

Ernesto Jáuregui O.

**MESOMICROCLIMA
DE LA CIUDAD
DE MÉXICO**

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

Directora: DRA. CONSUELO SOTO MORA

Ernesto Jáuregui O.

MESOMICROCLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO



Universidad Nacional Autónoma de México.

México, 1971

Primera edición: 1971

DR © 1971, Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

DIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES

Impreso y hecho en México

1. Introducción

Los fenómenos meteorológicos se clasifican generalmente en tres grupos de acuerdo a su extensión horizontal (Huschke, 1959). Una perturbación *macrometeorológica* es, por ejemplo, un ciclón tropical que puede extenderse por decenas y hasta por varios centenares de kilómetros; el frente frío de las ondas de aire polar que nos visitan en invierno cubre, en ocasiones, desde Tampico hasta la costa atlántica de los Estados Unidos. Las ondas del Este que producen amplias zonas de aguaceros abarcan centenares de kilómetros de mal tiempo. Estas perturbaciones son detectables a la escala de los mapas meteorológicos que usualmente comprenden casi toda Norteamérica, México y el Caribe.

En cambio cuando se estudia el ambiente atmosférico de un área generalmente menor de un kilómetro de extensión se entra al dominio de la *microclimatología* que se ocupa de investigar las condiciones ambientales en espacios comparativamente pequeños como un jardín, una milpa, un bosque, un área urbana pequeña, etcétera.

Geiger (1950) menciona que fue el meteorólogo francés H. Scaetta quien en 1935 propuso que entre el macroclima y el microclima debía haber el *mesoclima* o clima regional. En la medida en que la distribución de los diversos factores del clima que se analizarán abarca áreas mayores de un kilómetro, el presente estudio del área urbana de la ciudad de México es mesoclimatológico; pero también se abordará en la segunda par-

te, el estudio del microclima en locales destinados a habitación dentro del área urbana.

La determinación de la influencia de las áreas urbanas en el clima ha sido desde hace tiempo un tema interesante de investigación. Las áreas citadinas con sus masas compactas de casas, edificios, fábricas y calles, constituyen una interrupción marcada de la conformación natural del paisaje. Los cambios en la configuración superficial son suficientes para producir una modificación de los elementos climatológicos, pero más significativos son los resultados de la actividad comercial e industrial que caracterizan a la ciudad. Los procesos de combustión y otras transformaciones de la energía hacen de la ciudad un generador de calor de gran magnitud. Estos procesos van acompañados por una producción considerable de partículas de humo y polvo que envuelven la ciudad y alteran el equilibrio de radiación de su clima. No sólo se influye el equilibrio de radiación sino también otros elementos climatológicos como la temperatura, la humedad, el viento y la precipitación, como se verá más adelante. El influjo del área urbana sobre el clima obliga a los planificadores urbanos a tomarla en consideración para tratar de eliminar los efectos indeseables para la comunidad. En el presente trabajo se describe la distribución de la temperatura del aire y de otros elementos del clima en la ciudad de México.

2. Antecedentes

Ya en el año de 1833 el meteorólogo inglés Luke Howard comparó las temperaturas de varias estaciones, diseminadas en el área urbana de Londres, observando el efecto que la ciudad producía en la distribución de la temperatura. Años más tarde el francés H. Renou (1862) advirtió las diferencias de la temperatura del aire en el observatorio de Mont Souris en París y el suburbio de Choisi-le-Roi, encontrando que la estación del centro registraba temperaturas mínimas más elevadas y una amplitud diurna menor. Diferencias semejantes descubrieron en la ciudad de San Luis Missouri los norteamericanos W. Hammond y F. W. Duenkel (1902), quienes observaron que el aire de la periferia era 2°C más frío que el del centro, atribuyendo el efecto a la nube de humo producida por un centro fabril.

El método de investigación usado en estos primeros estudios dependía de las observaciones hechas en un número limitado de estaciones fijas que generalmente eran dos. Pero en 1927 Schmidt introdujo el método de la travesía del área urbana en automóvil abarcando la ciudad de Viena; en 1929 el alemán Albert Peppler realizó recorridos semejantes en la ciudad de Karlsruhe utilizando un termómetro de aspiración tipo Assmann.

Estos estudios demostraron que las áreas ocupadas por edificios y calles asfaltadas eran considerablemente más cálidas que los campos de los alrededores.

Durante la década de los años 30 se realizaron varios estudios en ciudades alemanas utilizando diversas técnicas; uno hecho por

Eberhard Reichel (1933) acusó temperaturas del aire que fueron 13°C más altas en el centro de Berlín que en el campo vecino, en una noche de febrero con el suelo cubierto de nieve.

En Toronto, Canadá, los meteorólogos W. Middleton y F. G. Millar (1936) emplearon un termopar en travesías con automóvil, obteniendo diferencias de temperatura del aire de 18°C, dentro de una distancia de 11 kilómetros del centro urbano.

Al estudiar la distribución de la temperatura del aire en la ciudad inglesa de Bath, que se encuentra en un valle pequeño de laderas empinadas, los meteorólogos W. G. Balchin y N. Pye (1947) encontraron que en 138 noches de un año dado se formaron las llamadas inversiones de temperatura debido a que el aire frío se acumuló en el fondo del valle; pero en 34 noches de ese mismo año el calor producido por la ciudad impidió la formación de las inversiones.

Uno de los estudios más completos se hizo posteriormente en Upsala, Suecia, por A. Sundborg (1950), quien empleó termómetros de resistencia en 200 travesías en automóvil por la ciudad y sus alrededores en un año. Con los datos obtenidos Sundborg desarrolló una fórmula empírica para calcular las diferencias térmicas de acuerdo con diversos parámetros meteorológicos, encontrando que existe una fuerte correlación inversa con la velocidad del viento y la nubosidad; los valores de esta fórmula son válidos desde luego para la ciudad de Upsala solamente. Posteriormente los norteamericanos F. Duckworth y J. Sandberg (1954) re-

corrieron en automóvil tres ciudades de diversos tamaños del Estado de California, observando con termómetro de resistencia las diferencias térmicas mencionadas. Además, registraron por medio de un globo cautivo las variaciones de la temperatura del aire en la vertical sobre la ciudad, descubriendo que el aire tibio urbano ocasiona inestabilidad hasta una profundidad igual a unas tres veces la altura de las construcciones.

Uno de los últimos trabajos sobre el llamado efecto de *isla de calor urbana* se debe a Robert Bornstein (1968), quien estudió las características de la distribución vertical y horizontal de la temperatura del aire en

la ciudad de Nueva York. Bornstein utilizó un helicóptero instrumentado, volando 34 mañanas (de dos horas antes a dos horas después de la salida del sol) durante el periodo de julio de 1964 a diciembre de 1966. Los resultados obtenidos por este investigador señalan que las inversiones de temperatura del aire fueron menos intensas y menos frecuentes que en las áreas de la periferia. Se observó además una elevada frecuencia de inversiones delgadas a una altura media de 310 metros sobre la ciudad. La intensidad media de la isla urbana de calor alcanzó su máximo cerca de la superficie y decreció hasta desaparecer al nivel de 300 metros sobre Nueva York.

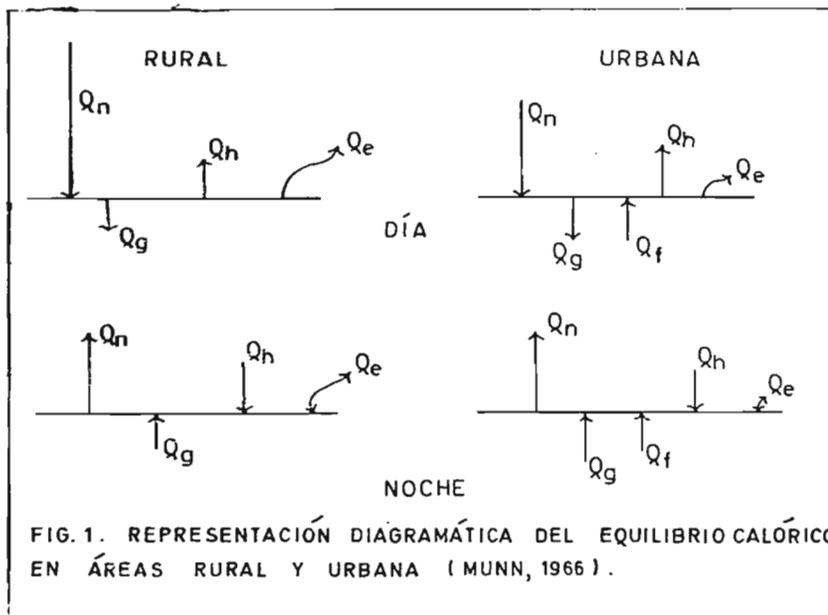
3. Base física para la formación de la isla urbana de calor

R. Geiger (1965), entre otros autores, señala que la razón básica de las diferencias térmicas en el clima urbano es la alteración de los balances de calor e hídrico. Esto se debe a la sustitución del suelo natural por superficies de pavimento, piedra, concreto, tabique o metal, por las cuales el agua de lluvia escurre rápidamente casi en su totalidad. Además, la ciudad tiene una cantidad creciente de fuentes de calor debidas a la industria, a los motores de combustión interna de vehículos y a la calefacción de edificios (en el caso de la ciudad de México este último factor carece de importancia debido a lo benigno del clima invernal en la capital).

La modificación del equilibrio de radia-

ción que origina la contaminación del aire urbano es uno de los factores más importantes en la determinación del clima citadino. Geiger (1965) estima que durante el día de un 10 a un 40 por ciento de la radiación global (directa del sol y difusa del cielo) no llega a la superficie del suelo en la ciudad, dependiendo de la altura del sol y del grado de turbiedad, debido a que es absorbida y dispersada por las capas de bruma urbana. Por otra parte, una cantidad considerable de radiación de onda larga es emitida hacia abajo por la nube de impurezas, proporcionando así una buena protección contra las pérdidas por radiación nocturna.

En la figura 1 tomada de Munn (1966),



aparece una representación esquemática de los equilibrios energéticos en un área urbana y otra rural.

En la región rural la ganancia neta de energía debida a la radiación en la interfase tierra-atmósfera se reparte en: a) un transporte turbulento de calor Q_h hacia la atmósfera; b) la conducción de calor Q_g hacia el suelo y, c) la evaporación Q_e . Durante la noche, en las áreas rurales, la pérdida neta de energía debida a la radiación en la interfase resulta en un decrecimiento de: a) la evaporación; b) el transporte turbulento de calor de la atmósfera al suelo y, c) la conducción de calor proveniente del suelo.

En la ciudad el equilibrio calórico descrito se modifica por uno o varios de los siguientes factores: 1) Calentamiento debido a todo tipo de calderas y calentadores; 2) Cantidad limitada de fuentes de humedad superficial; 3) Estructuras urbanas, y 4) Contaminación atmosférica.

La menor humedad disponible en las ciudades hace que disminuya la energía Q_e utilizada en la evaporación, quedando así una parte de esta energía disponible para aumentar la energía transmitida a la atmósfera (Q_h) y a las superficies urbanas (Q_g). Sin embargo, como señala Bornstein en su estudio, las temperaturas del día en las superficies urbanas pueden permanecer inferiores a las superficies rurales debido a la gran capacidad térmica y elevada conductividad térmica de los materiales de las construcciones urbanas. Estas propiedades térmicas impiden el enfriamiento rápido al ocultarse el sol, y el calentamiento acelerado al salir el sol; en cambio permiten el almacenamiento de grandes cantidades de energía solar (Q_g) y de la energía producida en la ciudad (Q_t). Kratzer (1957) estimó que la energía liberada por combustión en Berlín ascendía a un tercio de la energía recibida por radiación solar directa. Bornstein (1968) en el estudio de la dinámica de la contaminación del aire urbano ha calculado que la producción anual de calor por combustión en la ciudad de Nueva York es de 2.8×10^{17} calorías grandes. El 77% de esta cantidad se debe a fuentes de calor en habitaciones, oficinas, comercios, etcétera,

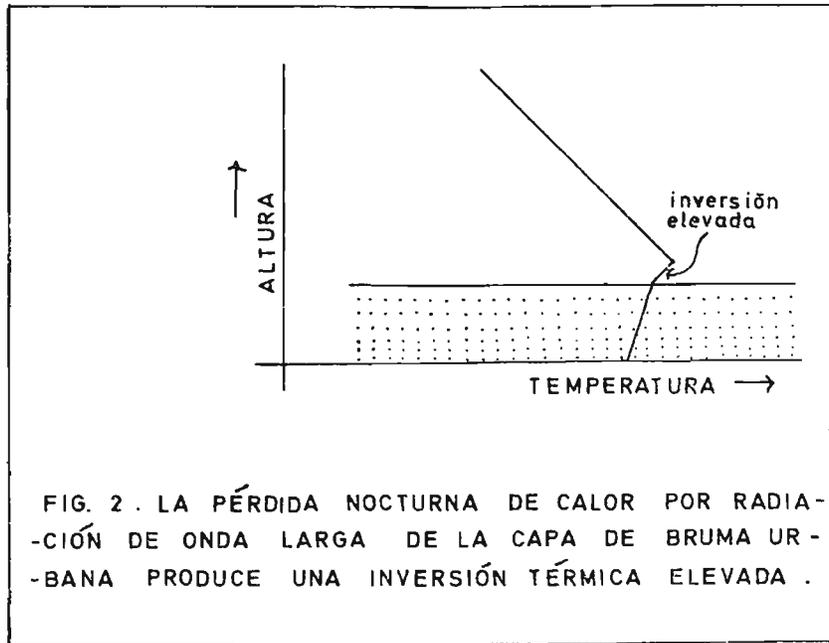
mientras que al 23 por ciento restante contribuyen la industria, los vehículos de motor y los barcos.

La combustión en la isla de Manhattan durante el invierno libera 250 por ciento más calor que las 0.114 calorías por centímetro cuadrado por minuto que se reciben ahí del sol (London, 1957). Como comparación, la combustión durante el verano en Nueva York es sólo un quinto del valor invernal, mientras que la insolación aumenta por un factor de tres.

En este sentido la ciudad de México difiere con ventaja de Nueva York; por una parte, el invierno es tan benigno que sólo unas semanas al año se requiere calentar los locales; por esta razón los locales con calefacción no se han generalizado en la ciudad y en consecuencia el calor generado por este concepto es despreciable al comparar las dos ciudades. Por otra parte, en la ciudad de México es precisamente durante la estación fría cuando se recibe una abundante insolación debida a los cielos despejados.

De manera que si en Nueva York en los días de invierno el flujo neto normal de energía Q_g hacia las superficies urbanas se puede incluso invertir, debido a la relación alta entre el calentamiento por combustión y la insolación, en la ciudad de México es difícil que esto ocurra por la elevada insolación. Sin embargo, la energía adicional Q_h debida a la combustión en invierno y transmitida por convección a la atmósfera se dispersa horizontal y verticalmente por la turbulencia atmosférica antes de que se establezcan las diferencias térmicas significativas entre las áreas urbana y rural.

La convección de energía Q_h de la atmósfera hacia las superficies urbanas por la noche se reduce, y aun es posible que haya una reversión por la conducción de cantidades considerables de calor de combustión Q_t hacia la interfase en la época de lluvias (cuando hay poca insolación). En las noches de invierno esta reversión puede ocurrir debido a la conducción de grandes cantidades de energía solar almacenadas en el suelo o interfase. En consecuencia, el aire sobre un área urbana se mantiene más ti-



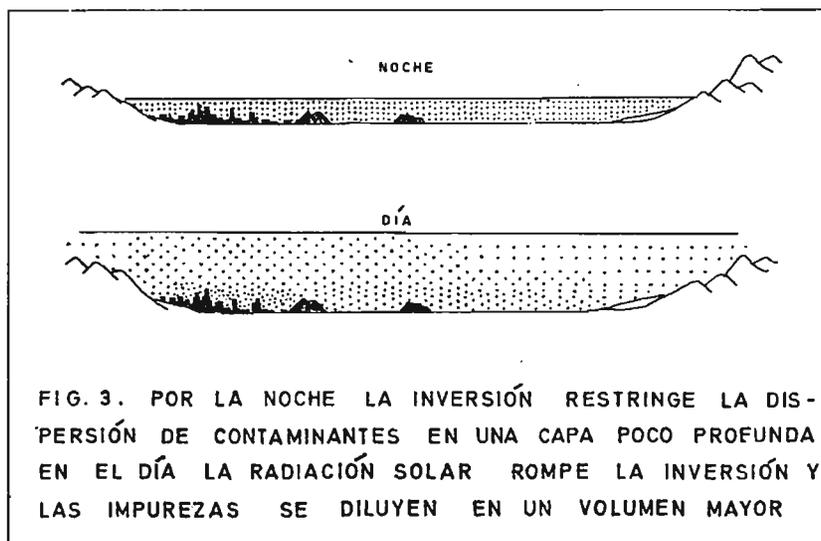
bio que el aire sobre una zona rural adyacente durante la noche; éste es el llamado efecto nocturno de la isla urbana de calor.

