

MICROCLIMA DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC

Por *Ernesto Jáuregui Ostos**

RESUMEN

Mediante recorridos en un automóvil instrumentado, se ha determinado la distribución de temperatura y humedad en la principal área verde de la capital. El área del bosque es una "isla fría" dentro de la ciudad, debido a la evapotranspiración y a la relativa ausencia de fuentes de calor. El nivel de contaminación decrece hacia el poniente del área verde.

SUMMARY

An instrumented vehicle was used in traverses to determine the temperature and humidity distribution in Chapultepec Park in Mexico City. The green area is a "cool island" within the city due to evapotranspiration and the relative absence of sources of heat. The mean concentration of contaminants decreases towards the Western half of the Park.

1. ANTECEDENTES

El bosque de Chapultepec data de tiempos prehispánicos. En el año 1245 (o 1299 según otros autores) la tribu mexica llegó a Chapultepec, y su sacerdote Tenoch designó este lugar para que fuera asiento del primer clan que habitara el valle. Aun después de la fundación de Tenochtitlan los aztecas jamás abandonaron el cerro de Chapultepec que había sido su primitivo albergue. En la culminación del imperio, Moctezuma Xocoyotzin mandó cerrar el bosque con piedras y empalizadas en toda su extensión, y dispuso que aumentara el número de animales para la caza a la cual se dedicaba dentro de los límites del bosque que los aztecas llamaron del Chapulín.

Al iniciarse el periodo colonial Chapultepec

fue ocasional residencia de descanso para las autoridades virreinales. El segundo Virrey, Luis de Velasco, mandó construir ahí una casa de recreo. En el siglo XVII el viajero inglés Thomas Gage (1625), al hablar de Chapultepec le llama "el Escorial de América, donde los virreyes que mueren son enterrados y donde hay un suntuoso palacio construido, con hermosos jardines y artificios de agua y adonde el virrey y la nobleza acuden en busca de recreación".

El Conde de Revillagigedo fue el primero en proyectar la creación de un jardín botánico en Chapultepec; pero hasta después de la Independencia no se formó el jardín botánico al pie del cerro. Desde principios del siglo XIX quedó establecido ahí el Colegio Militar y fue donde los mexicanos opusieron heroica resistencia contra la invasión americana.

Después del periodo revolucionario el bos-

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

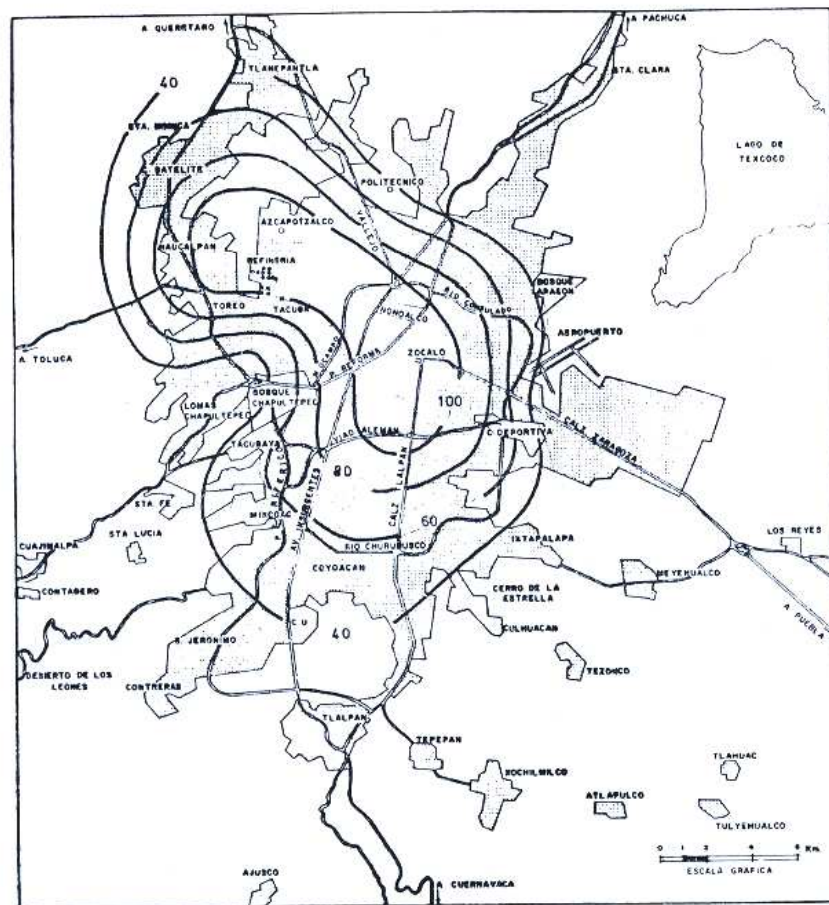


FIG. 1. Distribución del SO_2 (en $\mu\text{gr}/\text{m}^3$) en el mes de julio de 1969.

que de Chapultepec ha sido objeto de remozamiento y ampliaciones continuas.

