

El clima/bioclima de un parque periurbano de la Ciudad de México

Recibido: 8 de febrero de 2008. Aceptado en versión final: 2 de abril de 2008.

Ernesto Jáuregui Ostos*
María Eugenia Heres Pulido**

Resumen. La urbanización acelerada que ha experimentado la Ciudad de México está modificando el clima local. El cambio de uso de suelo, sobre todo en las áreas periféricas de la capital, afecta el clima local al cambiar suelo natural permeable por elementos no porosos que durante el día absorben un alto porcentaje de la radiación solar. A medida que creció la ciudad se incrementó el calor del aire urbano, lo que ha traído consigo una mayor frecuencia de las ondas de calor observadas en la estación cálida del año, de marzo a mayo (Jáuregui, 2006). En este trabajo se examina la posible influencia de la ciudad sobre el bioclima del parque denominado Los Ciervos, ubicado en el piedemonte de las montañas del NW de la capital. Se trata de una Reserva

Natural Protegida (altitud media 2 376 msnm) con una extensión de 6 ha, es decir, a unos 126 m sobre la planicie del Valle de México. Se evalúa el actual ambiente bioclimático de esta zona de la ciudad que está experimentando cambios drásticos de uso del suelo en la periferia de la capital. Para esto se aplican dos índices (PET y PMV) que toman en consideración el balance energético humano, es decir, las cuatro variables climáticas (temperatura, humedad, viento y radiación del entorno), así como la cubierta de ropa y actividad personal.

Palabras clave: Bioclima, urbano, trópicos, índices bioclimáticos.

Climate/bioclimate of on periurban park in Mexico City

Abstract. The urbanization of Mexico City has progressed almost in all directions. The land use change has contributed to the intensification of its heat island (Jáuregui, 1986). The new urbanized suburban areas have an adverse effect on the thermal comfort during the warm season, since the creation of new urban parks lags behind the urban growth. In this paper the temperature and humidity regimes are examined in a park located in the north west of the capital

city. Application of energy balance indices reveals that the present bioclimate is cold to cool during winter and warm comfortable during summer. These results will be of valuable use for future assessments as the accelerated urbanization process advances in that particular area.

Key words: Urban heat island, urban parks, Mexico city.

*Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, 04510, México, D. F. E-mail: ejos@atmosfera.unam.mx

**Facultad de Estudios Superiores Iztacala-Universidad Nacional Autónoma de México, Biología, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, 54090, Estado México, México. E-mail: meheres@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes de la Ciudad de México, además de cumplir la función de esparcimiento constituyen sumideros del calor sensible que se genera por el proceso de urbanización modulando en cierta medida el régimen climático local de las ciudades.

Aun cuando la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) cuenta con numerosas áreas verdes entre alamedas (8), bosques (6) y jardines (29), parques ecológicos (6) y otras áreas vegetadas, éstas no son suficientes dado el tamaño de la Ciudad de México (Figura 1). En la Tabla 1 se detallan las áreas verdes de la ciudad capital y su extensión (en hectáreas). Además de generar oxígeno en el proceso de fotosíntesis, el arbolado urbano filtra en cierta medida la contaminación particulada que, elevada por el viento, cruza el parque. Finalmente el bosque urbano al evaporar la humedad del follaje refresca el ambiente proporcionando a la población un lugar de solaz y esparcimiento con sus lagos, fuentes y otros atractivos.

Las áreas verdes de la capital contienen parques de diversos tamaños, algunos ubicados en los suburbios, otros pequeños y de reciente creación como por ejemplo la llamada Alameda del Sur (Coyoacán), la Alameda de Oriente vecina al aeropuerto al NE de la ciudad. Entre los parques periurbanos además del Desierto de los Leones, ubicado en la zona de montañas del SW de la cuenca de México, se encuentra la reserva ecológica de 10 000 ha de extensión denominada Plan Texcoco, cuyo suelo salitroso ha sido en gran parte pastizado resistente al salitre del suelo ayudando entre otros beneficios a reducir las tolvaneras (Jáuregui, 1969). Otras áreas verdes en la ciudad hacia el oriente y sur son: el Bosque de Tláhuac de 79 ha de extensión que incluye un pequeño lago, el Parque Ecológico Xochimilco con canales navegables, el Parque Nacional Cerro de la Estrella, así como el Parque Viveros de Coyoacán (39 ha). El Parque Omeyocan o de los Ciervos tiene una extensión de 6 ha y se localiza en el piedemonte al noroeste de la capital a unos 190 m sobre la altitud media de la planicie (2 250 m; Figura 1). Esta diferencia de altitud se refleja en el régimen térmico del parque (más frío durante la noche) con respecto a otras áreas verdes

de la ciudad ubicadas en la planicie (por ejemplo, Chapultepec, Ciudad Universitaria, Plan Texcoco). El parque Omeyocan es aledaño de un área verde arbolada más extensa denominada Parque Recreativo Municipal Los Ciervos, en Atizapán de Zaragoza, siendo esta la única área de reserva ecológica ubicada al noroeste de la Ciudad de México (Medina *et al.*, 2006).

