cultivos agrícolas y pastos. Asimismo, las bajas temperaturas se disponen hacia el norte de la ciudad con dirección hacia San Cristóbal, donde prácticamente termina la zona urbana y predominan sitios semirurales con cultivos de maíz y suelos con cantidad considerable de materia orgánica.

Los valores térmicos más elevados se presentan en el centro de la ciudad y en el aeropuerto con 15.0° C, respectivamente, siendo estas áreas donde se forman las islas de calor más

evidentes, pues coinciden con la mayor infraestructura urbana como son: casas y edificios, tránsito vehicular, sitios industriales cercanos, avenidas asfaltadas, pistas pavimentadas y la dinámica de los vuelos nacionales e internacionales. Así, del centro al aeropuerto se registran las temperaturas más elevadas (véase mapa 1).

Durante la noche, sigue siendo el centro de Toluca y el rumbo hacia el aeropuerto, donde existen indicios de que las temperaturas se elevan, acentuándose sobre el espacio aéreo con 8.5°C , mientras que hacia las zonas adyacentes como Metepec y San Cristóbal se registraron las cantidades térmicas menos acusadas, con 7.5°C , por lo que la diferencia entre el centro y las orillas es de sólo 1.0°C (véase mapa 2).

Al comparar los valores entre el día y la noche, se observa que en términos generales obedecen al régimen térmico del invierno ya que las temperaturas son relativamente bajas, y como es obvio, decrecen aun más por la noche, pero en el caso nocturno continúa la formación térmica más elevada en casi las mismas áreas urbanas, lo que indica que esos espacios poseen las condiciones ambientales necesarias para elevar la temperatura.

Hay que considerar también que la traza de la ciudad está ubicada entre los 2 600 y 2 650 msnm (sitios donde se encuentran las estaciones), lo que la hace que la pendiente sea más o menos plana, pero la temperatura varía significativamente en pocos metros. Sin embargo, las islas de calor se concentran en lugares de mayor actividad humana.

Se observa que la diferencia térmica, durante el día, entre el centro de la ciudad y la periferia es de 3.0°C , mientras durante la noche esa diferencia es de sólo 1.5°C . Las diferencias observadas son escasas porque en áreas urbanas más grandes como es el caso de la ciudad de México, las variaciones entre el centro y las orillas son de hasta 8.0°C (Jáuregui, 2003: 35).

La temperatura del 15 de julio de 2004 también presentó los valores más elevados en el centro y noreste de la ciudad con una propagación hacia el aeropuerto donde los datos están entre 18.5°C y 19.0°C , mientras en las áreas aledañas a unos 5 y 7 kilómetros las temperaturas están entre 17.0°C y 18.0°C . Además del centro más cálido también está en la misma situación la zona industrial cercana coincidiendo con las avenidas más transitadas. Así la diferencia térmica entre el centro y la periferia es de sólo 2.0°C (ver mapa 3).

Durante la noche del mismo día, la isla de calor se dispuso también entre el centro y noreste de la ciudad con valores de 12.0°C , en tanto que las temperaturas menos altas se distribuyeron con direcciones norte y sur con cantidades de 9.5°C . Siendo los municipios de Almoloya de Juárez, San Mateo y San Cristóbal donde las temperaturas respondieron a un espacio menos urbanizado. La diferencia tér-

mica por la noche fue de 2.5°C . Al comparar los comportamientos se observa que las variaciones de calor son muy similares entre los dos turnos (véase mapa 4).

Tomando en cuenta la contaminación atmosférica como un agente importante en las variaciones climáticas en varias regiones de la Tierra, se elaboraron dos mapas de la región de estudio, para mostrar la concentración de los contaminantes, así como para comparar sus valores con las normas de calidad del aire en la ciudad de Toluca. La distribución de los contaminantes se concentra en los sitios cercanos a la zona industrial y en el centro urbano. Sin embargo, la escala de los datos están muy por debajo de los que marca la norma, lo que indica que la contaminación no tiene relevancia para la producción del efecto de invernadero y en ese sentido parece no contribuir al aumento de calor en la ciudad, lo que requeriría de un estudio con mayor precisión (véanse mapas 5 y 6).

Un efecto invernadero muy importante es el que producen las minúsculas gotitas de agua de las nubes, ya que originan una fuerte difracción del infrarrojo emitido por el suelo, en todas las longitudes de onda posibles, y vuelven a enviar una gran parte en su dirección inicial, razón por la cual durante la noche cuando el cielo está cubierto, hace más calor que cuando el cielo está claro. La sensación de malestar que se siente bajo una nube de tormenta se debe también a este retorno al suelo cálido de la radiación que ésta emite (Labeyrie, 1987: 184).