En las últimas décadas se han construido diversos edificios destinados a museos, teatros y auditorios dentro del bosque cuya área ha sido considerablemente ampliada (a unas 380 has. en la actualidad) hacia la parte elevada, del poniente, donde se encuentran, además de un museo, el área de juegos mecánicos, así como otro lago artificial rodeados de extensas superficies arboladas.

2. EFECTO DE LAS ZONAS VERDES EN EL ÁREA URBANA

Los bosques son lugares poco ventosos; al estudiar el efecto de las hojas de los árboles sobre la intensidad del viento, Frederick (1961) encontró que hay una variación estacional debida a la defoliación: durante el invierno el

viento aumentó en un 40% su intensidad, de un área boscosa respecto a otra carente de árboles.

Los árboles tienen un efecto benéfico como filtros de humos y gases. Además, las áreas boscosas sirven de zonas de dilución de contaminantes que vienen de áreas vecinas.

Wainwright y Wilson (1962) midieron las concentraciones de bióxido de azufre en Hyde Park y los jardines de Kensington, en Londres (que miden unas 260 has.); utilizando un muestreador portátil hicieron mediciones a través del parque y en dirección del viento. Cuando las velocidades del viento fueron menores de 6 km/h (unos 2 m/s) la concentración del SO_2 decreció en el borde, pero después volvió a aumentar a un 80 por ciento del valor inicial en el borde.

Para vientos más fuertes la concentración decreció constantemente viento abajo, en forma exponencial, según la expresión:

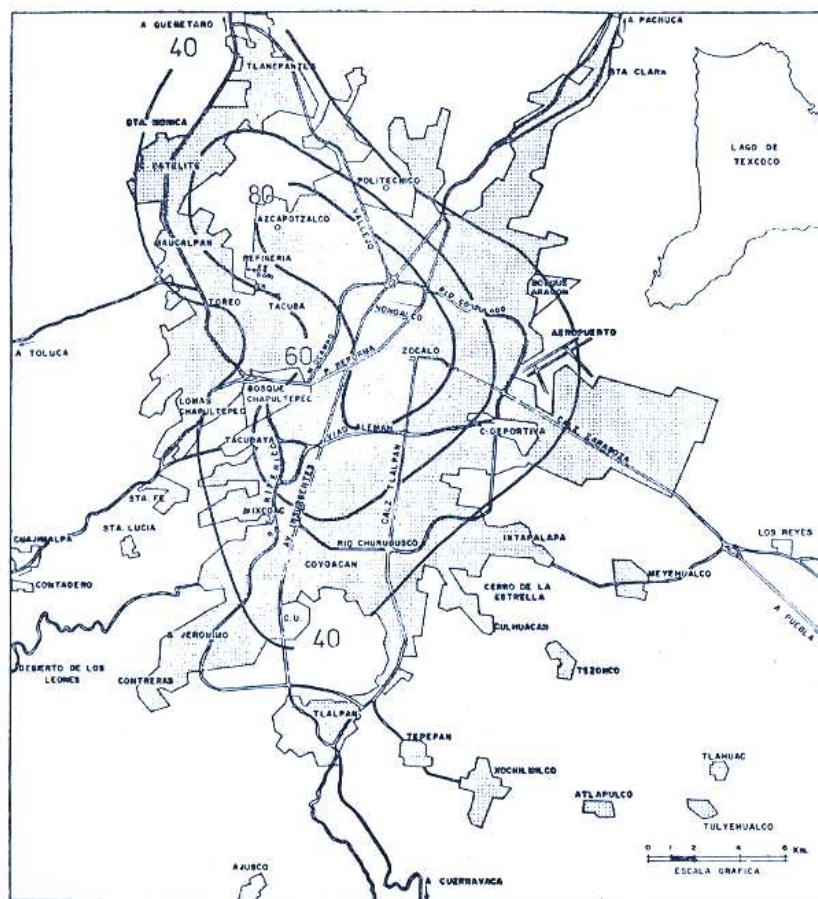


Fig. 3. Distribución del humo y polvo en suspensión ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$) en el mes de julio de 1969.

3. DISTRIBUCIÓN DEL ANHIDRIDO SULFUROSO Y DEL HUMO Y POLVO EN SUSPENSIÓN, EN CHIAPULTEPEC

a) El *anhídrido sulfuroso*. En las figuras 1 y 2 se muestra la distribución del SO_2 para toda el área urbana de la ciudad de México, para un mes representativo de la estación seca (diciembre) y el correspondiente a la estación lluviosa (julio). Estos mapas han sido trazados con datos de la red de 10 estaciones fijas de muestreo de contaminantes, que la Dirección de Higiene del Ambiente, de la Sría. de Salubridad y Asistencia, mantiene en operación desde 1968 (Márquez, 1970).