El área en estudio ha sufrido una transformación muy marcada pues a partir de los años sesenta del siglo pasado a fechas recientes, sólo queda un 2% según estimaciones de Medina *et al.* (2006). Estos autores sugieren un plan de reforestación con plantas nativas (por ejemplo, encinos) para proteger tanto los suelos como el agua, propiciando así una mejor calidad del aire. Es en este contexto que este estudio intenta abordar para un mejor conocimiento del impacto de los cambios que de uso del suelo están teniendo lugar sobre las condiciones climáticas locales. El objetivo de este trabajo es caracterizar el clima higrótérmico del parque Omeyocan, así como su impacto favorable en el entorno suburbano. Se presenta una comparación de la rapidez de enfriamiento del parque con otras áreas verdes urbanas/suburbanas de la Ciudad de México.

Tabla 1. Las áreas verdes de la Ciudad de México

Áreas verdes	Hectáreas
Alamedas	140.8
Bosques	1 174.4
Jardines	63.9
Parques	833.6
Parques Ecológicos	281.8
Parques Nacionales	316.3
Parques Recreativos	95
Reservas Naturales	59.1
Reserva Ecológica	450.0
Viveros	72.2
Rancho El Retiro	2.7
Total	3 489.8

Fuente: *Guía Roji*, 2004 (conformada por A. Estrada).

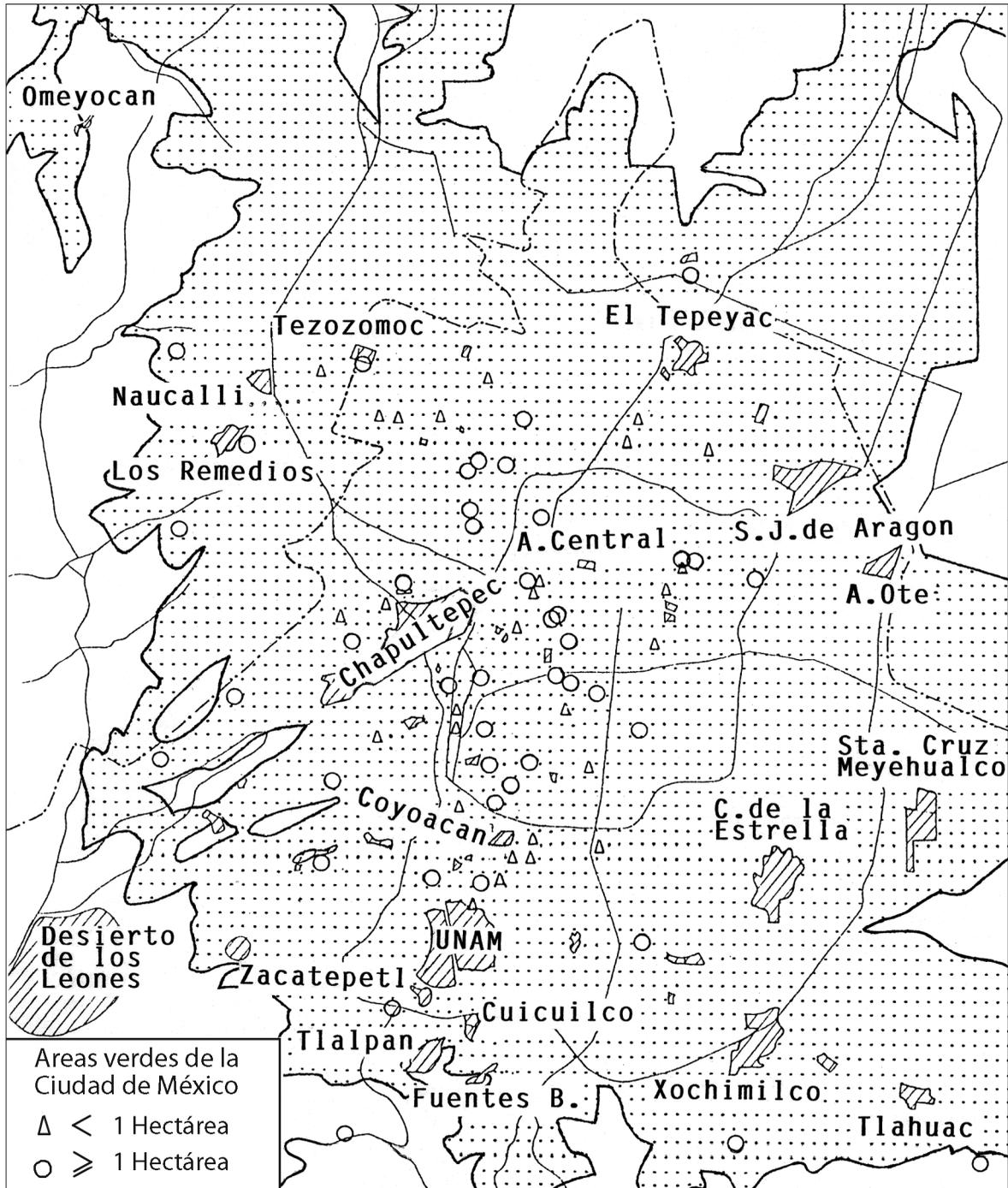


Figura 1. Ubicación de áreas verdes en la Ciudad de México.