Las capas elevadas de humo, vapor de agua, bióxido de carbono, y bióxido de azufre, contribuyen al desarrollo de la isla nocturna de calor al absorber y reirradiar la energía procedente de las superficies urbanas. Sheppard (1958) advirtió que la pérdida nocturna de radiación de onda larga de una capa de bruma urbana es capaz de enfriar el aire encima de la bruma en va-

rios grados centígrados, produciéndose así una capa elevada con inversión térmica (figura 2).

La energía de onda corta recibida en las superficies urbanas se reduce por la absorción y la dispersión de las capas de bruma urbana. Unas horas después de la salida del sol la capa de bruma se eleva y diluye a causa de las corrientes convectivas producidas por la insolación (figura 3).

Las condiciones meteorológicas en el área rural favorecen el enfriamiento por radia-



ción nocturna, sobre todo en la época de secas, en la cuenca de México, cuando los cielos están despejados y el aire está en calma, lo que resulta en amplias diferencias térmicas entre la atmósfera rural y urbana.

Según Chandler (1960) la velocidad crítica del viento, arriba de la cual las diferencias térmicas se vuelven nulas, es de 35 km/hr en Londres y de 20 km/hr en Palo Alto, California, según el estudio de Duckworth y Sandberg (1954). La frecuencia de vientos mayores de 20 km/hr es relativamente baja en la ciudad de México, ya

que las montañas que rodean al valle reducen la intensidad de los mismos y originan periodos largos de vientos débiles o de aire en calma. Estos periodos de aire estancado tuvieron una duración hasta de 10 a 11 horas continuas en el periodo 1963-1964 (en el aeropuerto internacional que se encuentra en el borde nororiental del área urbana).

Los periodos de más de 7 horas de aire en calma ocurren durante la noche con más frecuencia, pero también se observan en el día y durante casi todo el año, como puede apreciarse en la tabla I.

TABLA I

PERSISTENCIA DE CALMAS EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (promedio 1963-1964)

Duración (horas)	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
3	3-8	1-9	6-6	4-10	8-6	5-5	6-7	11-10	8-10	8-11	3-6	7-5
4	3-7	2-4	2-2	2-7	6-7	5-5	6-7	5-8	5-3	6-5	4-6	5-4
5	0-4	2-5	4-5	4-7	5-5	8-4	5-4	3-5	4-3	5-3	5-3	5-4
6	4-2	6-5	4-6	6-4	5-7	3-4	3-4	5-1	4-2	7-2	3-3	4-2
7 o más	20-13	16-8	18-15	15-10	6-4	10-5	12-3	21-0	11-3	10-6	15-4	11-6

Los números indican las veces que ocurrieron las calmas de cada categoría en la primera (0 a 12 horas, primer número) y segunda (13 a 23 horas, segundo número) mitad del día en promedio.

4. Métodos

Recorridos en automóvil. Durante la primera mitad de 1968 y en el curso del año de 1969, el autor realizó una serie de mediciones de temperatura del aire por medio de recorridos en automóvil, utilizando los termómetros de mercurio de un psicrómetro. La precisión de los termómetros fue de un décimo de grado centígrado. El psicrómetro se sujetó a uno de los limpiadores del parabrisas, de suerte que se podían hacer las lecturas por una persona sentada junto al asiento del conductor en un coche de motor trasero, evitando así la influencia del calor despedido por éste.

La mayoría de los recorridos se hicieron entre las 21:00 y las 23:00 horas, cuando las diferencias térmicas en la ciudad parecen acentuarse. Otra serie de observaciones se hicieron en la madrugada, entre las 4:00 y las 6:00 horas, lo que permitió abreviar un poco el tiempo del recorrido y, en consecuencia, reducir el error que se introduce

por la falta de simultaneidad de las observaciones.

El desarrollo de los recorridos fue de 80 kilómetros dentro de la ciudad, abarcando puntos periféricos como el Toreo de Cuatro Caminos, la Villa de Guadalupe, el Aeropuerto Internacional, San Ángel, Tacubaya y el Río Churubusco. Las lecturas se hicieron a cada kilómetro de recorrido, de manera que se tuvieron siempre unos 80 puntos de observación diseminados en el área urbana.

El recorrido se proyectó de suerte que se obtuviera una red de puntos de observación más o menos uniforme en el área urbana; al mismo tiempo, se procuraron varios puntos de cruce, regresando siempre al punto de partida lo que permitió hacer las correcciones por el descenso de temperatura que ocurrió durante el lapso de recorrido (de poco menos de dos horas). Este descenso de temperatura tuvo un valor máximo de 2°C.

5. Resultados

En diversas condiciones meteorológicas se encontró que la temperatura del aire aumenta de la periferia hacia el centro de la ciudad de México. La llamada "isla de calor" se localiza en general, un poco viento abajo de la zona de mayor densidad de edificios elevados, es decir, algo al suroeste del centro, mostrando en algunos casos indentaciones frías en áreas de parques o zonas abiertas. En las figuras 4 y 5 se muestra la distribución de las temperaturas nocturnas del aire en la ciudad de México obtenidas en

recorridos durante la temporada de secas. Fue en las noches despejadas y con aire en calma, características de la estación seca (noviembre-abril), cuando se observaron las diferencias térmicas más acentuadas de 4°C o 5°C . En estas condiciones la pérdida de calor por radiación nocturna es más marcada en el campo abierto de los alrededores que en el área urbana que se encuentra cubierta por la nube de impurezas que absorbe y reirradia el calor desprendido por las superficies urbanas.

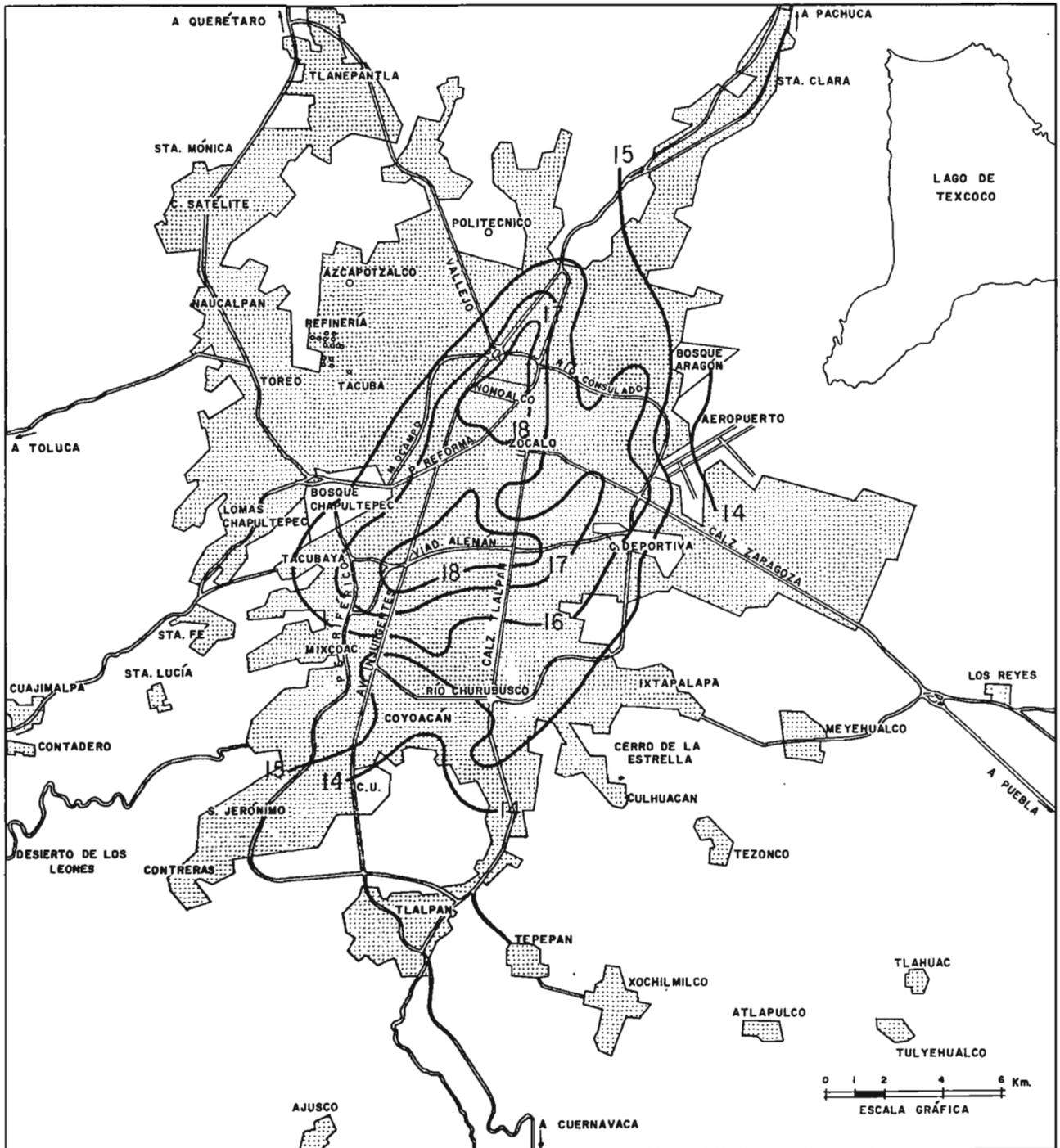


FIG. 4 . TEMPERATURA DEL AIRE DURANTE LAS 21 A 23 HORAS DEL 27 DE ENERO DE 1969 CON CIELO DESPEJADO Y AIRE EN CALMA .

6. Método para localizar la isla de calor utilizando la red de estaciones meteorológicas diseminadas en el área urbana y zonas periféricas

Funcionan desde hace varias décadas unas 55 o 60 estaciones termopluviométricas. La mayoría de estas estaciones pertenecen al Servicio Meteorológico de la Secretaría de Agricultura, mientras que una pequeña parte son atendidas por la Comisión Federal de Electricidad, la Secretaría de Recursos Hidráulicos o la Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México.

La distribución de las estaciones climatológicas del área urbana y suburbana de la ciudad de México aparece en la figura 6 y los datos climatológicos correspondientes, en la tabla II, al final de esta monografía.

La mayoría de las estaciones se localizan en la planicie de la cuenca y sólo algunas como el observatorio de Tacubaya, presa Mixcoac, presa Tarango, Castañeda, Anzaldo, Totolica y Paseo de la Reforma, se encuentran en la zona de lomeríos en el poniente de la ciudad.

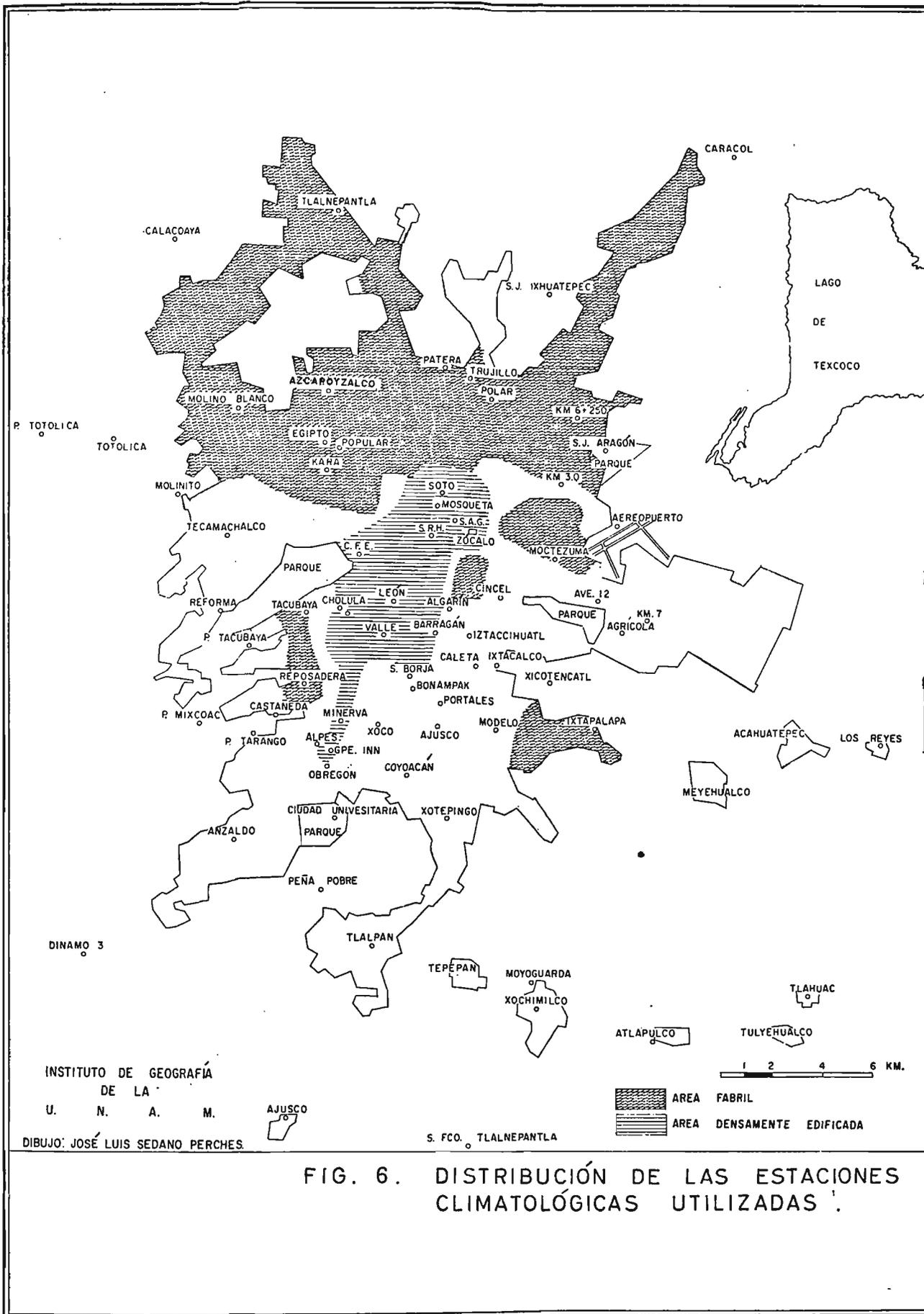
a) *Las temperaturas mínimas*

La modificación del equilibrio de radiación originado por la contaminación del aire es uno de los factores importantes en la determinación del clima de la ciudad. Como ya se dijo, durante el día sólo llega a las superficies urbanas de un 10 a un 40 por ciento de la radiación global, ya que el resto es dispersada y absorbida por las capas de

impurezas en el aire. Por la noche esta misma nube emite una cantidad considerable de radiación de onda larga hacia la ciudad reduciendo las pérdidas de calor por radiación nocturna. A este efecto se suma el debido a las numerosas fuentes de calor por combustión.

Como resultado, las temperaturas mínimas dentro de la ciudad son comparativamente más elevadas que las de las áreas abiertas que la rodean. Esto se advierte en las figuras 7 a 18 que muestran la distribución de las temperaturas mínimas para cada mes en la ciudad de México. Durante la estación seca, la ciudad es considerablemente más tibia por la noche que los alrededores y las diferencias de las temperaturas mínimas llegan a ser de 8° a 10°C. Al aumentar la humedad durante la estación lluviosa las pérdidas de calor por radiación nocturna se reducen, ya que el vapor de agua es opaco a la radiación de onda larga de la Tierra, por lo que las diferencias entre las temperaturas mínimas son entonces menores: de 4° a 6°C (figuras 12 a 16).