El efecto invernadero natural está relacionado con la cantidad de vapor de agua que existe en la atmósfera en un momento determinado, entre más elevada es la humedad atmosférica mayor la concentración de calor que retiene esta sustancia. El calor que generan los días soleados por las mañanas es atrapado parcialmente por la formación nubosa de las siguientes horas del día, lo que conlleva a un aumento de la temperatura ambiental. Este acontecimiento es muy evidente comparando valores de temperatura entre áreas cercanas a los mantos de agua con las que se encuentran en desiertos, es decir, en los lugares áridos se presentan variaciones térmicas extremas. Este argumento es importante mencionarlo porque el aumento de la temperatura en la ciudad de Toluca y en otras ciudades del mundo se debe en gran medida a este fenómeno físico que ocurre con frecuencia a lo largo de todo el año.

Conclusiones

El clima de la ciudad de Toluca está asociado con el cambio de uso del suelo de la ciudad, observándose una modificación de la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y el comportamiento de los vientos, lo que está relacionado

estrechamente con la presencia de la isla de calor. La diferencia térmica entre la periferia y el centro es de 3.0° C, durante el día y de 1.5° C por la noche en el invierno, en tanto que en el verano la oscilación es de 2.0° C, por lo que el comportamiento está vinculado con su extensión territorial, cuyas dimensiones son típicas de una ciudad media.

La diferencia de temperatura entre el día y la noche es considerable presentándose los valores más elevados en el día, por lo que se infiere que además de los tipos de materiales con que está construida Toluca, la insolación es un factor importante en las variaciones atmosféricas. Esta manifestación también se observa en el verano, con lo que se deduce que el calor fluctúa con base en la hora del día y dependiendo de la estación del año.

La ciudad de Toluca se ha venido construyendo de manera horizontal, debido a que, por un lado, los habitantes diseñan y construyen su propia casa y por el otro, a partir de 1985 las autoridades recomendaron que las construcciones fueran de niveles más bajos, como consecuencia de la alta incidencia de sismos con magnitudes diversas. El espacio urbano, al expandirse con rapidez, propicia el cambio del uso del suelo natural por la piedra, el cemento, el asfalto, la varilla, etc., con lo que los lugares se vuelven más cálidos y secos.

Además de la concentración de casas, edificios, comercios, avenidas y áreas industriales, existen carreteras que comunican a Toluca con las ciudades de México, Querétaro,

Morelia, Guadalajara, entre otras, así como con las comunidades de los municipios circunvecinos, lo que motiva el aumento del flujo vehicular por el centro y periferia de la ciudad. El tránsito es muy elevado hacia la ciudad de México, ya que se encuentran a una distancia de sólo 80 kilómetros. Parte del calor y de la contaminación atmosférica que se concentra en Toluca proviene de otras regiones.

La ciudad se ubica en el valle de Toluca, el cual se extiende de norte a sur comprendiendo 700 km², por lo que el espacio urbano se seguirá incrementando en las próximas décadas con población de varios estados de la República Mexicana, aunque la migración más elevada es y será la del Distrito Federal, y las áreas térmicas abarcarán más espacio y su intensidad aumentará.