Finalmente, se aplican dos índices universales (PET y PMV) que toman en consideración el balance energético humano, es decir, las cuatro variables climáticas (temperatura, humedad, viento y radiación del entorno), así como la cubierta de ropa y actividad personal.

En este contexto se evalúa el clima/bioclima de dicho parque periurbano, denominado Los Ciervos, dentro del cual se encuentra el área verde llamada Omeyocan (6 ha), y que está situado en el noroeste de la capital (Figura 1). Asimismo, se presenta la influencia de la isla de calor en el área en estudio ante la creciente urbanización.

LOS DATOS

Los datos climatológicos corresponden a los observados durante 1999-2002 en un termohigrógrafo marca Lambrecht colocado en una caseta en un sitio vigilado del parque (Figura 2); además se utilizan datos de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional periodo 1961-1985. Asimismo, se utilizan los datos de las estaciones automáticas (denominadas Minería y Plan Texcoco) pertenecientes al Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

EL CLIMA

El parque se localiza en una región tropical de montaña, su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano que alcanzan unos 700 mm anuales siendo la temperatura media anual de 13° C. En la Tabla 2 aparecen datos climatológicos de estaciones cercanas al parque cuyas altitudes oscilan entre los 2300 y los 2450 msnm. En consecuencia, tanto el régimen térmico como el pluviométrico son muy semejantes entre sí, por lo tanto se pueden hacer extensivos para describir el clima general del Parque Omeyocan cuya altitud en el sitio donde se ubicó la estación fue de 2443 msnm. En la misma tabla se puede advertir que el sitio de Omeyocan es marcadamente más fresco (4° C) si se toman en consideración las temperaturas anuales respecto a la estación ubicada en el centro de la capital (Tabla 2).

La temperatura

Una comparación de las temperaturas máximas y mínimas del Parque Omeyocan con la estación Las Ruinas, distante unos 2.5 km y a menor altitud (2300 msnm), revela poca oscilación térmica anual a lo largo del año aunque por su mayor altitud la temperatura en el Parque Omeyocan respecto al centro de la capital (Minería) es oscilación diaria sobre todo en las mañanas de los meses invernales según se ilustra en la Figura 3.

Variación diurna de la temperatura

La Figura 4 describe la variación promedio de la temperatura (en julio de 2000) en Omeyocan y de otras áreas verdes como el bosque de Chapultepec (con un arbolado denso), el campus de la Universidad Nacional (UNAM) ligeramente vegetada y dos sitios altamente urbanizados: la antigua Facultad de Minería ubicada en el centro histórico caracterizado por construcciones masivas y casi nula vegetación, y el Observatorio de Tacubaya que se localiza en los suburbios hacia el poniente de la ciudad capital. De esta figura se aprecia que las temperaturas en el parque Omeyocan son las más bajas (unos 3° C), sobre todo en la segunda mitad de la noche y hasta entrada la mañana.

La precipitación

El área en estudio se encuentra bajo la influencia de las masas de aire polar durante el semestre centrado en el invierno (noviembre-abril). Estos sistemas atmosféricos producen escasas lluvias. Las precipitaciones en forma de aguaceros se formalizan con la llegada de la corriente de vientos húmedos del Este (Caribe) y Sur (Pacífico) durante el verano, con el paso de las ondas tropicales siendo éstas en ocasiones muy intensas con precipitaciones de entre 40 y 70 mm/24 hr y aun mayores de 100 mm/24 hr (Tabla 2).

La humedad

Como era de esperar, la humedad ambiente en el bosque Omeyocan es elevada debido a la presencia del arbolado y varía de 90 % de humedad relativa durante la noche y hasta el amanecer, descendiendo a la mitad de dicho valor durante las horas del mediodía y por la tarde. En la Figura 5 aparece para