Una de estas estaciones se localiza viento abajo y no lejos del bosque, en el Observatorio de Tacubaya. Los niveles de concentración de SO_2 decrecen del centro de la ciudad hacia la periferia, durante todo el año. Si bien en

los suburbios de la ciudad la concentración de SO_2 es aproximadamente la misma en el transcurso del año, en el centro de la ciudad los niveles de contaminantes aumentan en la estación de seca debido, principalmente, a una mayor frecuencia de situaciones de aire estable (inversiones superficiales de temperatura). Estas inversiones, originadas por el enfriamiento del aire relativamente seco, por radiación nocturna hacia cielos generalmente despejados, son más intensas al amanecer, restringiendo considerablemente la difusión de los contaminantes que produce la ciudad, entre los que se encuentra SO_2 (ver Jáuregui, 1969, 1971, 1973).

El resultado es una intensificación de contaminación por SO_2 sobre todo el perímetro oeste de la ciudad donde el aire contaminado queda, en cierta medida, represado contra las laderas montañosas del poniente. El bosque de Chapultepec queda, en esta forma, orientado en la dirección del gradiente, y los niveles me-

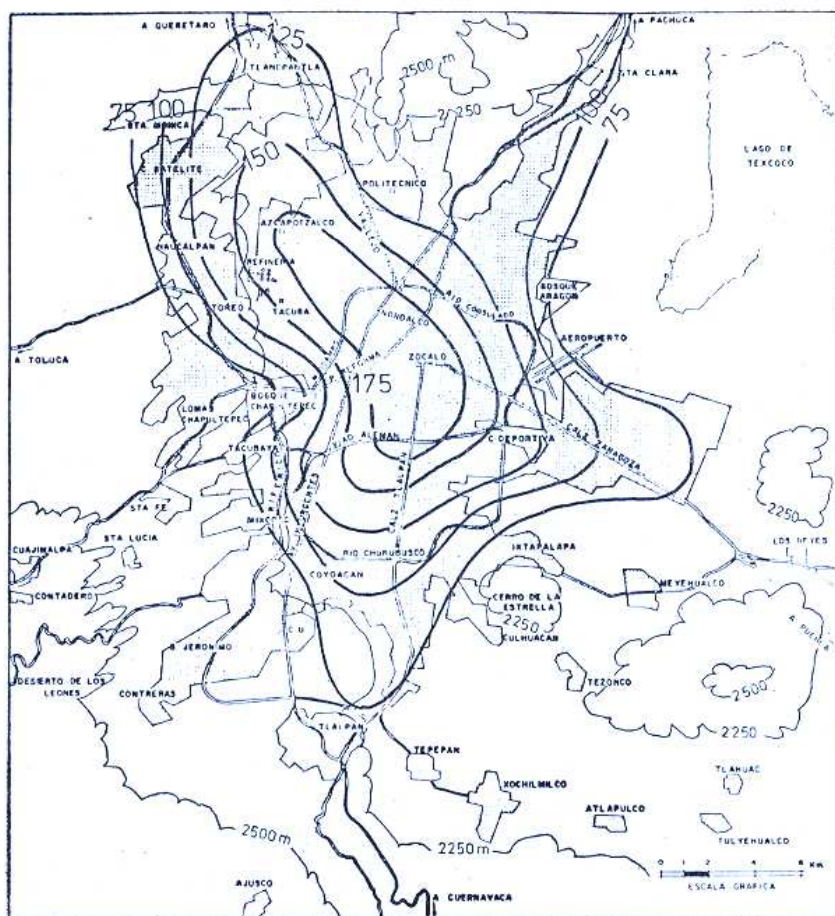


FIG. 4. Distribución del humo y polvo en suspensión ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$) en el mes de diciembre de 1969.