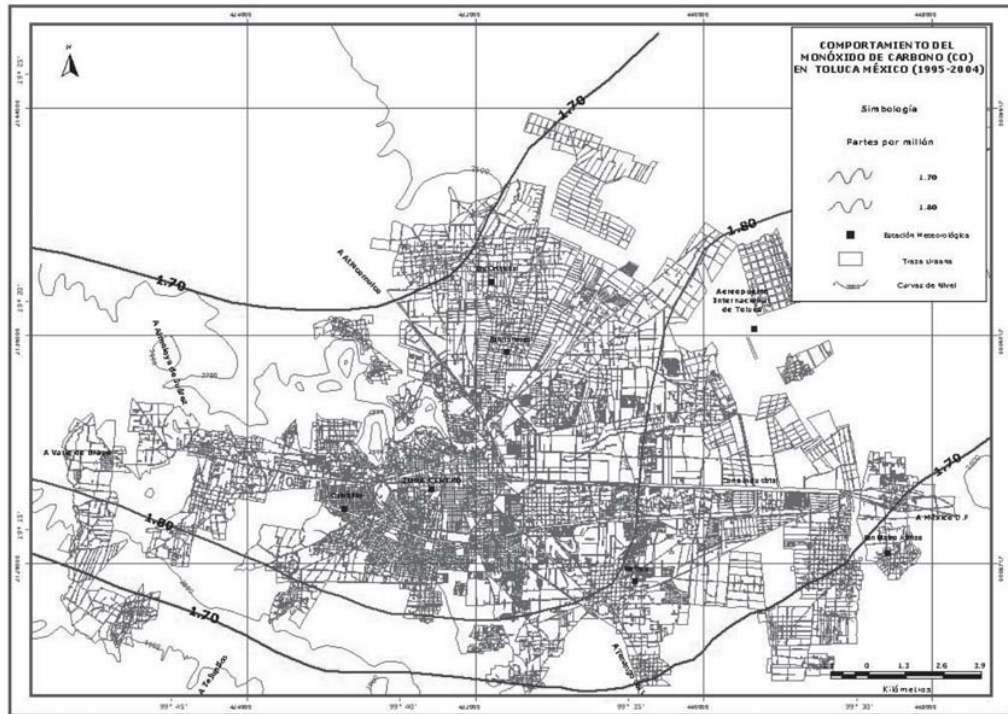
Los problemas ambientales más relevantes de la ciudad y el valle son la deforestación, la disminución de los cuerpos de agua, el abatimiento de los mantos freáticos, la contaminación atmosférica y la expansión de la mancha urbana, ya que éstos son considerados los agentes que más modifican el clima. Sin embargo, la constancia de los vientos, la alta insolación a lo largo del año, la elevada altitud y la convergencia de fenómenos atmosféricos tropicales y fríos, permiten la ventilación y la dispersión de la energía calorífica y de los contaminantes con mayor rapidez que en otras regiones del mundo, donde las características atmosféricas suelen ser diferentes.