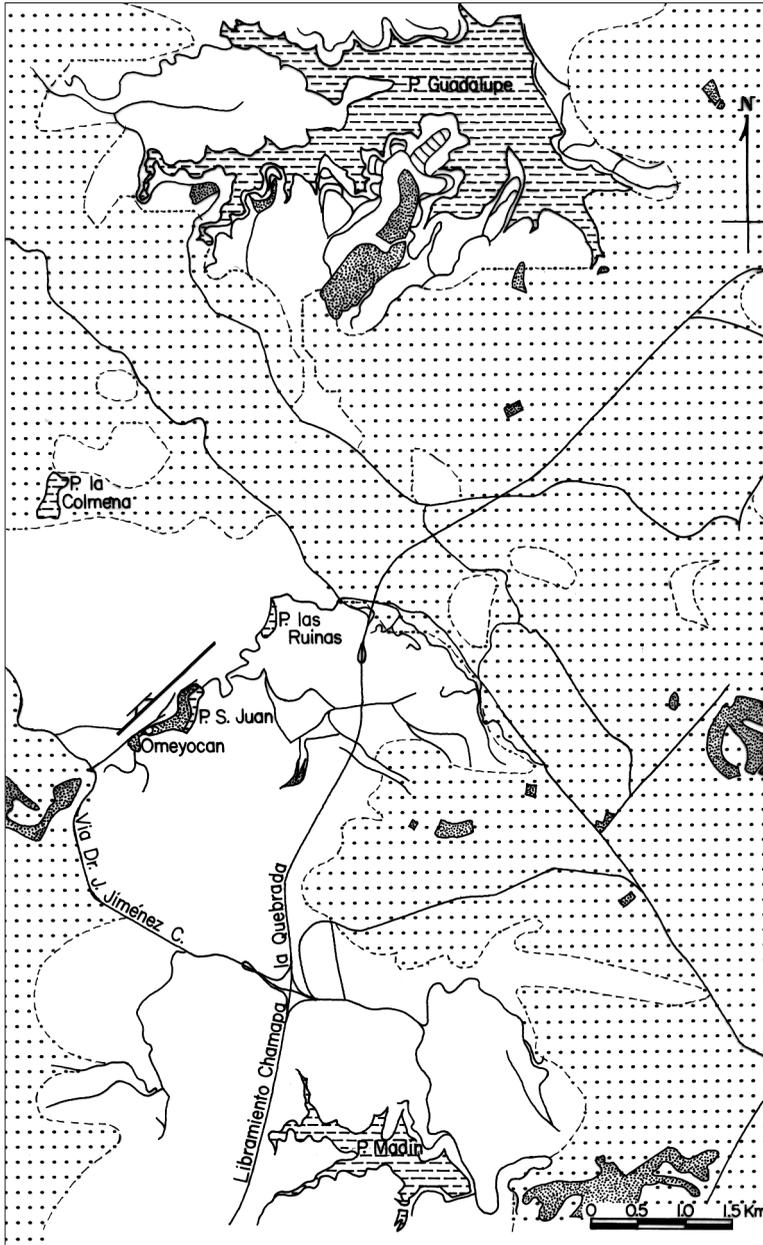


Figura 2. Ubicación de las estaciones climatológicas del área en estudio.

Tabla 2. Datos climatológicos de estaciones cercanas al Parque Omeyocan

Temp. Media °C	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	anual
Omeyocan (2000)	8.4	10.2	13.2	15.3	15.3	14.7	14.6	14.1	14.6	13.9	12.7	9.4	13.0
Presa Madín (2000)	11	12.7	15.4	16.6	17.1	17.8	16.7	16.7	16.2	15	13.4	11.2	14.9
Presa Guadalupe (1952-90)	12.7	13.9	16.1	17.9	18.4	18.4	17.6	17.7	17	15.7	14.4	12.8	16
Presa Las Ruinas (1961-85)	10.7	11.4	13.6	15.8	17.2	16.8	16.2	16.1	15.5	13.9	12	10.8	14.2
Chapultepec (1931-60)	11.1	12.9	15.0	16.0	16.8	17.2	16.4	16.4	16.0	14.7	12.7	11.2	14.7
Tacubaya (2000)	14	15.6	18	19.4	18.6	17.3	17.3	16.6	17.7	16.5	16.8	13.7	16.8
Minería (2000)	14.8	16.3	18.5	19.8	19.2	17.6	18.1	17.3	17.9	17.1	17.4	14.1	17.3
Texcoco (2000)	12.7	14.1	16.5	18	18.1	17.1	17.2	16.5	16.8	15.6	15.9	12.2	15.9
Precipitación mm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	anual
Presa Madín (2000)	7.6	3.9	6.5	22.6	65.4	109.1	145.2	131.3	129.9	56.8	16.7	7.1	702.1
Presa Guadalupe (1952-90)	8.2	6.3	14	27.7	63.1	136.2	144.9	131.7	111.8	51.1	8.5	6.3	709.8
Presa Las Ruinas (1961-85)	6.7	6.8	9.4	28.4	68.9	145.2	169	162.6	118.9	57.4	9	5.1	787.4
Lluvia máx 24/hrs (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	anual
Presa Guadalupe (1952-90)	36	29.3	53.5	43	75	48.4	60.7	67	129.8	44	42	19.5	129.8
Presa Las Ruinas (1961-85)	16	9.5	27.5	25.8	25.5	53	68	48	53	42.2	16	14	68