Los resultados que se observan al cartografiar las temperaturas mínimas de la red de estaciones climatológicas urbanas comprueban las obtenidas con el método de los recorridos en automóvil, en el sentido de que con ambos procedimientos se destaca la llamada "isla de calor" que generan las áreas urbanas.



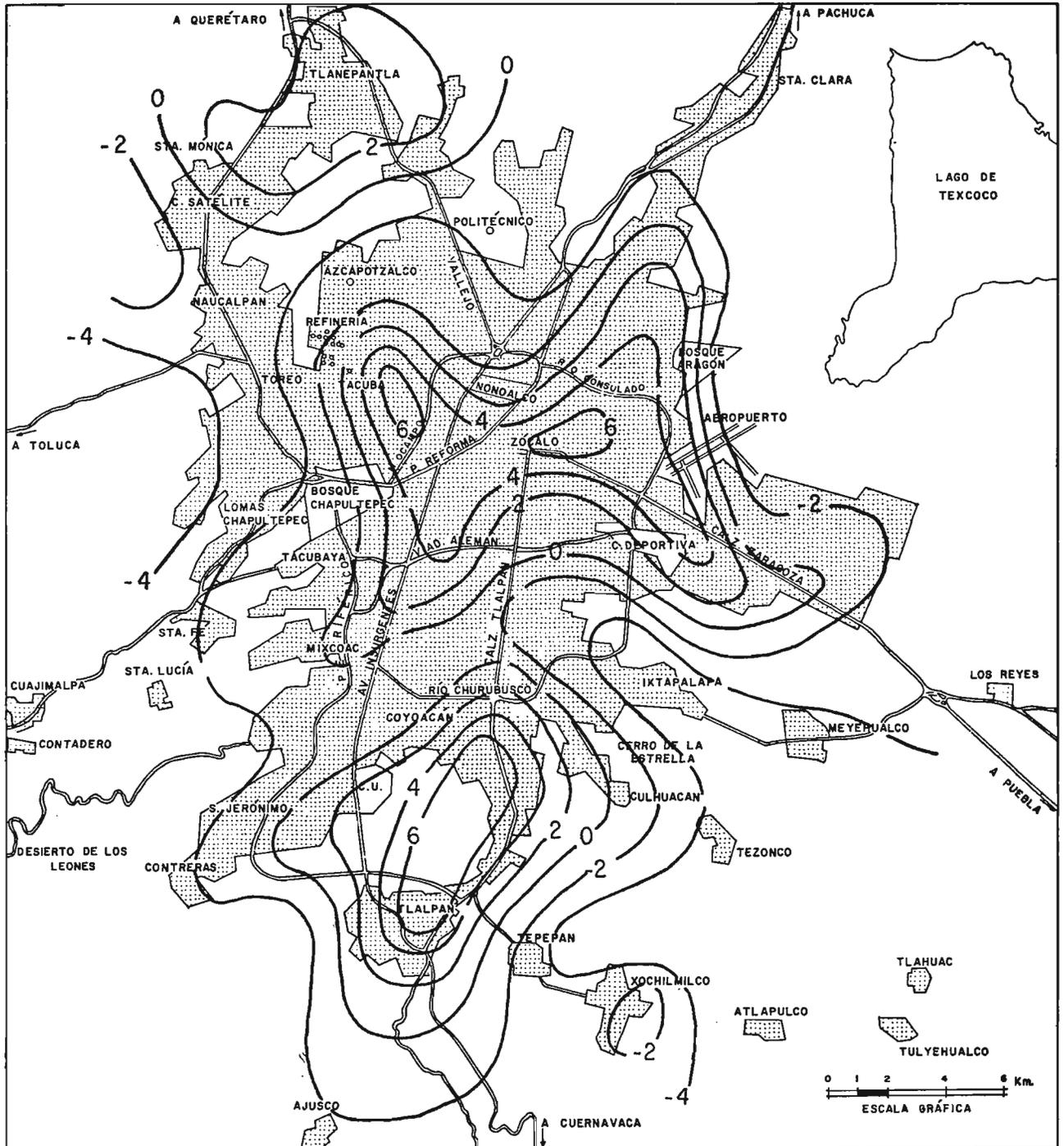


FIG. 7 . TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN ENERO (grados centígrados)

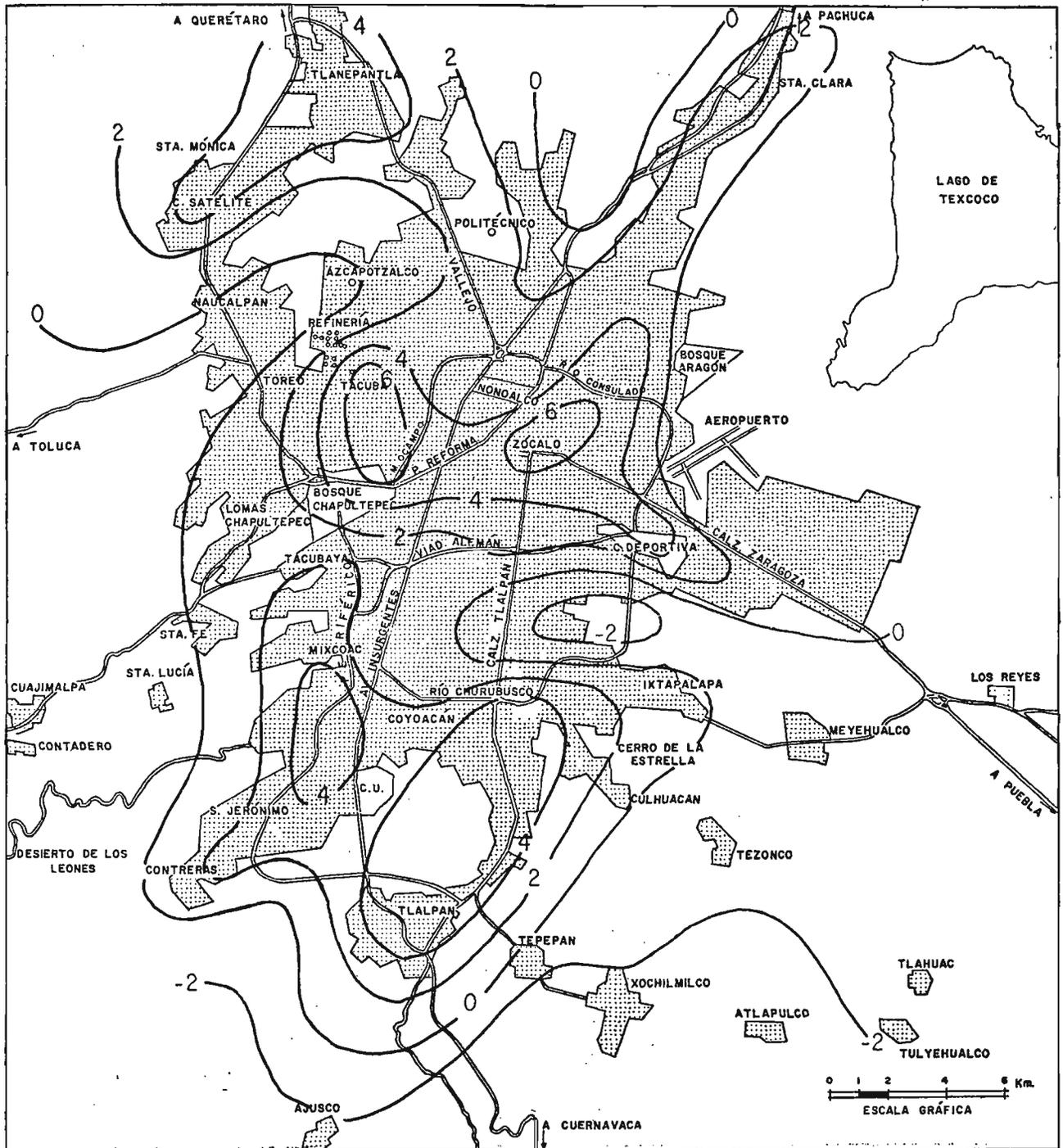


FIG. 8. TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN FEBRERO. (grados centígrados).

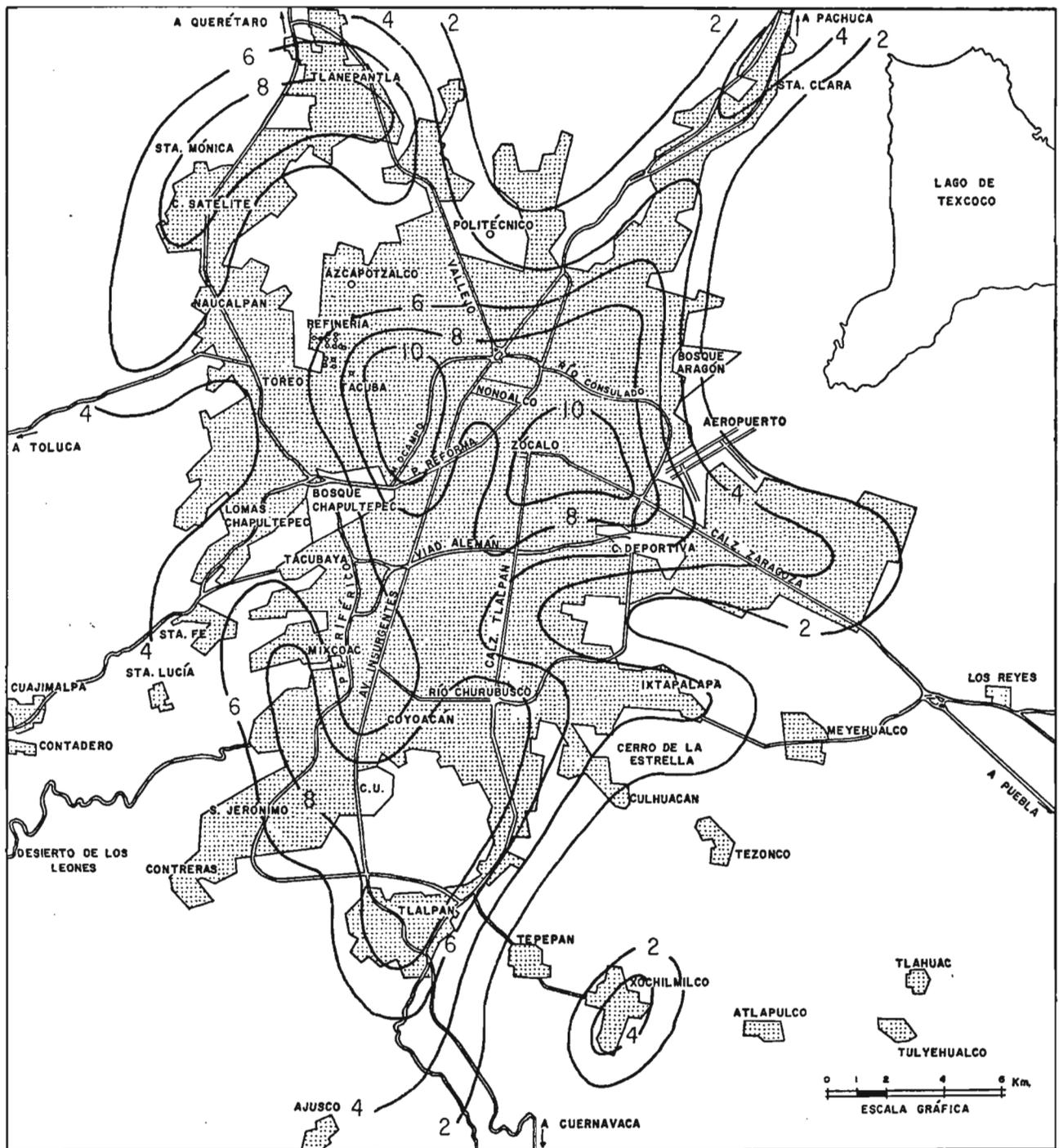


FIG. 10 TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN ABRIL (grados centígrados).

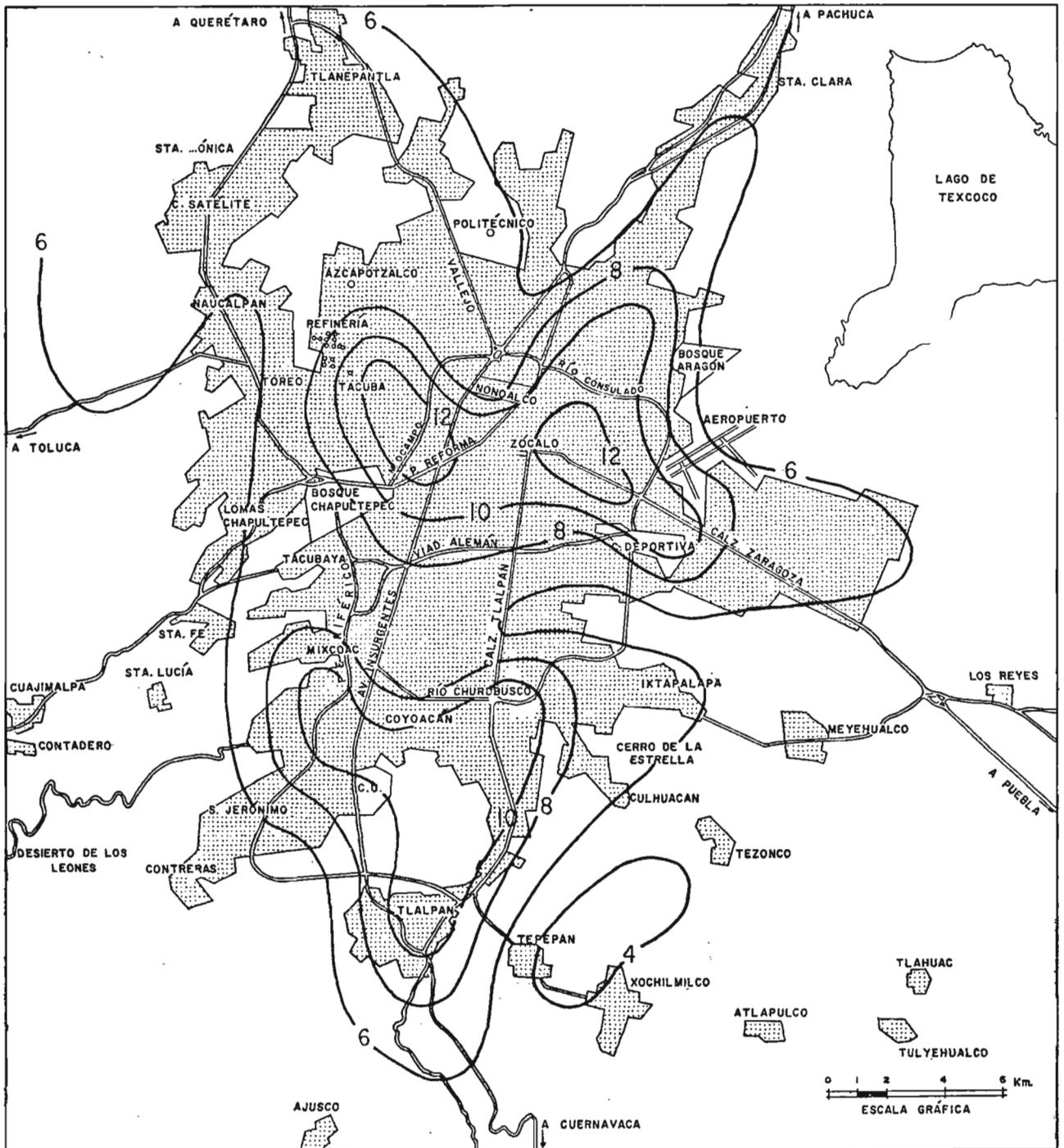


FIG. 11. TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN MAYO (grados centígrados).