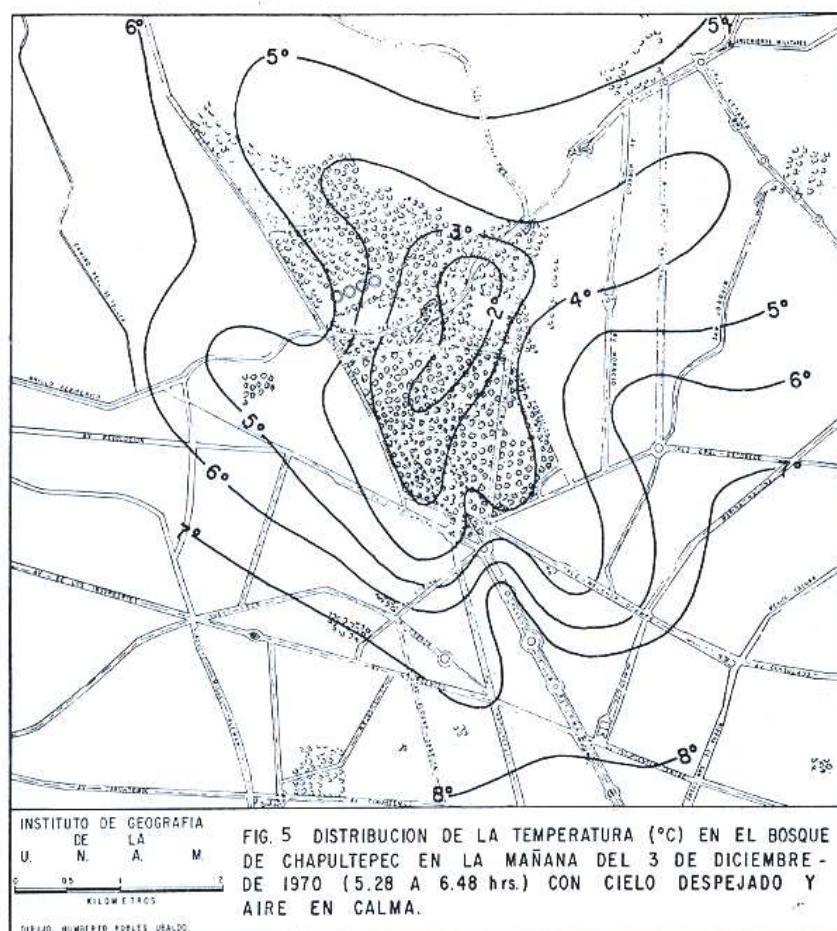
dios de SO_2 se triplican de $50 \text{ gr}/\text{m}^3$ en su parte más elevada, al oeste (Nuevo Chapultepec), a $150 \text{ gr}/\text{m}^3$ en su extremo oriente. La relativa pureza del aire en el poniente se debe tanto al mayor alejamiento del centro de la ciudad como a la mayor elevación de esta parte del bosque sobre el fondo del valle.

Durante la estación de lluvias las concentraciones de anhídrido sulfuroso decrecen tanto por una mayor turbulencia del aire en las capas bajas (menor frecuencia de inversiones superficiales), como por el efecto de lavado por la precipitación pluvial. El resultado es un debilitamiento del gradiente de anhídrido sulfuroso que varía en esta época por un factor de 2 a lo largo del bosque, es decir, de ENE a WSW.

b) *El humo y polvo en suspensión.* En las figuras 3 y 4 aparece la distribución del humo y polvo en suspensión, para el área urbana de la ciudad de México. Estos valores se obtienen

haciendo pasar aire del ambiente a través de un filtro de papel absorbente, durante 24 horas, mediante la succión que genera una bomba eléctrica de vacío, con velocidad de $5.3 \text{ l}/\text{min}$. Se atrapan, así, tanto partículas de humos como polvos finos de origen mineral que flotan en el aire urbano. La boca de la succión del aire generalmente se encuentra elevada respecto al nivel de la calle (en el Observatorio, por ejemplo, se localiza en la azotea del edificio), de modo que las concentraciones obtenidas son siempre menores que las correspondientes al nivel medio de la altura de un peatón. Esta concentración de humo se estima comparando el grado de oscuridad que adquiere el filtro, después de 24 horas de exposición, con una curva patrón predeterminada.

La distribución del polvo y humo en la ciudad es muy semejante a la correspondiente al SO_2 , acusándose, igualmente, una intensificación de los gradientes de contaminación en la



periferia urbana durante la estación de seca. En esta temporada los niveles de polvo suben en el bosque de Chapultepec de $75\mu \text{ gr/m}^3$ en la mitad poniente, a $125\mu \text{ gr/m}^3$ en su extremo oriente.

En resumen, puede decirse que la mitad oriente y más antigua del bosque (con excepción de la cima del cerro del Chapulín), que se encuentra en la planicie, generalmente registra mayores niveles de contaminación por humos y polvo (a veces hasta por un factor de 3) respecto a la porción poniente, relativamente elevada, de esta importante área verde de la capital. La mayor distancia de las fuentes de contaminación y su relativa altura son responsables de que ahí haya una relativa mayor pureza del aire. La actual densidad de la red de estaciones urbanas de muestreo del aire de la ciudad de México no permite determinar en qué medida esta extensa área arbolada actúa como filtro del aire contaminado, y