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

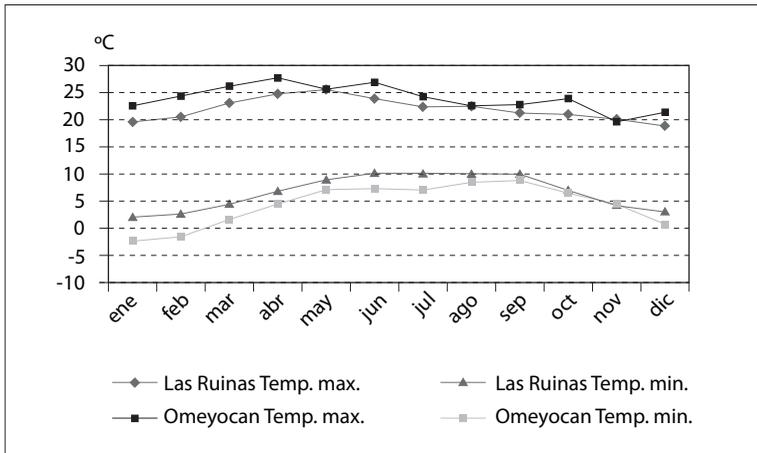


Figura 3. Variación de la temperatura en un ciclo anual en Las Ruinas (1964-1990) comparado con Omeyocan (2000).

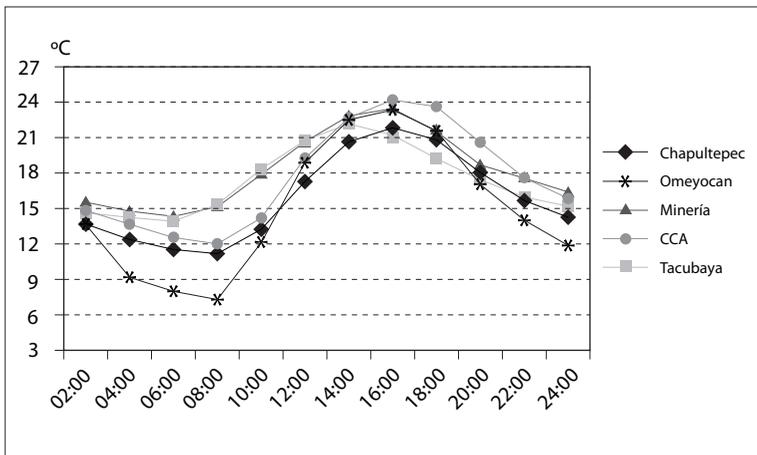


Figura 4. Variación promedio de la temperatura para julio del 2000.

los meses de enero y julio el recorrido medio de la temperatura el cual, como es sabido, es inverso al correspondiente a la humedad relativa.

El bioclima del Parque Omeyocan se puede resumir como frío o fresco con temperaturas invernales cercanas a los cero grados, húmedo en la noche y al amanecer, mientras que por las tardes el aire es tibio (25 a 28° C durante abril; Figura 6) con menor presencia de humedad

EL PARQUE OMEYOCAN Y LA ISLA DE CALOR DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En la actualidad el fenómeno del entibiamiento del aire de la ciudad (la isla de calor) no alcanza todavía a afectar significativamente el bioclima del área en estudio (Figura 7). El diferencial de la rapidez del

enfriamiento del aire, uno urbano (antigua Escuela de Minería) y el otro rural (Omeyocan), está en gran parte en el origen de la isla de calor. El sitio rural vecino a la ciudad se enfría más rápidamente ya que la radiación de onda larga que se emite durante la noche es dirigida hacia toda la bóveda celeste, mientras que en la ciudad este proceso se ve limitado por la obstrucción que implican las paredes de los llamados cañones urbanos constituidos por el volumen de aire limitado por la altura media de los edificios, las paredes de fachadas y el pavimento. Mientras más profundos dichos cañones, más lentamente perderán energía térmica por la noche. En la Figura 8 se aprecia claramente que Omeyocan se enfría más velozmente que Chapultepec y Plan Texcoco, siendo el Centro Histórico donde el enfriamiento es más lento, como era de esperar.

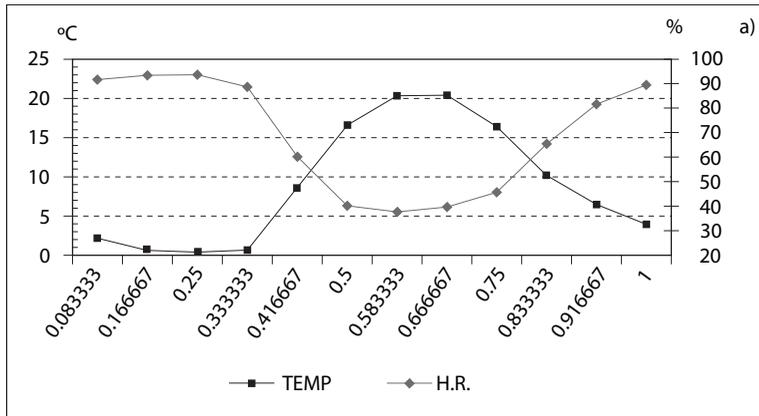


Figura 5. Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Omeyocan. Periodo 1999-2002. a) enero, b) julio.