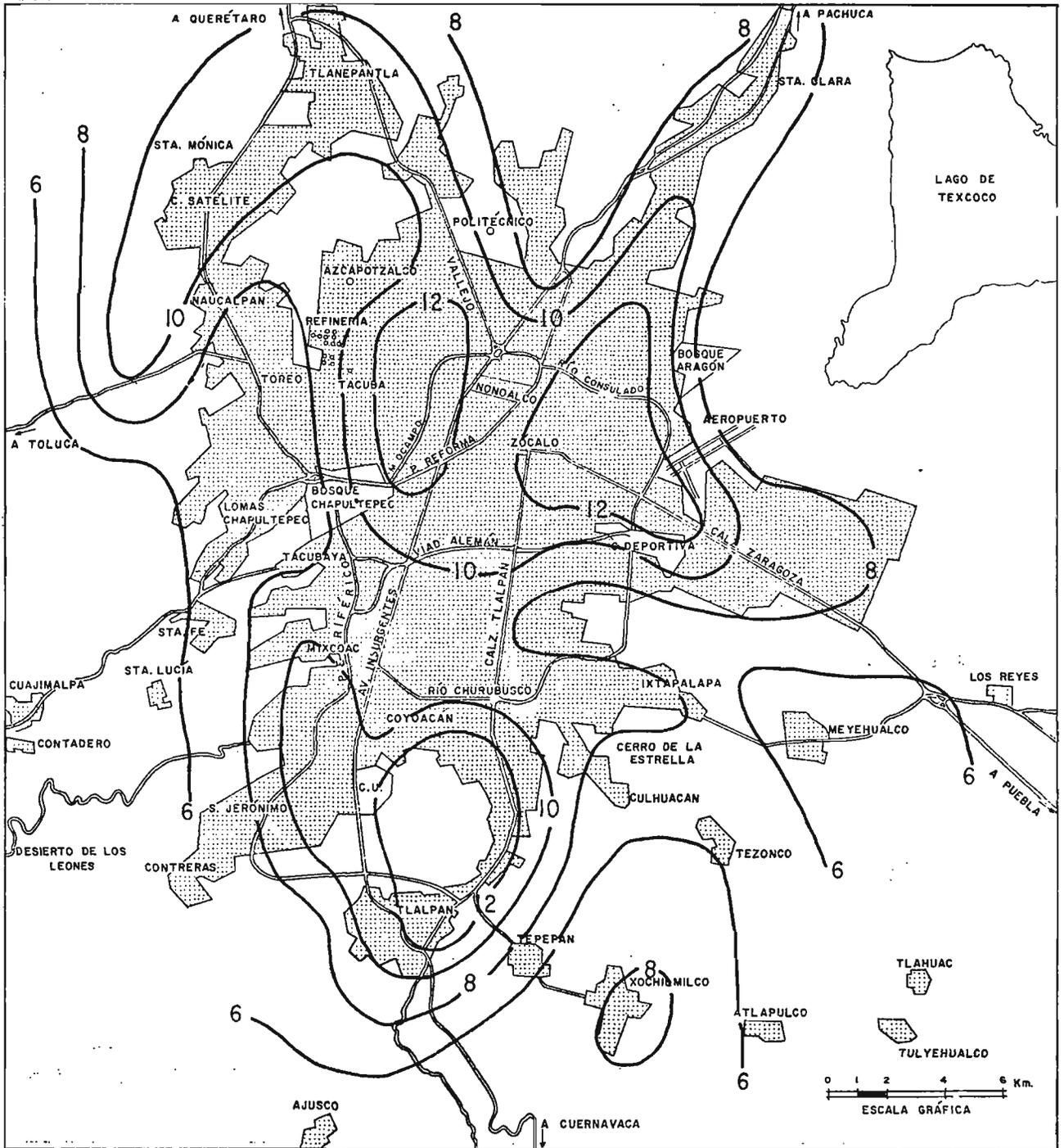


FIG. 12 . TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN JUNIO (grados centígrados) .

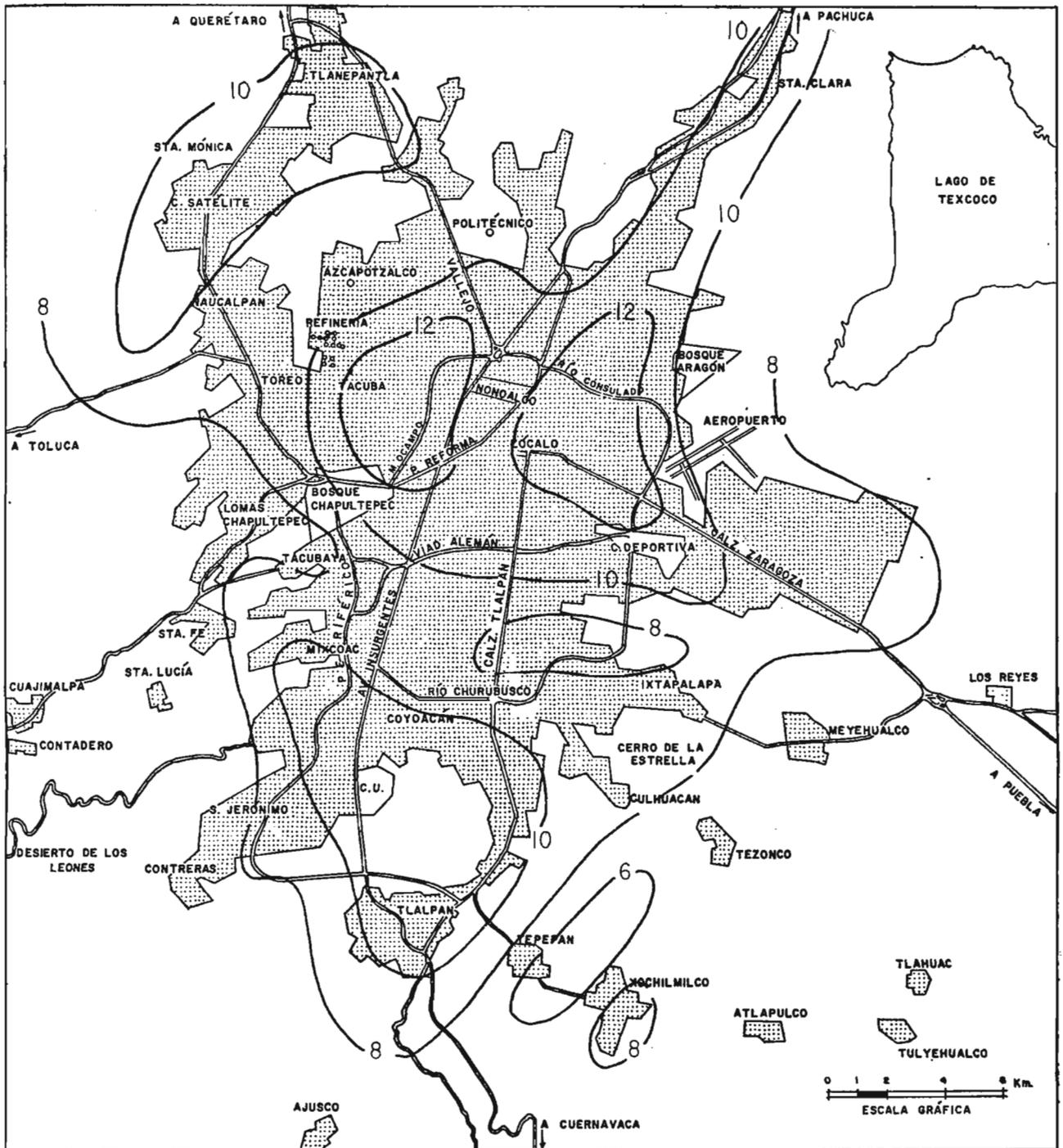


FIG. 14 . TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN AGOSTO (grados centígrados).

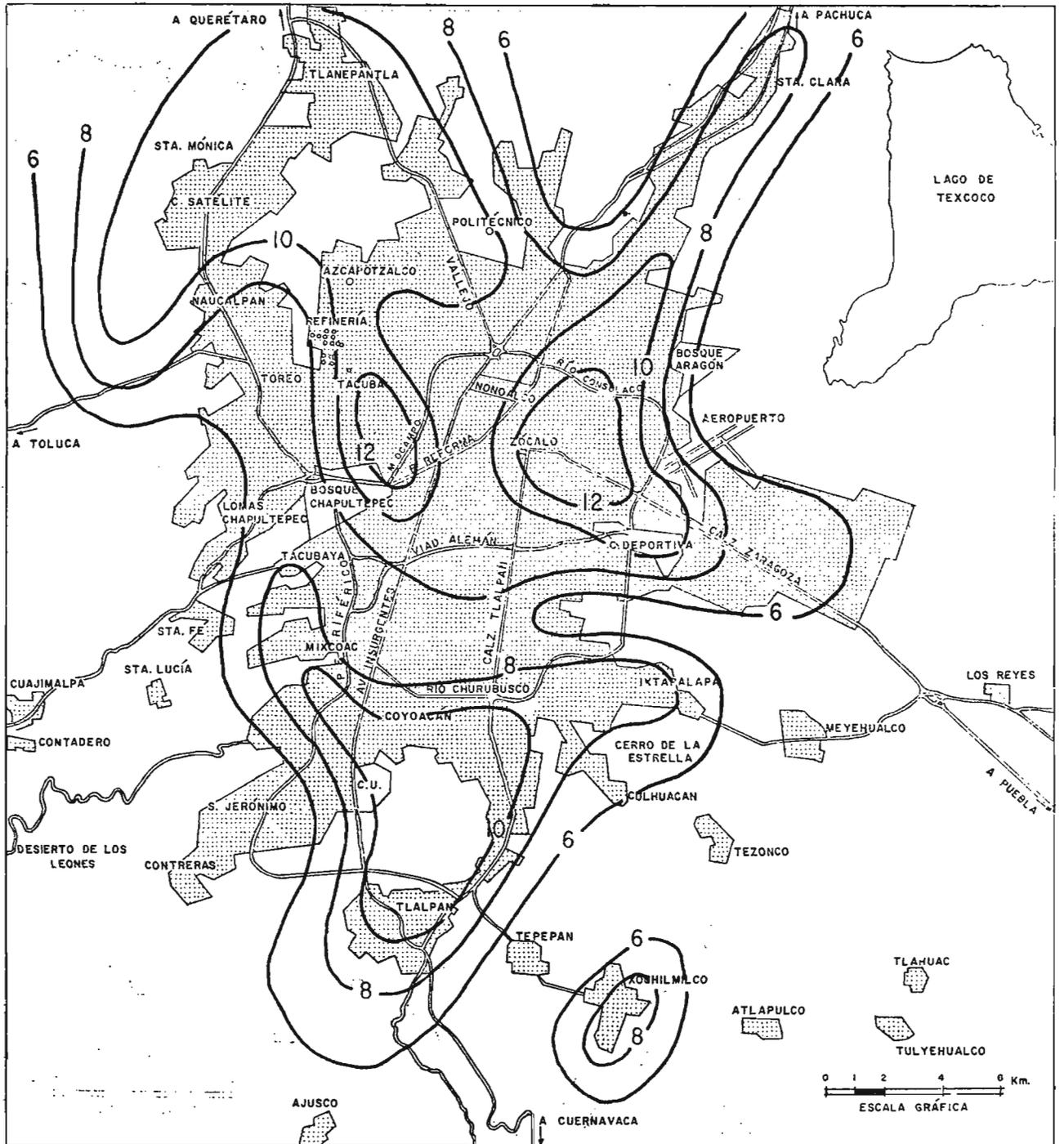


FIG. 15 . TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN SEPTIEMBRE (grados centígrados)

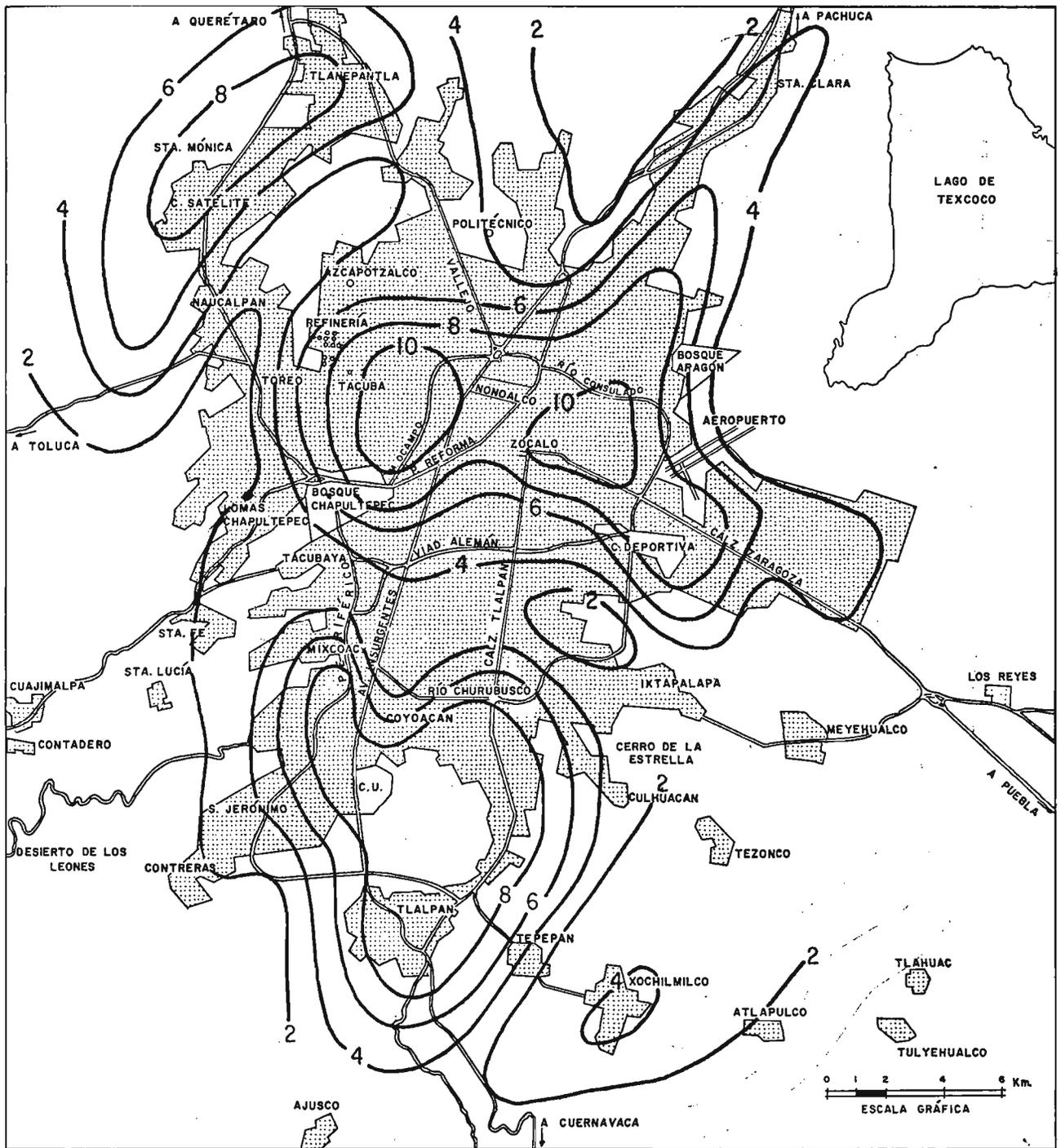


FIG. 16 . TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN OCTUBRE (grados centígrados).