ergo

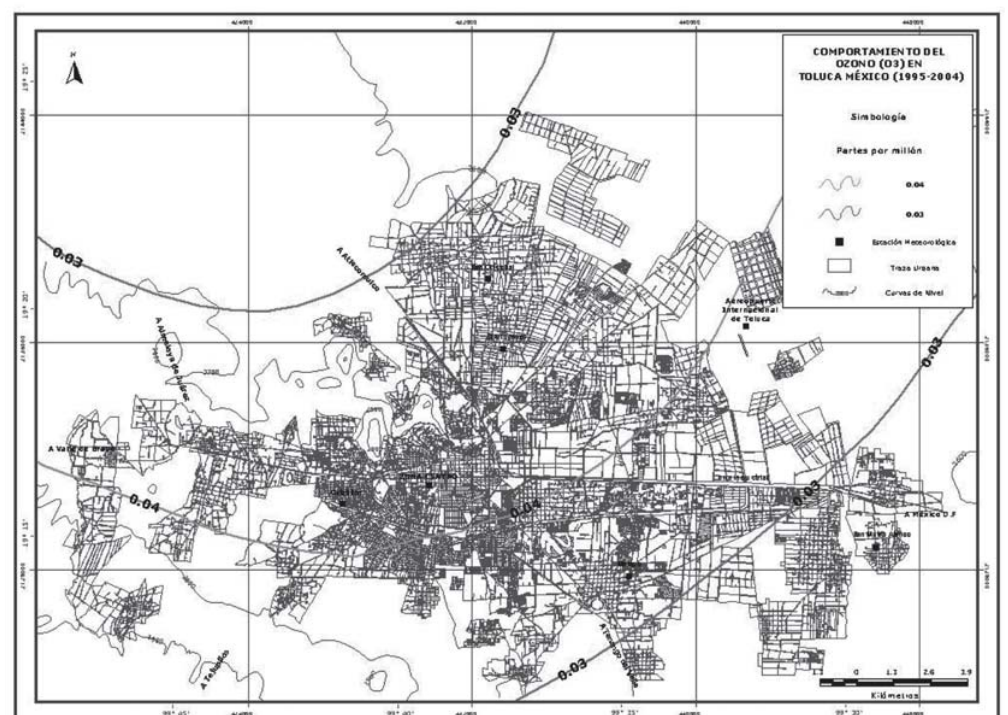
Bibliografía

- Gobierno del Estado de México y Universidad Autónoma del Estado de México. (2000). *Atlas de la cuenta hidrológica del río Lerma*. Tomo V, Toluca.
- Ayllón-Torres, T. (2003). *Elementos de meteorología y climatología*. Trillas, México.
- Colín-Salazar y Nucio Quiroz (2006). *El abatimiento del manto freático en el municipio de San Mateo Atenco en el periodo 1970-2000*. Tesis. UAEM, Toluca.
- Changnon, S. (2003). "Urban effects on freezin rain ocurrentes", *Journal of Applied Meteorology*.
- Hernández-Romero, J. (2002). *Contaminación atmosférica en la ciudad de Toluca*. Tesis. UAEM. Toluca.
- Hernández-Romero, J.; D. Madrigal y C. Morales (2005). "El monóxido de carbono y el clima en Toluca, de 1995 a 2001", *Ciencia ergo sum*. Vol. 11. Núm. tres. Toluca. pp. 263-274.
- Garduño, R. (1994). *El velidoso clima*. FCE, México.
- Jáuregui -Ostos, E. (2000). *El clima de la ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Labeyrie, J. (1987). *El hombre y el clima*. Gedisa, Barcelona.
- Leggett, J. (1990). *El calentamiento del planeta*. FCE, México.
- Morales -Méndez, C. (2001). *Variaciones climáticas en la Tierra*. Tesis de maestría. UNAM, México.
- <www.um.es/dp/geografia/papeles/n33/04>.
- Capelli de Steffens, A. et al. (2001). "La isla de calor estival en Tenuco", Chile.

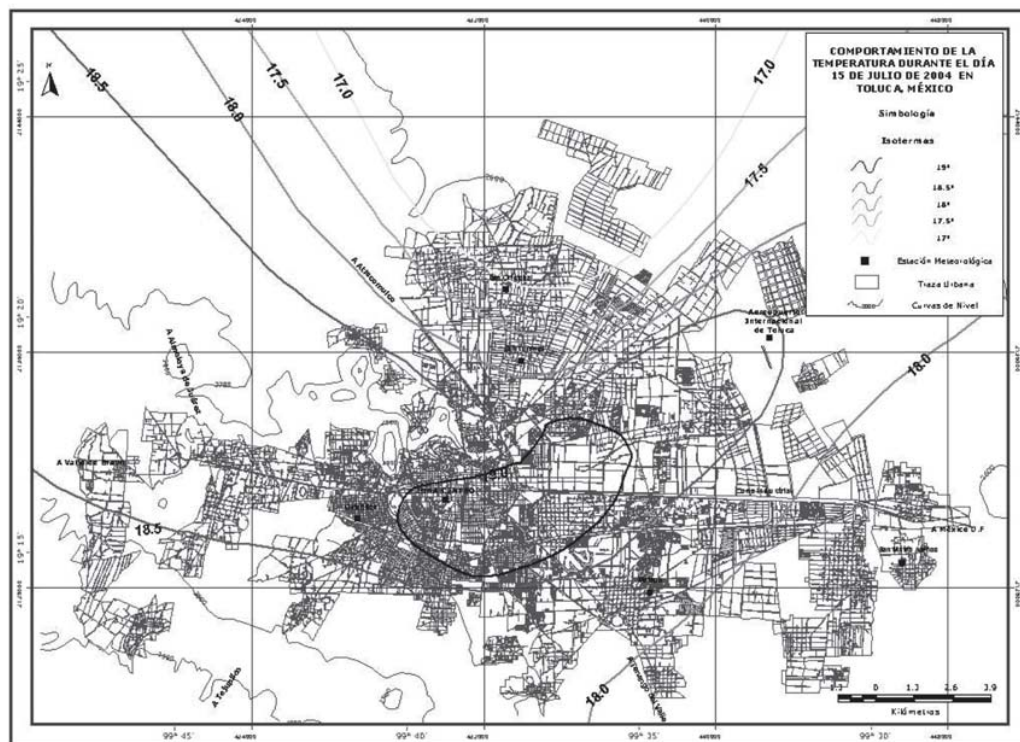
Mapa 1.