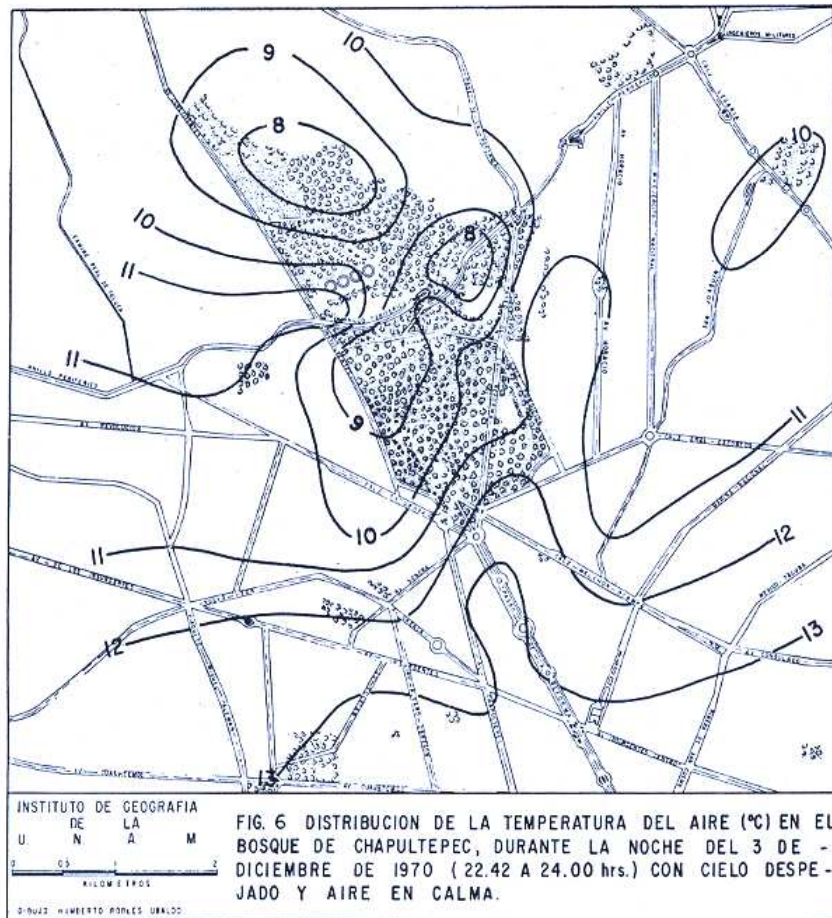
los gradientes de contaminación que se observan ahí son los mismos que se acusan a lo largo de todo el borde poniente y NNE (Serranía de Guadalupe) de la ciudad, por el efecto de embalse de las montañas vecinas.

4. DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA Y DE LA HUMEDAD EN EL BOSQUE

Las áreas verdes dentro de la ciudad son más frescas y húmedas. La ausencia de fuentes de calor y la evapotranspiración de pastos, suelos y árboles hacen que la temperatura sea unos grados más baja en los parques. Al mismo tiempo, la evaporación del follaje aumenta, comparativamente, la humedad relativa del aire.

Método

Para determinar los contrastes termohigrométricos bosque-área urbana, el autor realizó di-



versas observaciones en el área del bosque¹ y en la periferia urbana vecina. Las observaciones llevaron a cabo durante recorridos en un automóvil de motor trasero, provisto de un psicrómetro en la parte delantera y colocado aproximadamente a 1 m sobre el nivel del pavimento. El instrumento se sujetó en la parte inferior derecha del parabrisas, en su lado exterior, de modo que las lecturas se pudieran hacer por un observador sentado a la derecha del conductor, mediante el uso de una lámpara de baterías. Las lecturas se hicieron a cada km de recorrido. Los recorridos se proyectaron a manera de obtener siempre una red de puntos de observación más o menos uniforme en el área en estudio y sus alrededores. Al mismo tiempo se procuraron varios sitios de cruce, regresando siempre al punto de partida, lo que permitió hacer las correcciones por el descenso de temperatura que ocurrió durante el lapso

¹ El autor agradece muy cumplidamente la colaboración, en estos recorridos, del señor Gunther Gäh y del señor Luis Quintero.

del recorrido (usualmente de una hora y media). Este descenso tuvo un máximo valor de 2°C. Los recorridos se hicieron durante las horas en que la variación de temperatura es relativamente gradual (al amanecer o durante la noche).

a) *La temperatura.* En las figuras 5 y 6 se muestra la distribución de la temperatura del aire en el área del bosque durante la mañana (fig. 5) y la noche (fig. 6) del 3 de diciembre de 1970, que fue un "día típico de radiación" de la estación de seca; es decir, cielos despejados y aire casi en calma debido al influjo de una corriente anticiclónica en la troposfera media, sobre todo el país, como puede apreciarse en la figura 7 que muestra la situación sinóptica correspondiente a esa fecha. La subsidencia del aire ocasionada por un anticiclón centrado sobre el norte de México, al nivel de 500 milibares, produjo cielos despejados en casi todo el país.