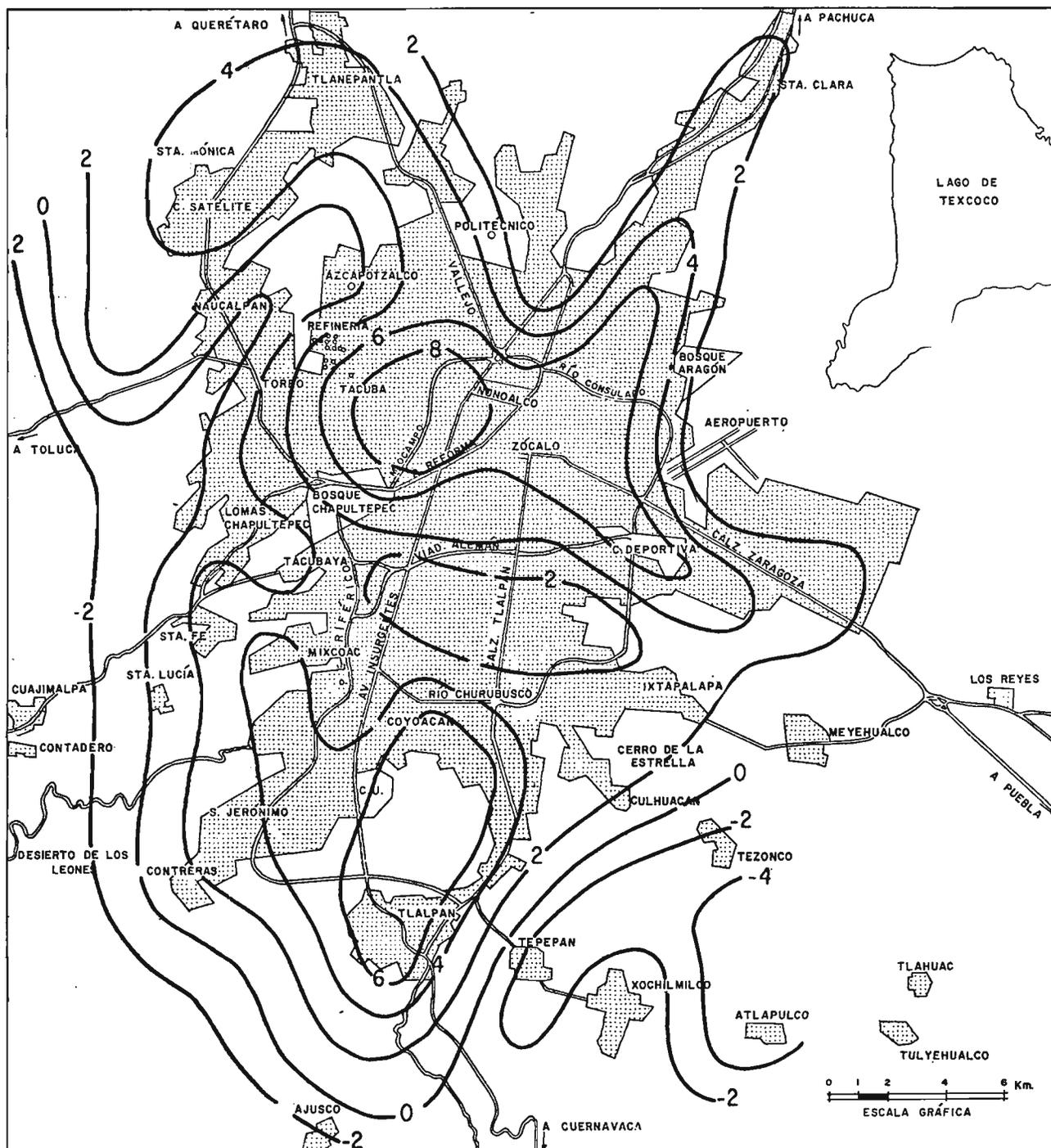


FIG. 17 . TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN NOVIEMBRE (grados centígrados)

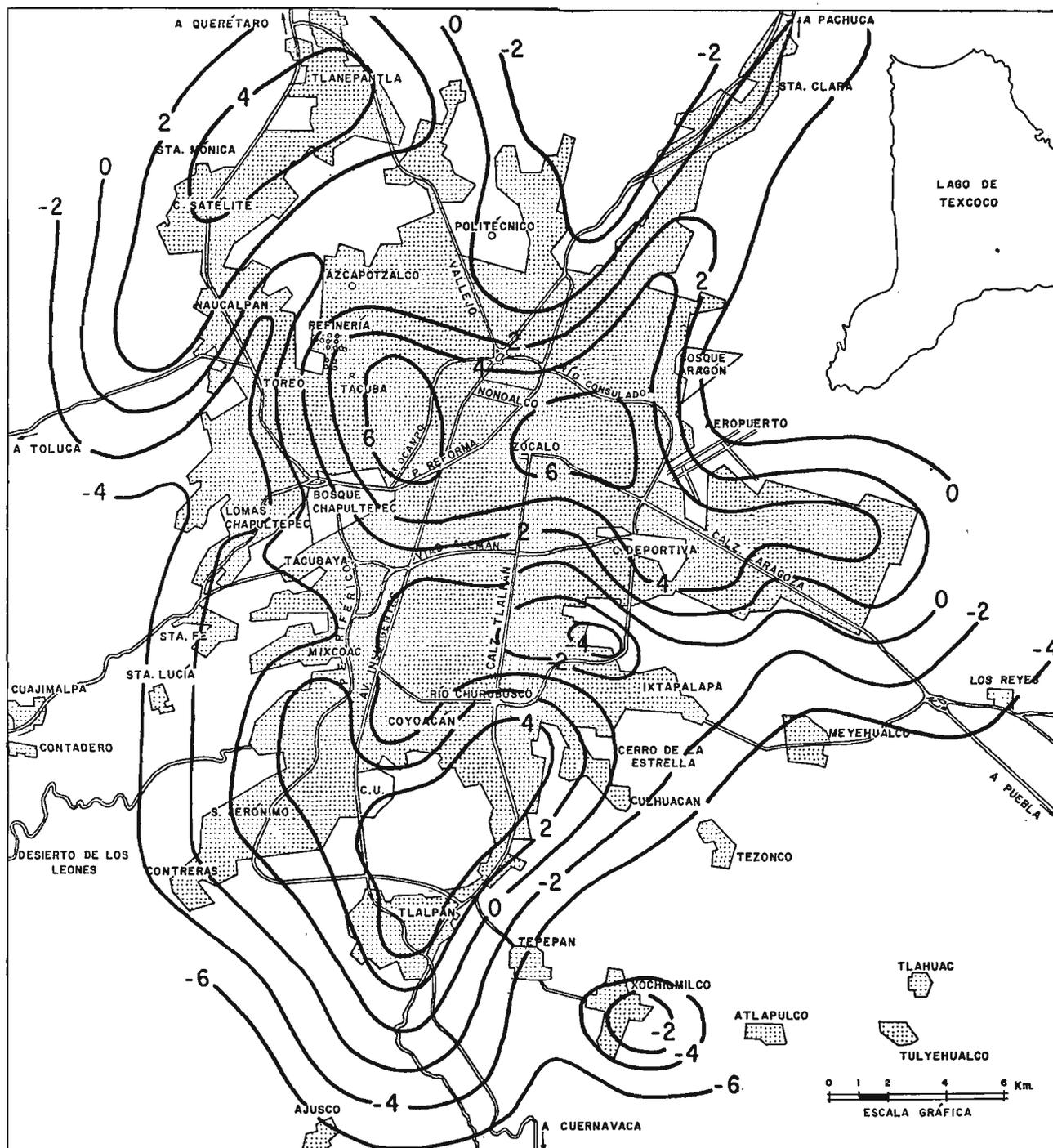


FIG. 18 . TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO EN DICIEMBRE (grados. centígrados).

7. Otros factores del mesoclima urbano

a) *La temperatura máxima*

La mayor capacidad térmica de las superficies urbanas tiene el efecto de retardar la ocurrencia de la temperatura máxima, y la nube de impurezas en el aire, afecta en forma insignificante, el valor de esta temperatura.

En las figuras 19 a 30 se muestra la distribución de las temperaturas máximas en la ciudad. Se advierte que, en general, las temperaturas máximas en la capital no difieren tan apreciablemente de las que se registran en la periferia, como en el caso de las temperaturas mínimas. En los suburbios sin embargo, las temperaturas máximas son ligeramente mayores por las razones apuntadas sobre todo hacia el oriente de la ciudad. Las temperaturas máximas en el centro de la ciudad se reducen, ya que una parte apreciable de la radiación solar es interceptada por la nube de impurezas.

b) *Las heladas*

La distribución de las heladas anuales aparece en la figura 31. El efecto de "isla de calor" reduce el número de días con temperaturas bajo cero en el centro de la ciudad. Así, en el corazón antiguo de la capital no ocurren heladas, mientras que en los suburbios los días con helada en el año suman en promedio 40. Hacia la zona de lomeríos del sur y del oeste, las heladas ascienden a 60 o 70 por año.

c) *La intensidad de la lluvia*

Durante la época de lluvias (mediados de mayo a mitad de octubre) caen en la ciudad aguaceros de diversa intensidad, provenientes en general, de nubes convectivas. Estas nubes viajan en el seno de la corriente húmeda de los alisios que en la planicie de la cuenca de México soplan del NE.

En la zona de lomeríos del poniente de la ciudad, se advierte que las lluvias son más intensas (figura 32). Esto se debe a que, al desarrollo vertical de las nubes originado por las corrientes convectivas que produce la insolación, se agrega el efecto del levantamiento orográfico, lo cual hace que las nubes se eleven ahí a mayor altura y en consecuencia, la intensidad de los aguaceros (y de las tormentas eléctricas) es mayor en esa parte de la ciudad. Así, mientras que en la parte oriental de la capital los chubascos tienen una intensidad promedio de 35 mm en 24 horas, en la zona poniente de lomeríos, esta intensidad sube a 45 o 50 mm en 24 horas.

Un máximo secundario de intensidad de la lluvia se localiza en esta figura, ligeramente al poniente del centro de la ciudad, debido probablemente al efecto de la isla de calor que fomenta los movimientos verticales del aire directamente sobre ella (figura 32).

En la figura 33 se muestra la distribución de la intensidad de los más fuertes aguaceros registrados en todo el periodo de observación. Se aprecia en general, lo mismo que en la figura 32, es decir que los

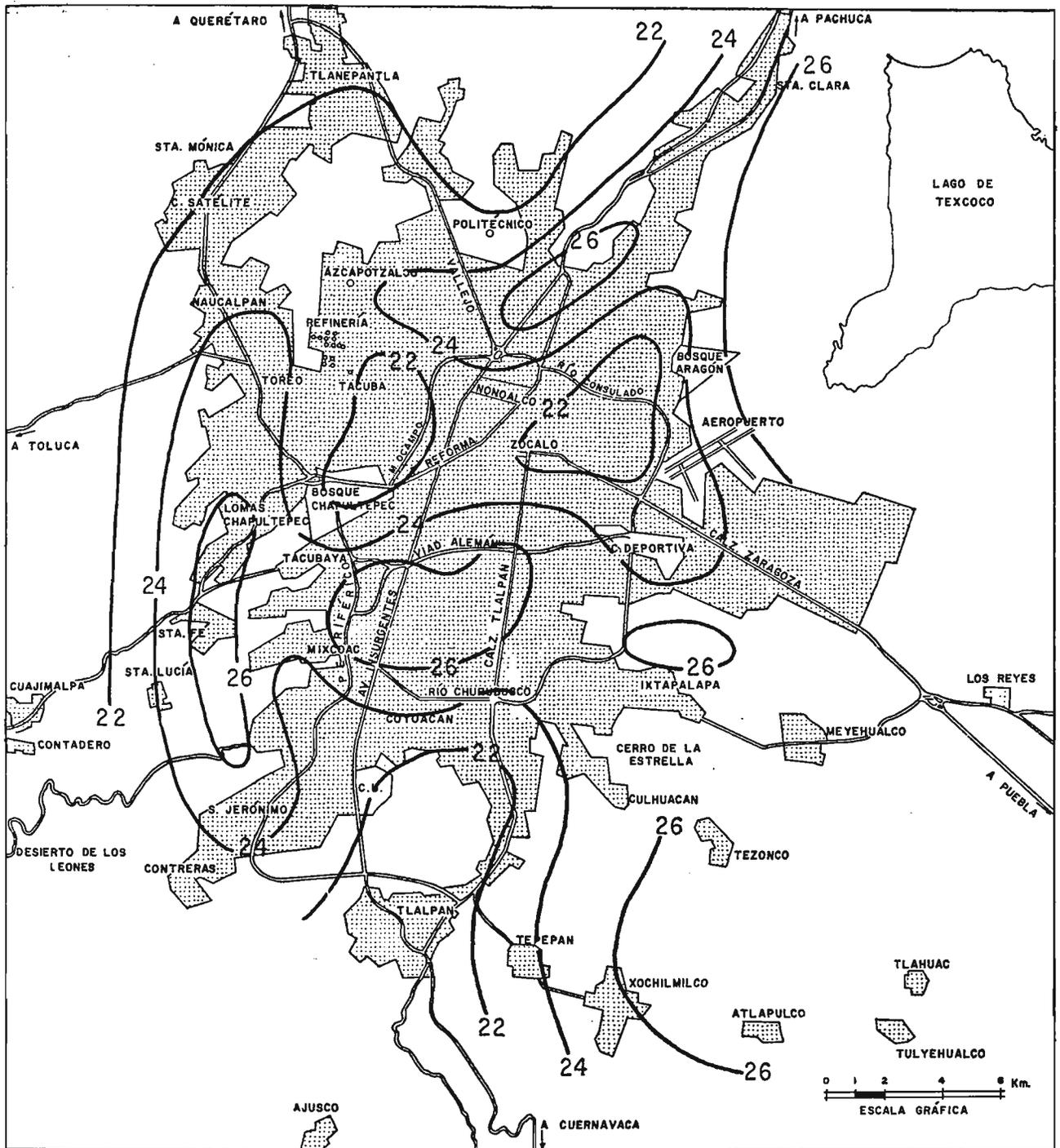


FIG. 19 TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO EN ENERO (grados centígrados)

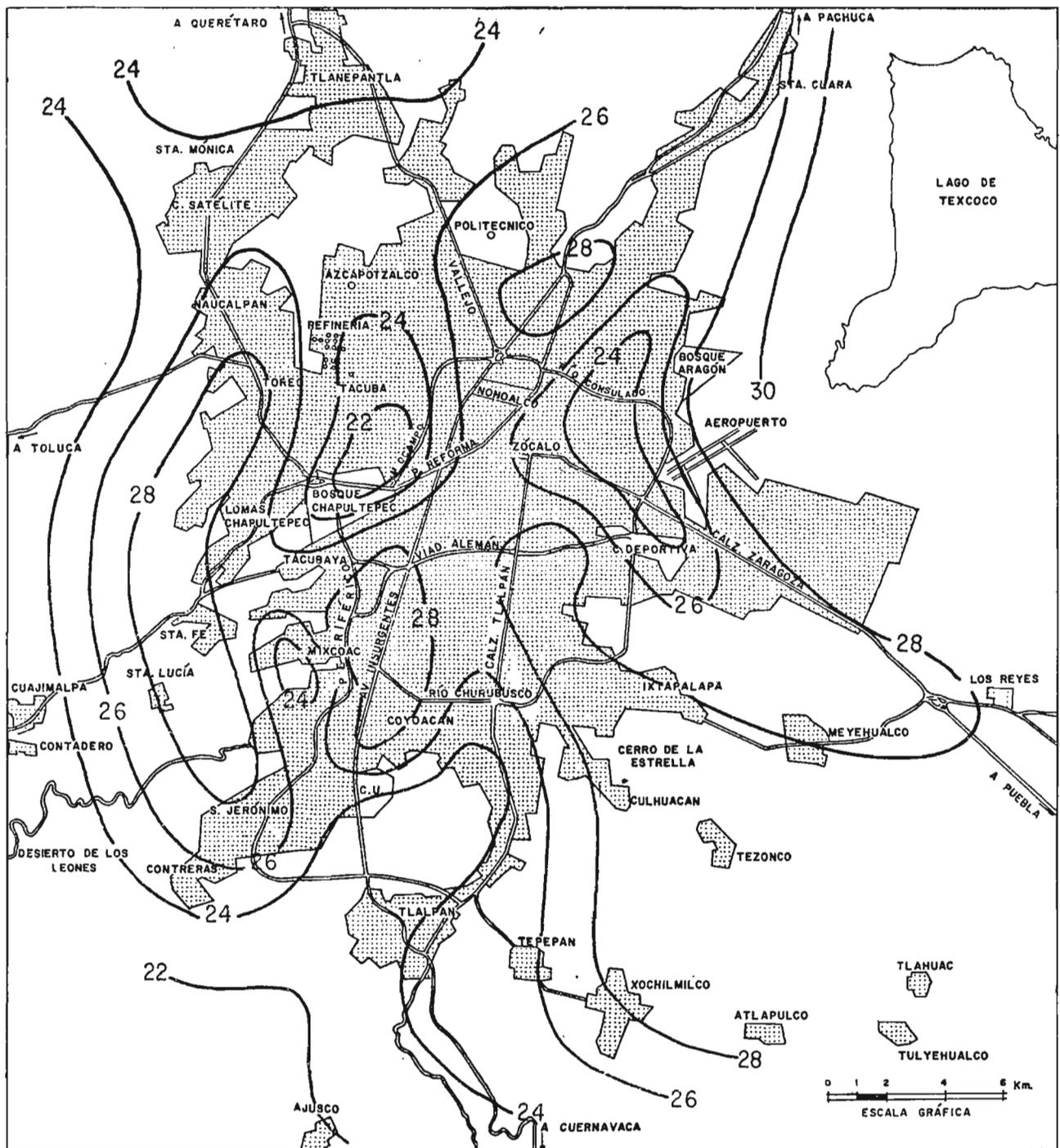


FIG. 20. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO EN FEBRERO. (grados centígrados)