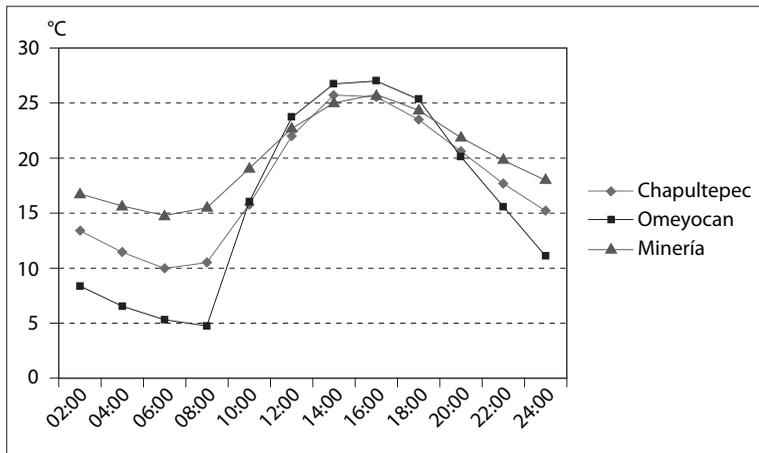
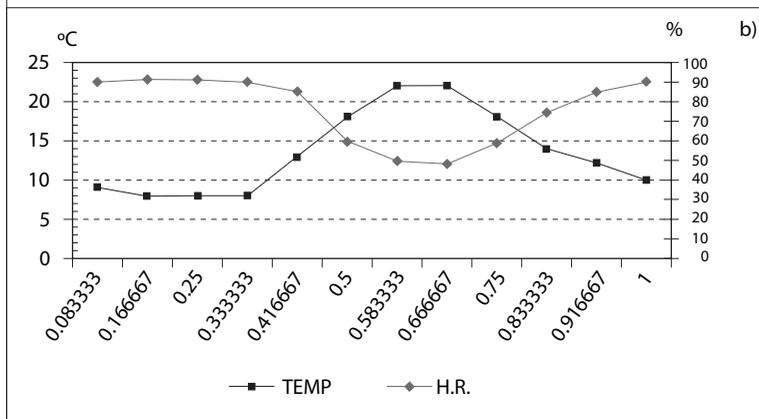


Figura 6. Evolución diaria de la temperatura en abril de 2000 en tres sitios de la Ciudad de México.

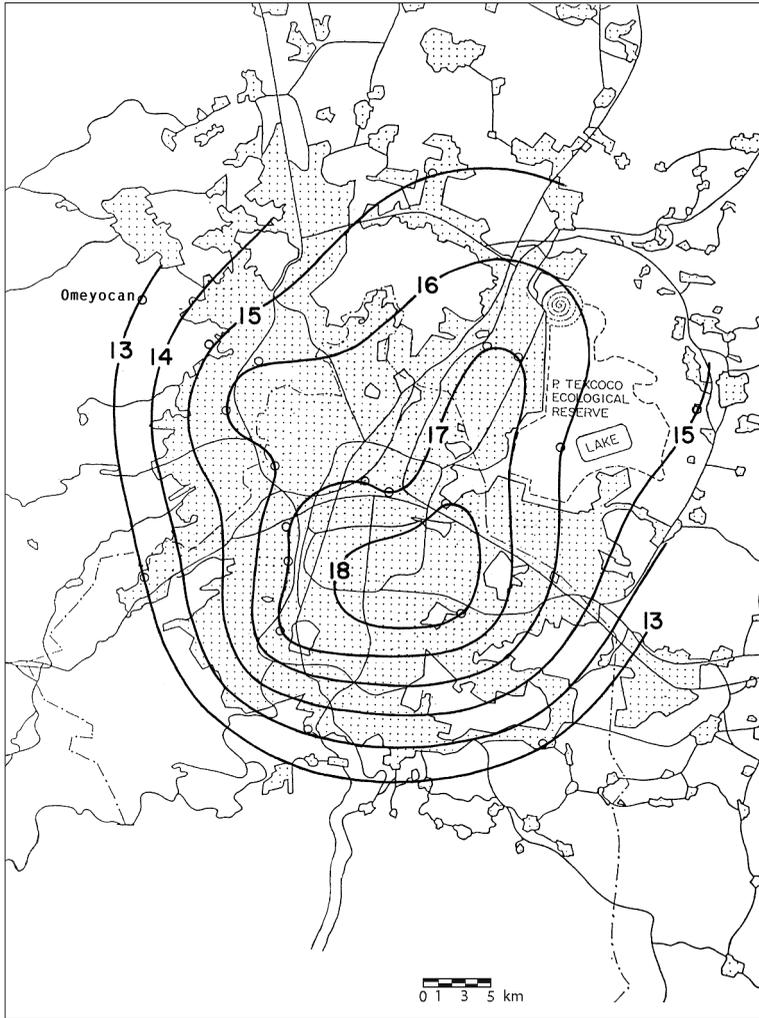


Figura 7. Isla de calor en la Ciudad de México. Año 2000.