El área del bosque registra temperaturas menores que sus alrededores. La mayor capacidad

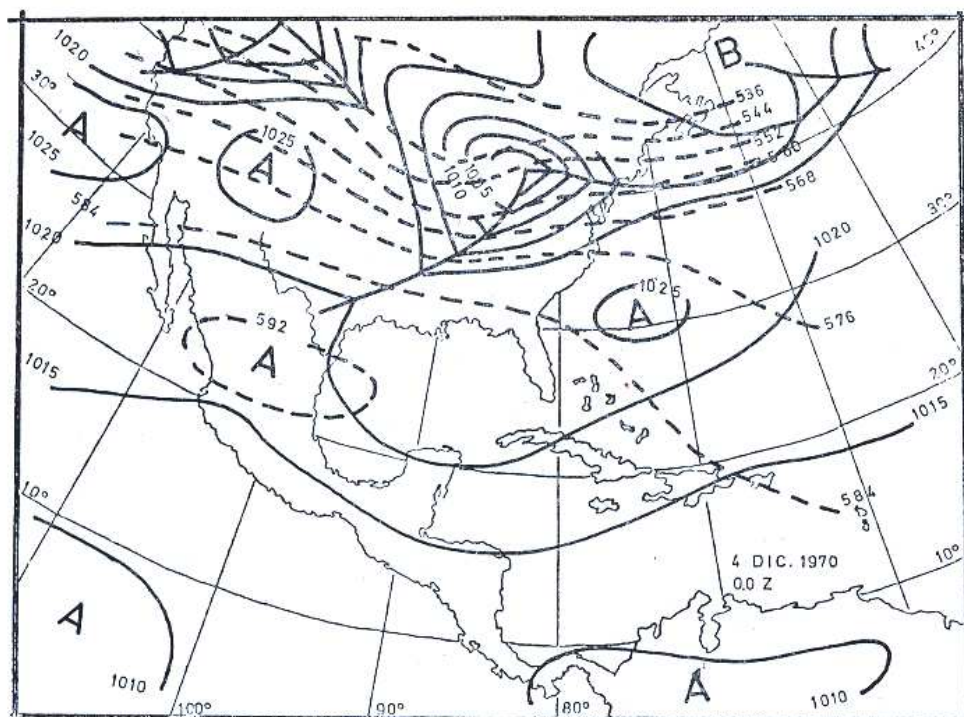


FIG. 7. Situación sinóptica el 4 de diciembre de 1970 (en línea interrumpida la altura de la superficie de 500 mb en decá- metros geopotenciales).