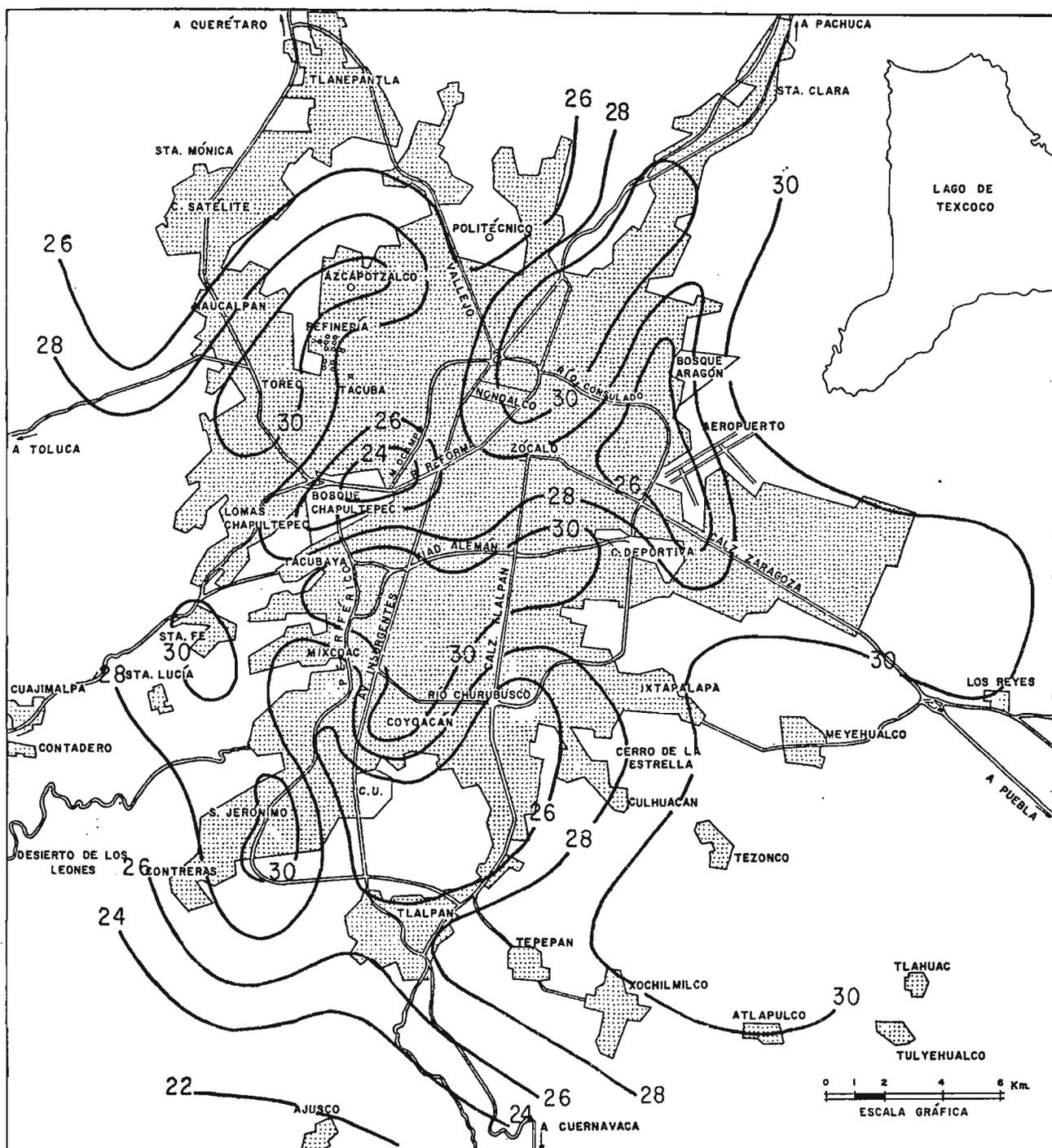


FIG. 21 . TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO EN MARZO . (grados centígrados)

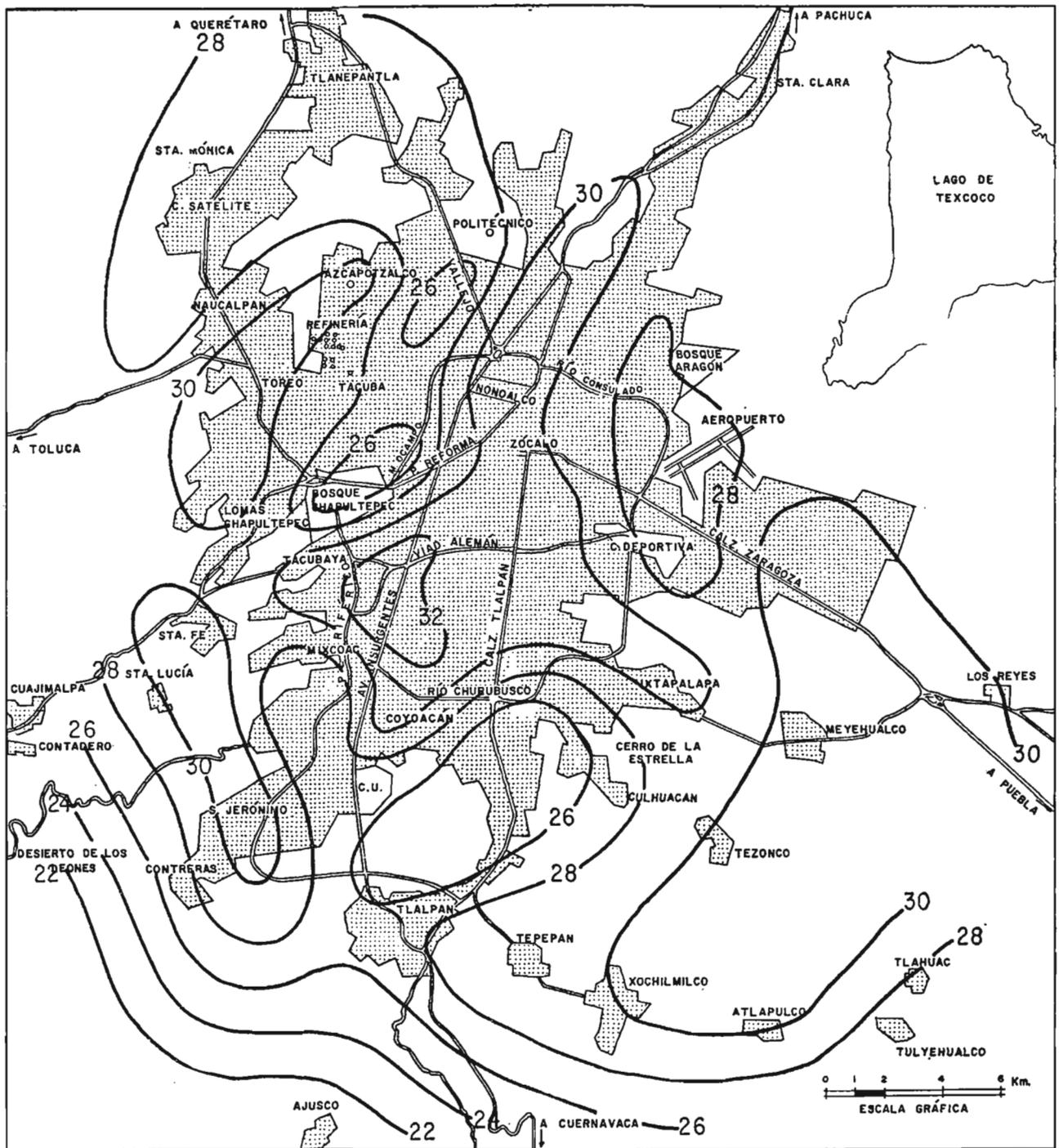


FIG. 22. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO DE ABRIL. (grados centígrados).

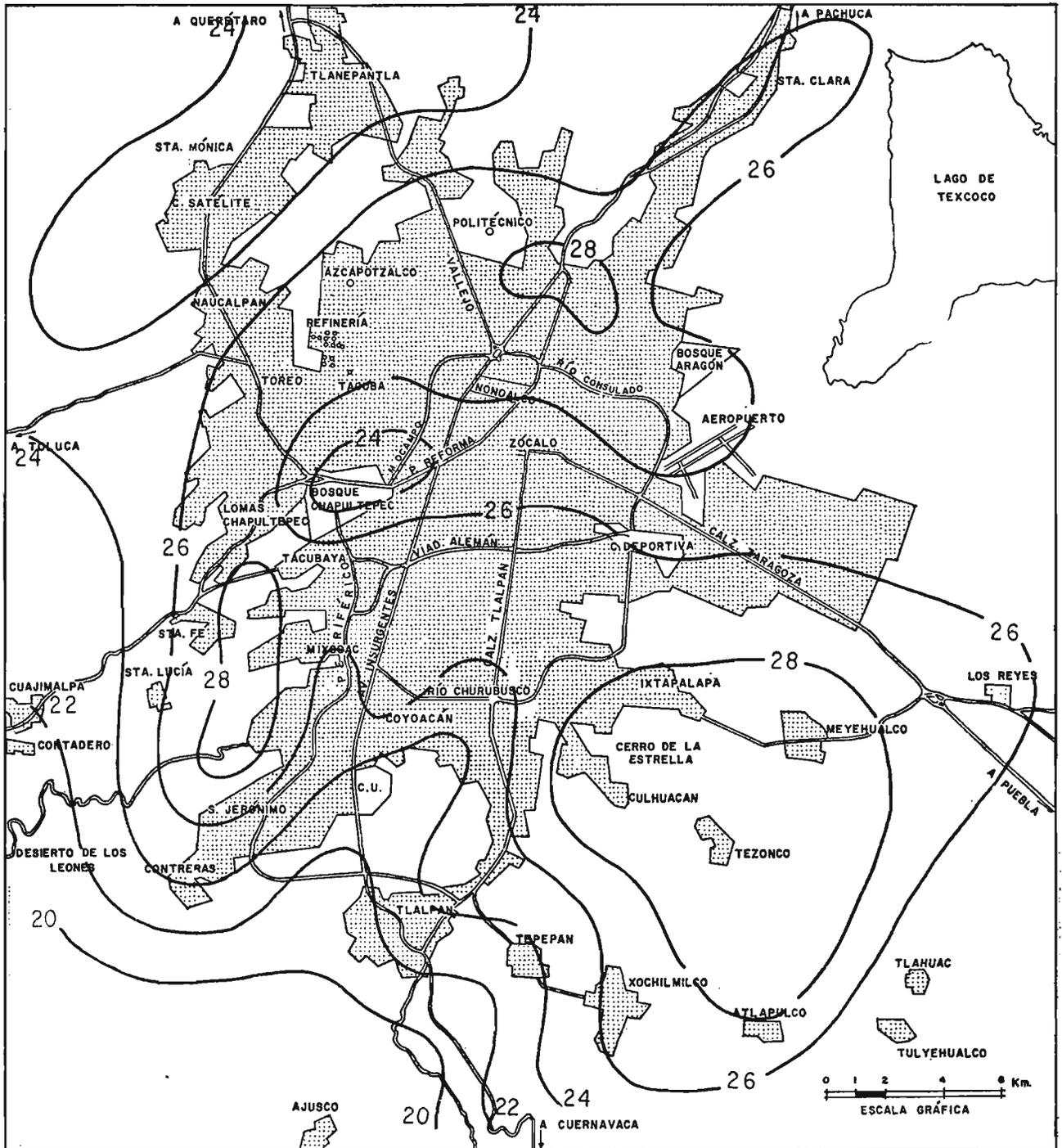


FIG. 26. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO EN AGOSTO. (grados centígrados)



FIG. 28. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO EN OCTUBRE (grados centígrados).

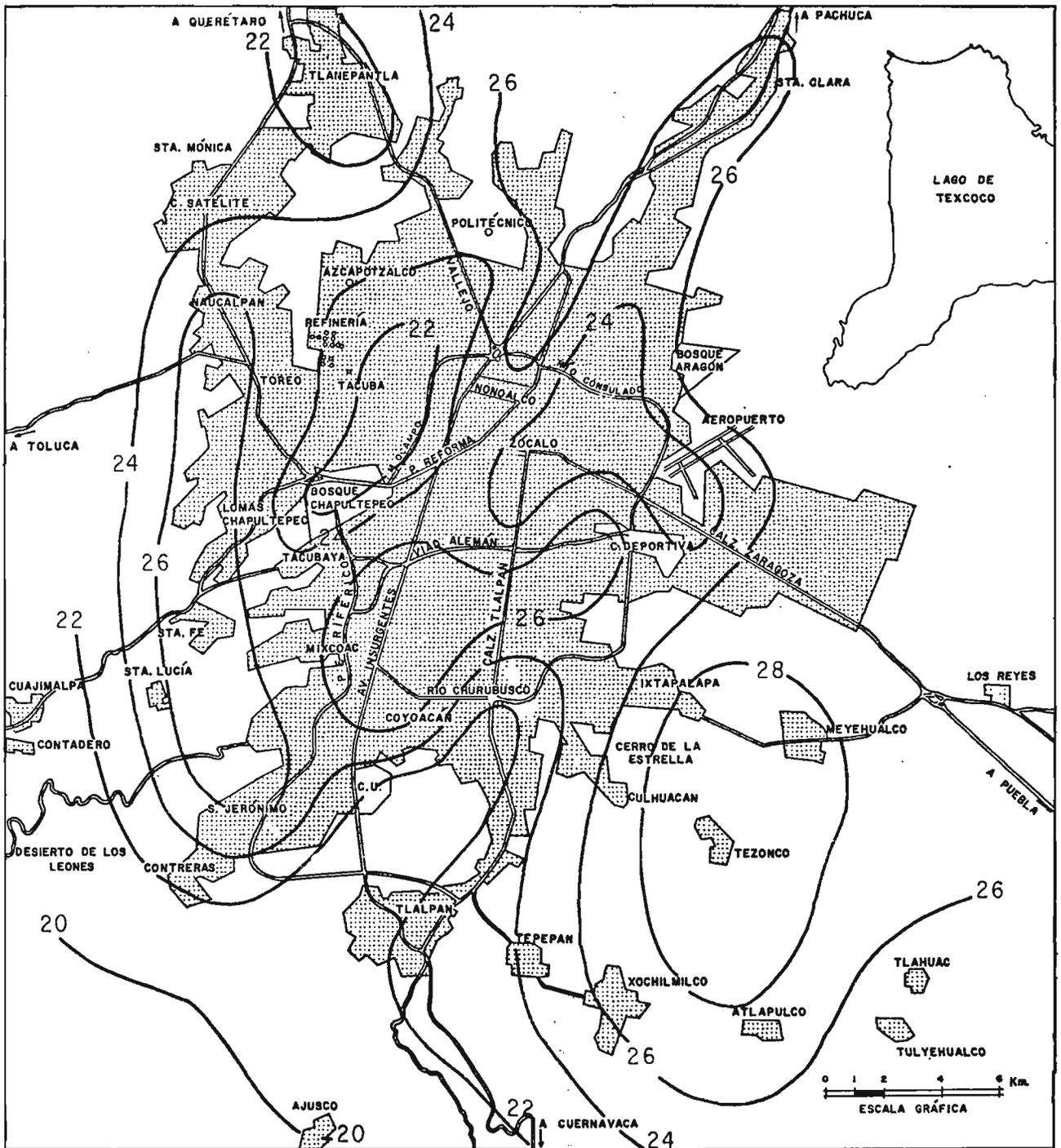


FIG. 29. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO EN NOVIEMBRE . (grados centígrados)