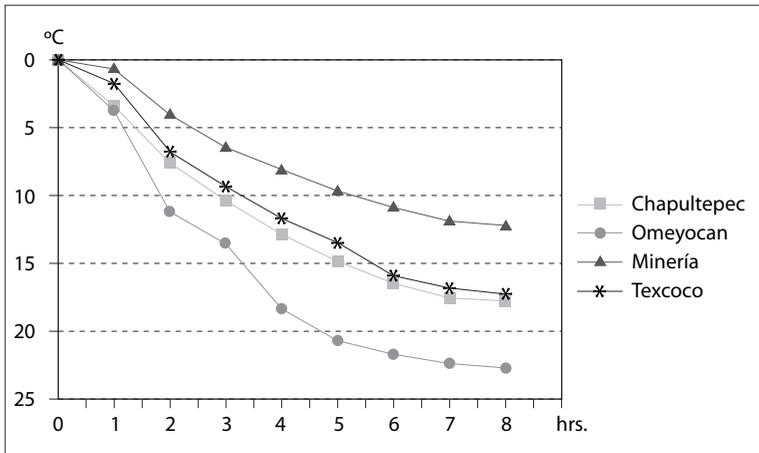


Figura 8. Razón de enfriamiento promedio en enero del 2000 en el Parque Omeyocan respecto a otros sitios.

EL BIOCLIMA

Para la evaluación de los niveles de confort/inconfort se utilizaron dos enfoques basados en el balance energético del cuerpo humano: *a)* la Temperatura Fisiológicamente Equivalente (PET por sus siglas en inglés) desarrollado por Hoeppe (1999), y *b)* el índice bioclimático PMV (voto medio predicho) método propuesto por Fanger (1972).

Ambos métodos consideran el confort humano tomando en cuenta las cuatro variables climatológicas que afectan al ser humano: temperatura, humedad, viento y radiación del entorno, además de dos variables personales como son cubierta de ropa modulada por la temperatura (Tabla 3a) la resistencia térmica del vestido (en unidades *clo*) y la actividad que realiza la persona (Tabla 3b).

Se consideró un factor de visión del cielo de 1, es decir, un espacio abierto en un área suburbana pequeña.

La diferencia entre ambos métodos reside en la forma de presentar los resultados de la evaluación: el método llamado de temperatura fisiológicamente equivalente (PET) propuesta por Hoeppe (1999) presenta los resultados comparados con una tabla de sensaciones térmicas expresadas en grados centígrados, mientras que el segundo enfoque, propuesto por Fanger (1972) se expresa en unidades

Tabla 3. a) Resistencia térmica del vestido en unidades *clo* y b) actividad que realiza la persona

Temperatura (°C)	<i>Clo</i>
< 15	1.0
15-20	0.8
20-23	0.7
23-27	0.6
27-35	0.5
> 35	0.5

a)

estatura	1.65 m
sexo	hombre
peso	65 kg
edad	35 años
actividad	120 W (sedente)

b)

adimensionales que van de +3.5 (calor bochornoso) a -3.5 (muy frío; Tabla 4).

Se hicieron las consideraciones siguientes para adaptar dichos métodos a nuestro medio: para la evaluación del bioclima en Omeyocan se consideraron dos horas interesantes en que aproximadamente

Tabla 4. Equivalencias de rangos de los índices termales: índice de valoración media o PMV (Fanger, 1972) y la temperatura fisiológicamente equivalente (PET, según Hoeppe, 1999) adaptado por Matzarakis y Mayer (1996) para diversos grados de percepción térmica

PMV	PET (°C)	Percepción térmica	Grado de estrés fisiológico
-3.5	0	Muy frío	Frío extremo
-2.5	12	Frío	Muy frío
-1.5	16	Fresco	Frío
-0.5	19	Ligeramente fresco	Fresco confortable
0.5	24	Confortable	Neutro cómodo
1.5	26	Ligeramente cálido	Tibio, umbral superior de la comodidad
2.5	32	Cálido	Posible fatiga en exposición prolongada o actividad física
3.5	40	Caluroso	Posible golpe de calor, calambres y agotamiento
> 3.5	> 40	Muy caluroso	Golpe de calor-insolación

ocurren los extremos diurnos de temperatura: las 6:00 y las 15:00 horas. Obtenidos los valores de las variables mencionadas y a las horas señaladas, se procedió mediante una hoja de cálculo a deter-

minar los índices de confort propuestos por los autores ya citados.

La Tabla 5 hace una comparación del bioclima en estaciones urbanas (Palacio de Minería),

Tabla 5. Comparación del bioclima en estaciones urbanas (Palacio de Minería), suburbanas (Aeropuerto) y rurales (Omeyocan)