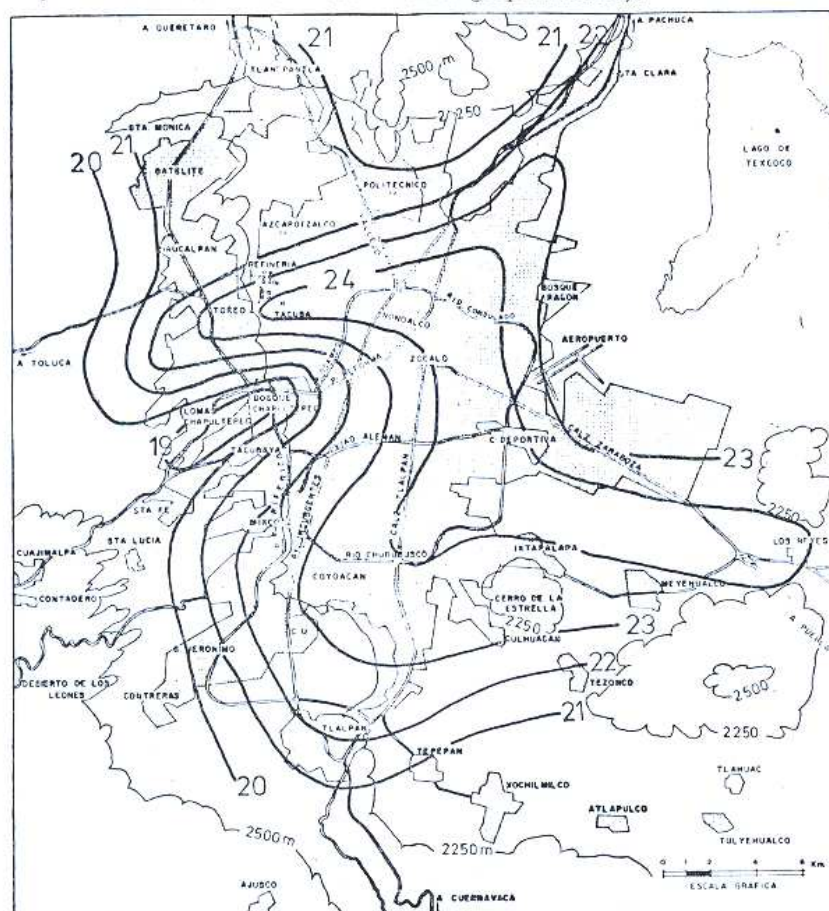
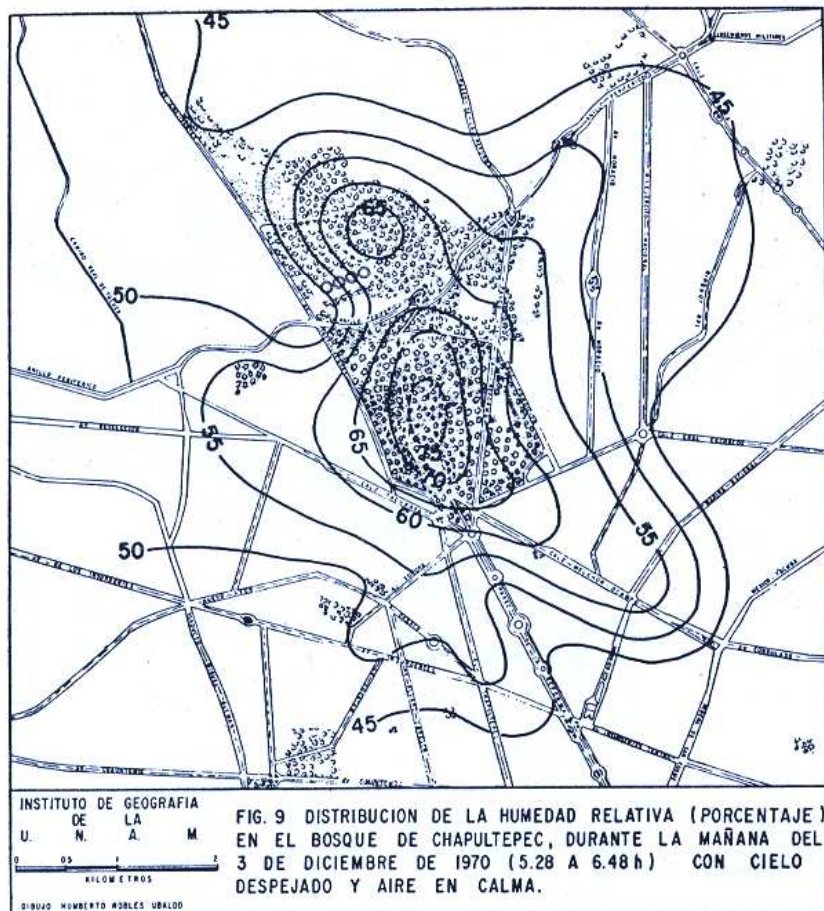


FIG. 8. Distribución de las temperaturas máximas el día 4 de enero de 1972.



térmica que tienen, en general, los materiales con que están construidas las calles y edificaciones (pavimento, tabique, piedra, concreto, etc.) hace que durante la noche estas áreas pierdan calor, por radiación, más lentamente que el área del bosque. Por otra parte, la evaporación de la superficie líquida de los lagos y la evapotranspiración de plantas y suelos del bosque es otro factor que contribuye al contraste térmico bosque/área urbana. Además, durante la noche el bosque se cierra al tránsito de vehículos, que son otra fuente de calor, y durante el día la intensidad de este tránsito es relativamente menor que en los alrededores.

A medida que el proceso de enfriamiento continúa durante la noche el contraste térmico se va haciendo más marcado, alcanzando un máximo al amanecer. Así, el área del bosque aparece como una "isla fría" dentro de la ciudad.