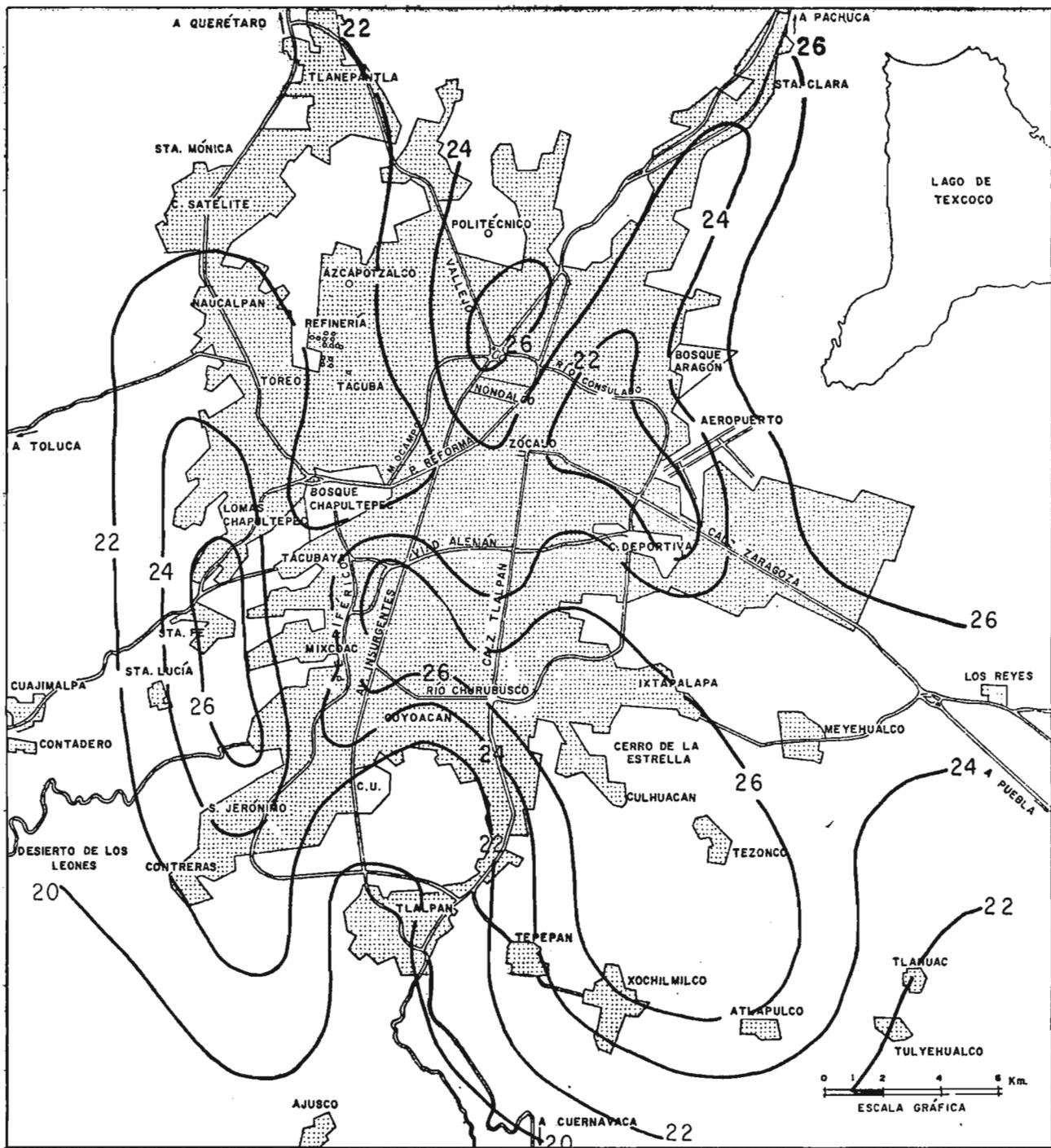


FIG. 30. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO EN DICIEMBRE (grados centígrados)

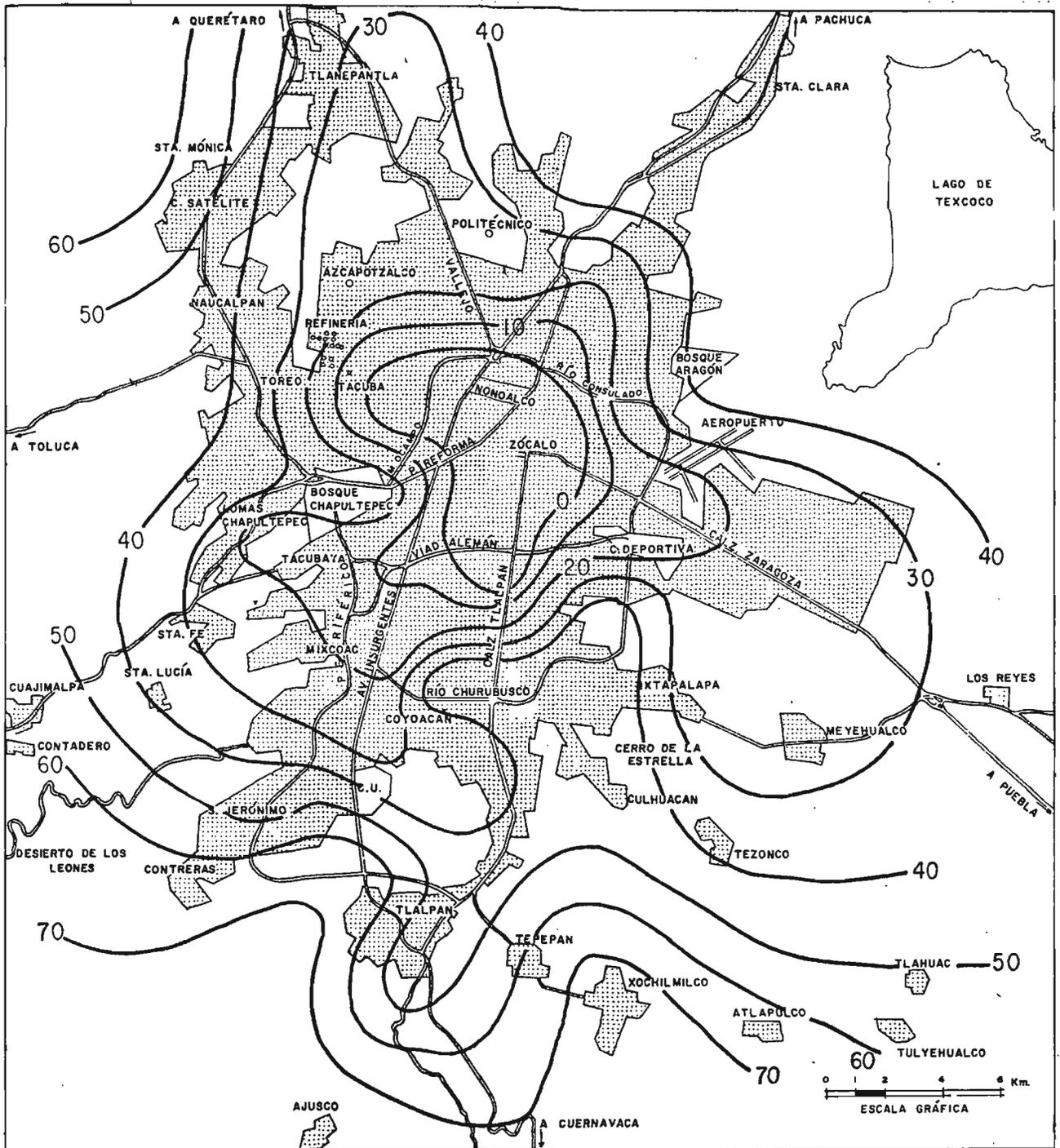


FIG. 31. NÚMERO ANUAL PROMEDIO DE DÍAS CON HELADA .

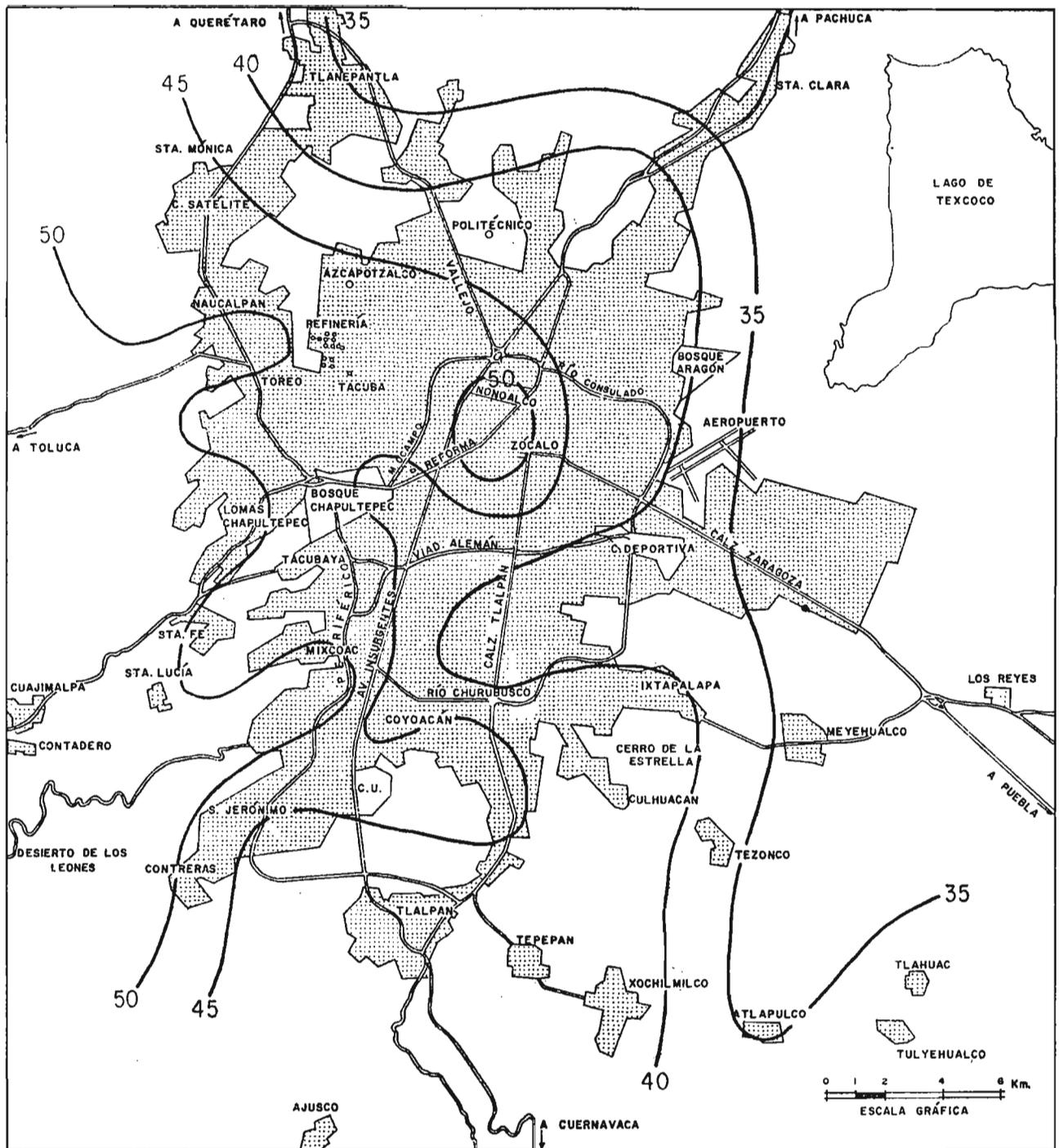


FIG. 32. INTENSIDAD MEDIA DE LA LLUVIA EN UN LAPSO DE 24 HORAS (en mm).

aguaceros más fuertes ocurren hacia el sur y poniente de la ciudad, por el efecto del levantamiento orográfico. Además, aquí se observa nuevamente el máximo de intensidad secundario localizado entre Tacubaya y la colonia del Valle donde los aguaceros más fuertes han tenido una intensidad de 100 mm en 24 horas, ayudados por la convección adicional de la isla de calor. Los aguaceros más intensos se han registrado en la zona de Contreras.

d) *Frecuencia de las tormentas eléctricas*

En la figura 34 aparece la distribución de las tempestades eléctricas en la ciudad. Éstas varían de 10 a 30 tormentas en el año. Las zonas que registran mayor número de estos fenómenos son el noroeste y el sur de la capital, así como la zona al norte del aeropuerto. El área urbana donde ocurren menos tormentas es el núcleo central de la capital, desde la colonia del Valle hasta la Villa de Guadalupe.

e) *Incidencia del granizo*

Son pocos los días en que cae granizo sobre la ciudad. En el centro y norte de la capital es raro este fenómeno, mientras que hacia el sur y poniente ocurren de 4 a 6 granizadas anuales en promedio (figura 35).

f) *Frecuencia de los días nublados*

Los días nublados en la ciudad varían de 40 a 100 al año (figura 36); las áreas con más de 100 días nublados se localizan al poniente y al sur del área urbana, correspondiendo con las áreas donde son más intensos los aguaceros. Otra área nebulosa aparece entre el zócalo y el parque de San Juan de Aragón. Hacia el oriente y NE de la ciudad, los días nublados decrecen a 60 o 40.

g) *Frecuencia de los días con lluvia*

La frecuencia de los días lluviosos varía en promedio en la ciudad de México de 90 a

130 (figura 37). Nuevamente en las zonas sur y poniente de lomeríos ocurre el mayor número de días con lluvia, mientras que en los alrededores del antiguo centro de la ciudad, aunque se presentan nublados abundantes, los días lluviosos son sólo 80 en promedio.

h) *Cantidad de lluvia anual*

Ya se vio en las figuras 32 y 33 que los aguaceros son más intensos en el sur y poniente del área urbana y además ahí llueve, en promedio, un número mayor de días al año que en el resto de la ciudad (figura 37). Es lógico en consecuencia que la cantidad total de lluvia anual sea mayor en las áreas del sur y poniente, como se puede apreciar en la figura 38.

i) *La temperatura media anual*

Al finalizar el siglo pasado el ingeniero Mariano Bárcena (1893) publicó el primer estudio del clima de la ciudad de México, basado en observaciones meteorológicas que se tomaron en el Palacio Nacional durante el periodo de diez y seis años de 1877 a 1892. Bárcena calculó los valores promedio de las diversas variables climatológicas.