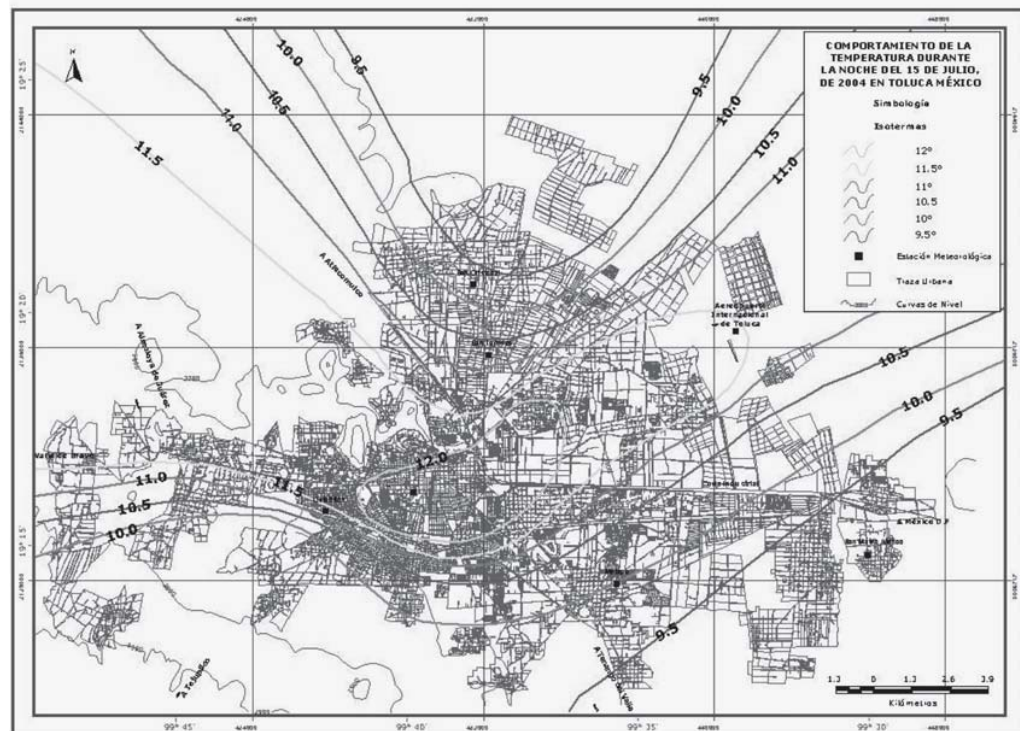
Mapa 2.



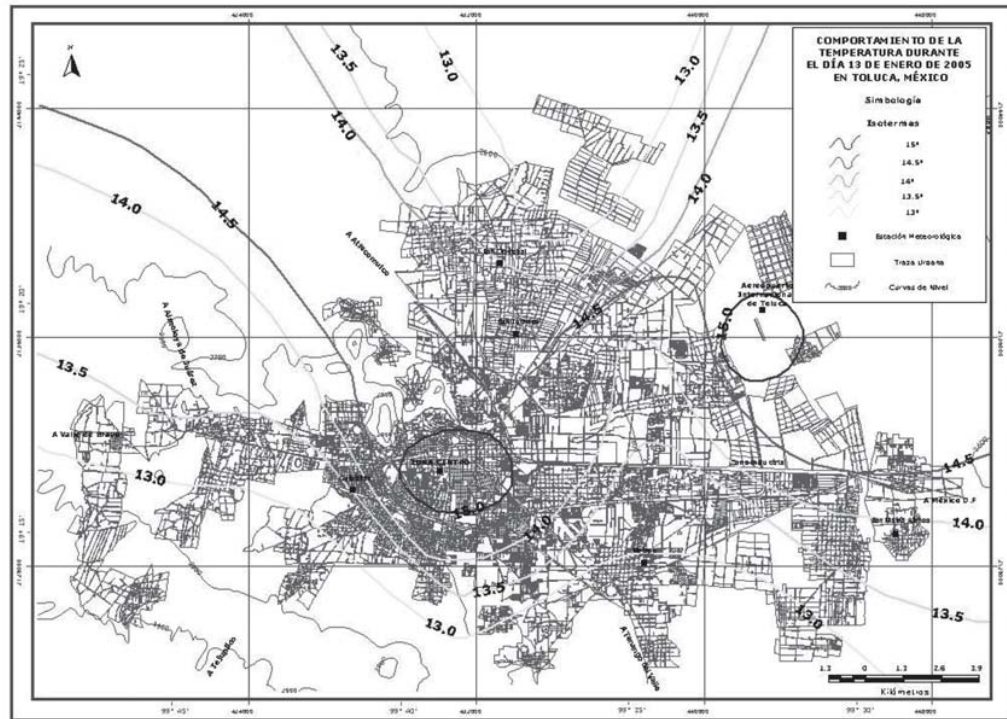
Mapa 3.



Mapa 4.



Mapa 5.



Mapa 6.