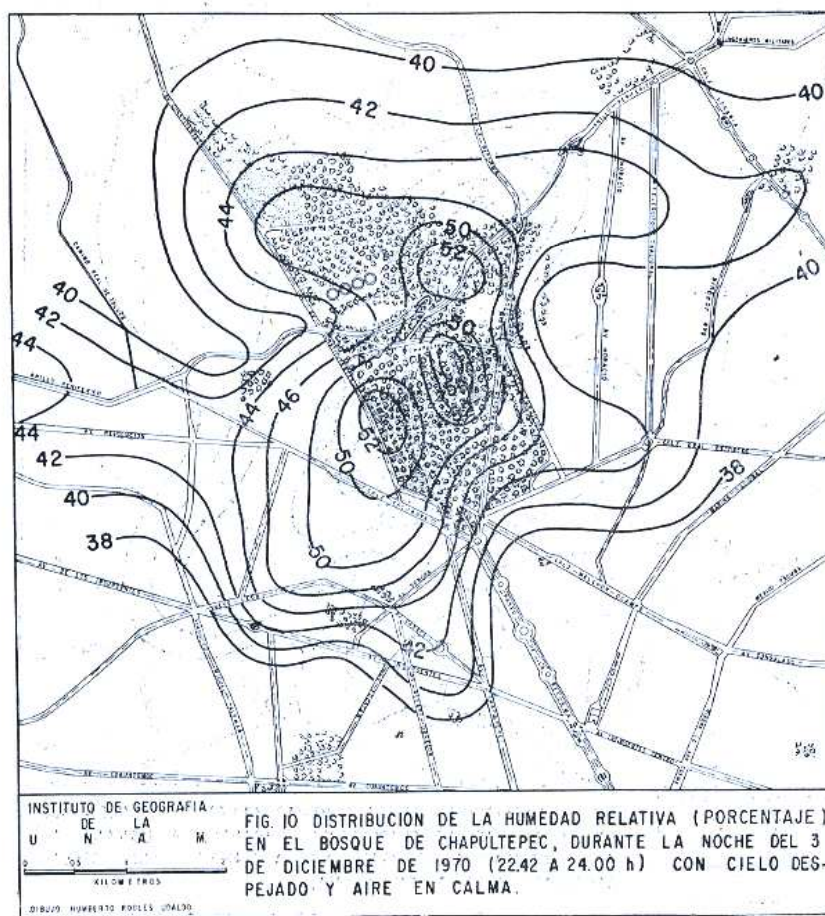
Esta diferencia de temperatura persiste durante el día, como puede apreciarse en la fi-

gura 8 que muestra la distribución de las temperaturas máximas el 4 de enero de 1972, que fue un día despejado. La llamada "isla de calor de la ciudad" aparece aquí con un máximo valor de 24°C , ocupando la porción centro-oriental de la capital, mientras que en el interior del bosque, a esas mismas horas del mediodía, la temperatura máxima fue, entonces, de sólo 19° .

b) *La humedad relativa.* En las figuras 9 y 10 se muestra la distribución de la humedad relativa correspondiente a las observaciones termométricas del día 3 de diciembre de 1970, acusando en ambos casos una mayor humedad relativa (de hasta un 20%) en el interior del bosque.

Resumen

El aire del bosque de Chapultepec es más fresco y más húmedo que el del área urbana vecina, debido tanto al efecto de evapotranspiración como a la reducción de las fuentes de



calor dentro de esta área verde. El nivel de contaminantes sólidos se reduce de la periferia al centro por el efecto de filtrado del follaje del bosque y por una disminución relativa de las fuentes móviles de contaminación (vehículos) dentro del bosque. La contaminación del

aire (SO_2 y partículas de humo) en la parte baja y antigua del bosque es mayor (por un factor hasta de 3) que la nueva sección del poniente, por estar esta última a mayor altitud y también a mayor distancia del centro principal de emisiones de la ciudad.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Chandler, T. J. (1962): "London's urban climate", *Geographical Journal*, Vol. 127 (2): 279-302.
- De la Torre, E. (1967): *Lecturas históricas Mexicanas*, Tomo III, Empresas Editoriales.
- Frederich, R. H. (1961): "A study of tree leaves on wind movement", *Monthly Weather Rev.*, Vol. 89:39-44.
- Gage, T. (1965): *Travels in the new world*, E. Thompson (ed.) Univ. of Oklahoma Press, Norman.
- Jáuregui, O. E., (1969): "Aspectos meteorológicos de la contaminación del aire en la ciudad de México", *Ing. Hidr. en México*, Vol. 23 (1).
- Jáuregui, O. E., (1971): *Mesomicroclima de la ciudad de México*, Imprenta Universitaria, México.
- Jáuregui, O. E. (1973): "Las investigaciones sobre clima urbano en Alemania Occidental", Vol. 5, Inst. de Geografía, UNAM.
- Kratzer, P. A. (1956): *Das Stadtklima*, Wissenschaft, Braunschweig Verlag Vieweg.
- Márquez, E. (1970): "Evaluación de la contaminación del aire en el Valle de México", *Salud Pública de México, Epoca V*, Vol. 12 (5).
- Munn, R. E. (1966): *Descriptive Micrometeorology*, Academic Press.
- Romero, F. J. (1953): *México, Historia de una gran ciudad*, p. 442, Ed. Morelos, México.
- Wainwright, C. Wilson, M. J. (1962): "Atmospheric pollution in a London Park", *Int. Journ. Air Water Poll.*, Vol. 6:337-343.
- Whiten, A. J. (1956): "The ventilation of Oxford Circus", *Weather*, Vol. 11:227-229.