Enero 2001						
6:00	Temp. °C	H. R. %	Viento m/s	clo	PMV	PET °C
Palacio de Minería	10.3	65	0.9	1.0	-1.7	2.9
Parque Madín/Omeyocan	3.3	92	0.6	1.0	-2.7	-3.8
Aeropuerto	6.9	82	1.1	1.0	-2.3	-0.8
15:00	Temp. °C	H. R. %	Viento m/s	clo	PMV	PET °C
Palacio de Minería	14.5	88	0.9	1.0	0.5	22.3
Parque Madín/Omeyocan	20.4	31.3	2.5	0.7	0.1	19.4
Aeropuerto	21.9	29	3.1	0.7	0.4	20.4
Mayo 2001						
6:00	Temp. °C	H. R. %	Viento m/s	clo	PMV	PET °C
Palacio de Minería	14.6	70	0.8	1.0	-0.7	9.5
Parque Madín/Omeyocan	8.9	88	0.7	1.0	-1.6	3.8
Aeropuerto	12.3	182	1.7	1.0	-1.3	5.7
15:00	Temp. °C	H. R. %	Viento m/s	clo	PMV	PET °C
Palacio de Minería	24.1	32	2.2	0.6	1.4	28.5
Parque Madín/Omeyocan	23	34	3.1	0.7	1.0	24.9
Aeropuerto	24.9	30	4.5	0.6	1.1	24.9
Julio 2001						
6:00	Temp. °C	H. R. %	Viento m/s	clo	PMV	PET °C
Palacio de Minería	14.5	88	0.9	1.0	-0.7	9.7
Parque Madín/Omeyocan	3.3	92	0.6	1.0	-2.7	-3.8
Aeropuerto	13.3	93	1.3	1.0	-1.0	7.7
15:00	Temp. °C	H. R. %	Viento m/s	clo	PMV	PET °C
Palacio de Minería	22.7	46	2.2	0.7	1.3	27.8
Parque Madín/Omeyocan	20.4	31.3	2.5	0.7	0.1	19.4
Aeropuerto	22.9	46	4.2	0.7	0.9	23.8

suburbanas (Aeropuerto) y rurales (Omeyocan). Los índices de confort aplicados revelan que el ambiente bioclimático en el área en estudio en la época calurosa apenas es tibio confortable, mientras que en el extremo de las temperaturas bajas observadas en Omeyocan resultan entre frío y muy frío.

Por otra parte, las condiciones ambientales bioclimáticas observadas servirán de base para futuras evaluaciones que implican los eventuales cambios de uso del suelo hacia una inexorable mayor urbanización.

CONCLUSIONES

La urbanización altera marcadamente la superficie del suelo generándose así un nuevo microclima. El ejemplo típico más conocido es la "isla de calor" que resulta principalmente de la urbanización. Este fenómeno se ha extendido en superficie sobre la ciudad abarcando en el pasado reciente tanto una mayor extensión urbana como una más alta intensidad según se aprecia en la Figura 7, donde se percibe que dicho fenómeno ha comenzado a influir el área en estudio. Los efectos tienen implicaciones en el confort (las ondas de calor), así como en la mortalidad/morbilidad de la población.

En última instancia, los efectos del clima urbano se originan por diferencias de los intercambios de calor, masa y momento entre la ciudad y el paisaje natural (Oke, 1988). Es por eso que el estudio del meso/micro clima en un área de suelo natural (preurbano) es ideal para poder evaluar los futuros cambios climáticos una vez que dicha área ha sido urbanizada (Lowry, 1977). Tal es el propósito principal de este trabajo: la descripción del bioclima actual de un área verde vecina a la Ciudad de México con objeto de que en el futuro se puedan determinar los cambios climáticos con más rigor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Mario Casasola su apoyo en el procesado de los datos y el graficado de las figuras. Alfonso Estrada elaboró los dibujos. Elda Luyando realizó los cálculos de los índices bioclimáticos e hizo una revisión crítica del texto. Sergio Arzac se encargó de la interpretación y tabulado de las gráficas del termohigrografo.

REFERENCIAS

- Fanger, P. O. (1972), *Thermal comfort*, Mc. Graw-Hill, New York.
- Hoeppe, T. R. (1999), "The physiological equivalent temperature- a universal index for biometeorological assessment of the thermal environment", *Int. J. Biometeorol* no. 43, pp. 71-75.
- Jáuregui O., E., (1969), "Aspectos meteorológicos de la contaminación del aire de la ciudad de México", *Ing. Hidr. en México*, vol. XXIII(1), México, pp. 17-28.
- Jáuregui O., E. (1986), "The urban climate of Mexico City", Oke, T. R. (ed.), *World Meteorological Organization, Proceedings of the Technical Conference*, WMO No. 652 (trabajo invitado), Ginebra Suiza, 26-30 noviembre, pp. 63-86.
- Jáuregui O., E. (2006). "Are heat waves increasing their frequency in Mexico City?", *6th Proceedings International Conference on Urban Climate (ICUC-6)*, 12-16 junio, Goteborg, Suecia.
- Lowry, W. P. (1977), "Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis", *J. Appl. Meteorol.*, no. 16, pp. 129-135.
- Matzarakis, A. and H. Mayer (1996), "Another kind of environmental stress: thermal stress". *WHO News.*, no. 18, pp. 7-10.
- Medina, J. G y J. D. Tejero-Díez (2006), "Flora y vegetación del parque estatal Atizapán-Valle Escondido, Estado de México, México", *Polibotánica*, núm. 21, México, pp. 1-43.
- Oke, T. R. (1988), "The urban energy balance", *Prog. Physical Geog.*, no. 12, pp. 471-508.