El promedio de la temperatura anual encontrado por el mencionado investigador para el periodo señalado fue de 15.4°C. La población de la ciudad de México era entonces de cerca de 300 000 habitantes y existían pocas industrias que enturbiaran el aire con sus emanaciones. La contribución de los vehículos de combustión interna, actualmente tan importante para la contaminación atmosférica, era prácticamente nula a fines del siglo diez y nueve. Consecuentemente el aire de la ciudad debió tener una nitidez y transparencia propia de las áreas rurales no contaminadas. El enturbiamiento gradual del aire por el crecimiento del área urbana se aceleró a partir de la década de los años cuarenta (Jáuregui, 1969) y en la actualidad la atmósfera de la capital ha alcanzado niveles de contaminación con gases (monóxido de carbono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, etcétera) y par-

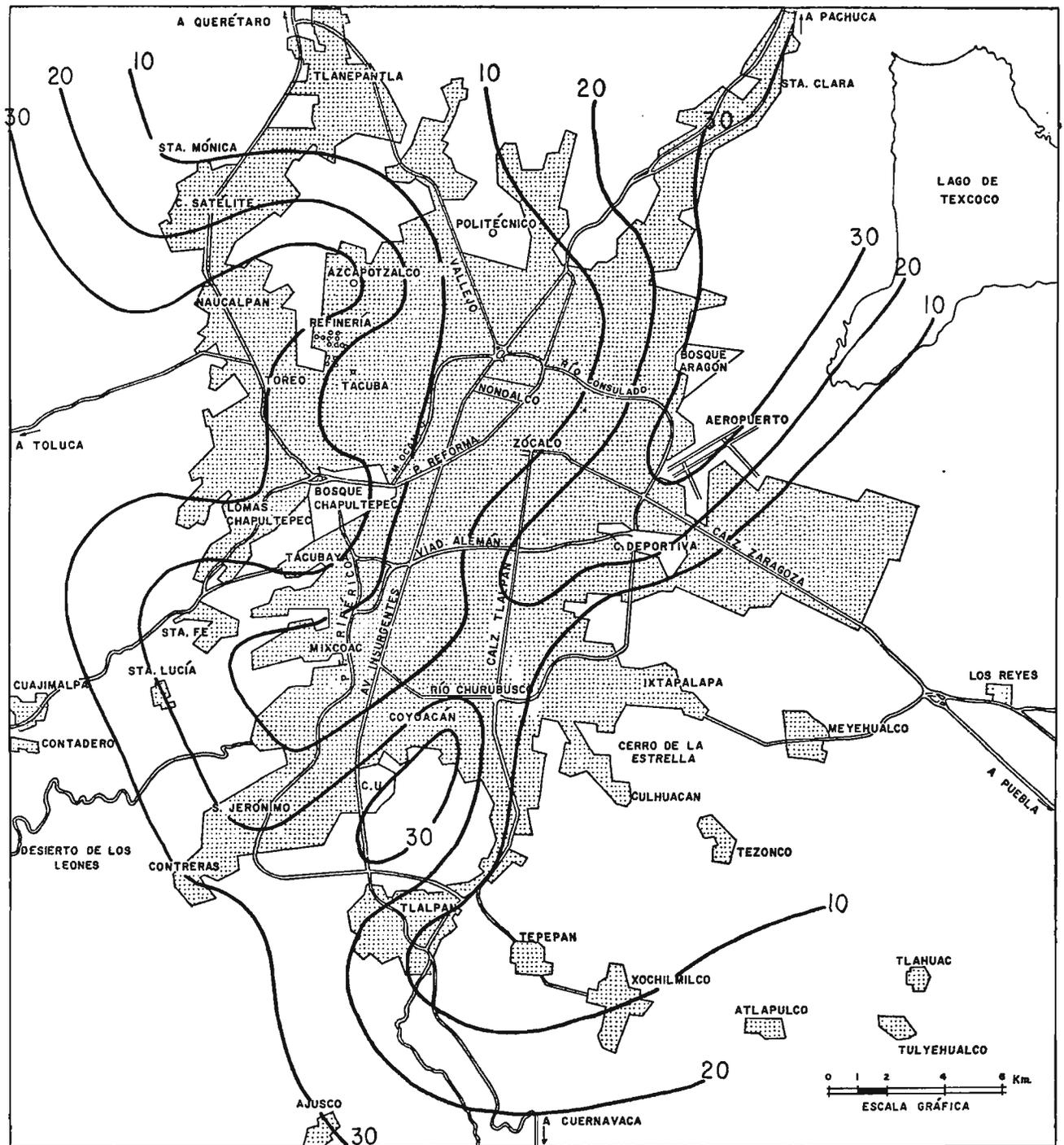


FIG. 34 . NÚMERO ANUAL PROMEDIO DE DÍAS CON TORMENTA ELÉCTRICA

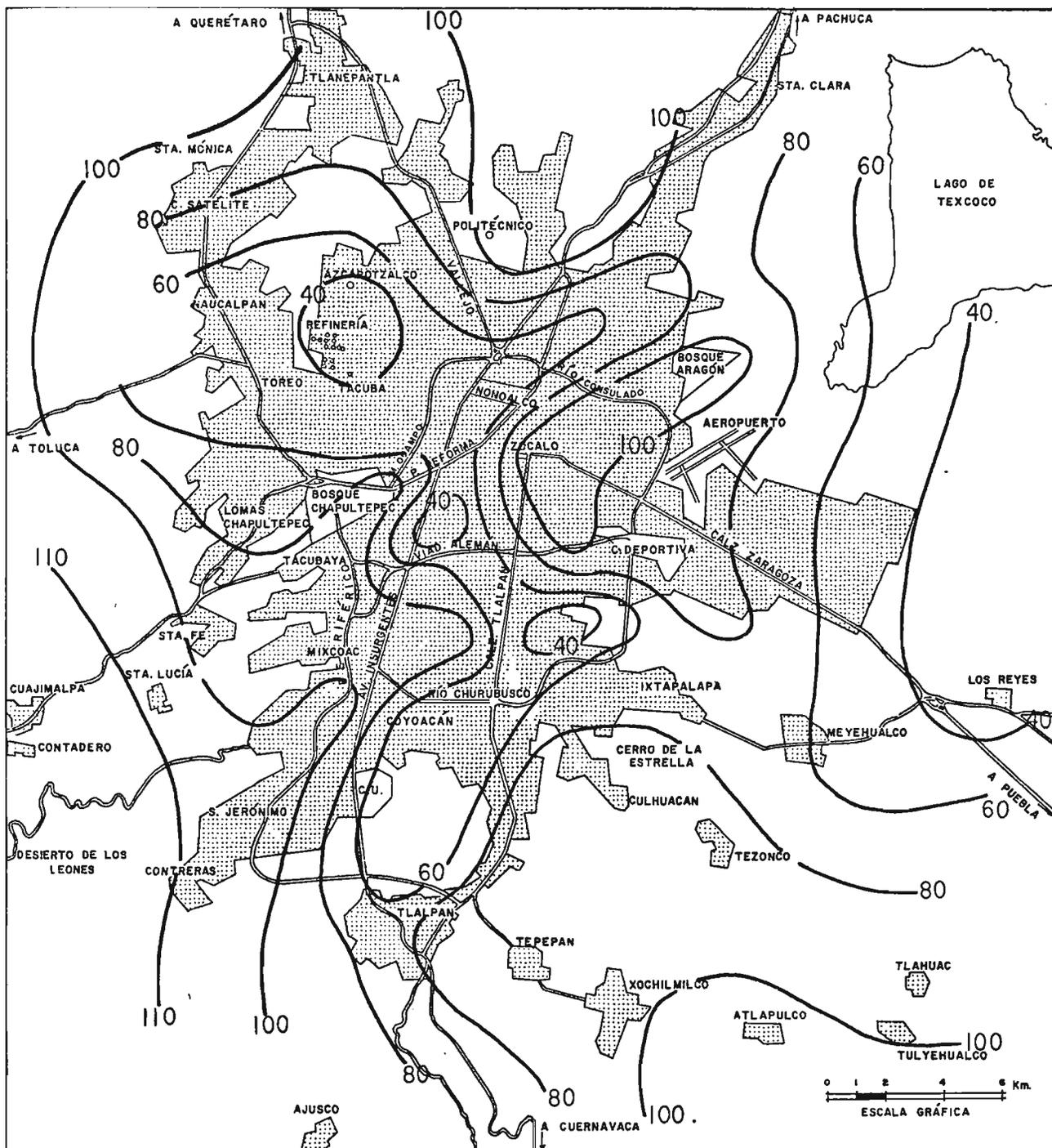


FIG. 36 NÚMERO ANUAL PROMEDIO DE DÍAS NUBLADOS .

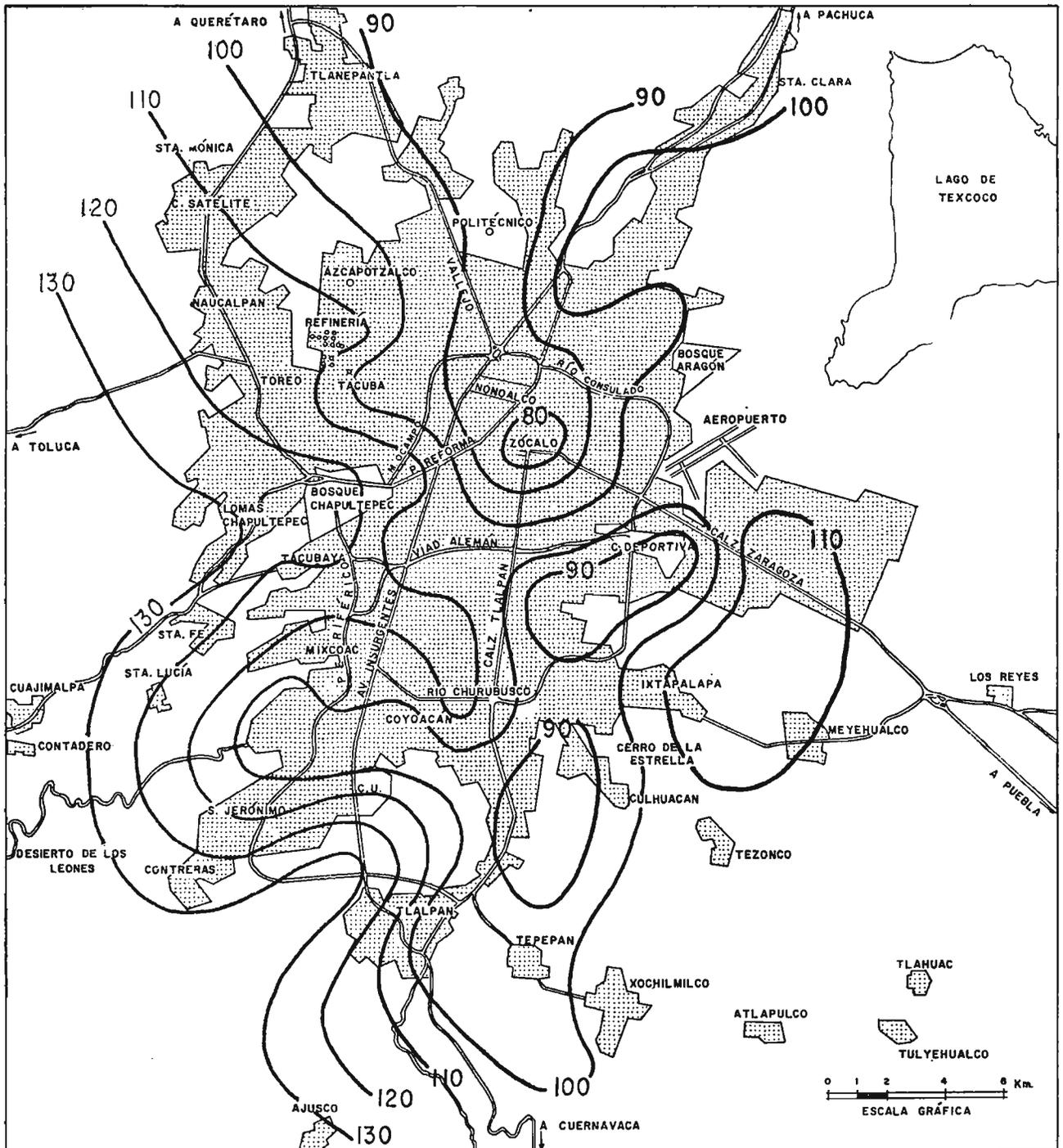


FIG. 37 NÚMERO ANUAL PROMEDIO DE DÍAS CON LLUVIA APRECIABLE (más de 0,1 mm)

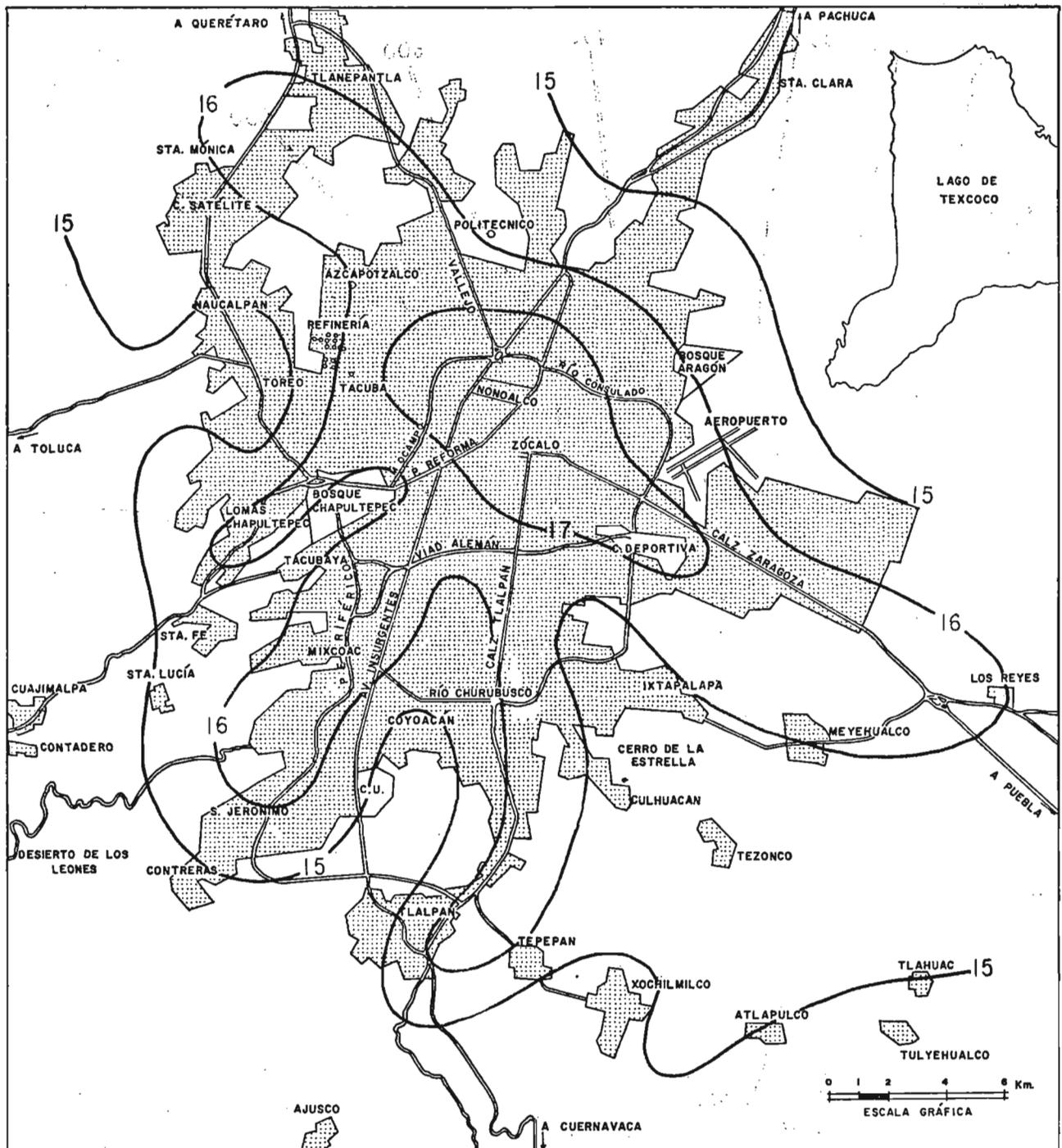


FIG. 39. TEMPERATURA MEDIA ANUAL.
(grados centígrados)

tículas minerales sólidas, que son comparables a las que se observan en las grandes conurbaciones del planeta.

La presencia de este manto de aire turbio que envuelve a la ciudad se refleja en el microclima urbano; si en 1893 la temperatura media anual en el centro de la capital era de 15.4°C, ahora es de 17°C como se aprecia en la figura 39 que muestra la distribución de la temperatura media anual en la ciudad de México.

La temperatura media anual que se observaba hace noventa años en el Zócalo, se registra ahora en los suburbios del poniente y sur de la capital debido al proceso de urbanización. Con un aire más transparente las pérdidas de calor por radiación nocturna eran mayores a fines del siglo pasado y consecuentemente las temperaturas mínimas descendían entonces considerablemente y de noviembre a enero eran inferiores a cero grados, en promedio, como puede verse en la tabla III.

TABLA III

TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS PROMEDIO PARA LA ESTACIÓN DE PALACIO NACIONAL (periodo 1877-1892)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp. Máx.	25.0	26.8	28.8	31.6	30.0	29.5	28.0	28.9	28.5	25.6	25.1	23.0
Temp. Mín.	-1.2	1.0	0.0	4.3	5.8	7.4	7.5	8.2	8.2	2.3	-1.0	-1.7
Amplitud	25.8	25.8	28.8	27.3	24.2	22.1	20.5	20.7	20.3	23.3	26.1	24.7

Por otra parte la radiación solar (sobre todo durante la estación seca) llegaba en aquella época hasta la superficie urbana sin sufrir merma apreciable por absorción y dispersión de impurezas suspendidas en el

aire. El resultado era un mayor calentamiento de las áreas urbanas y en consecuencia temperaturas máximas más elevadas que las que ahora se observan ahí (figura 40).

TABLA IV

TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS PROMEDIO EN LA ESTACIÓN DE LA COLONIA MOCTEZUMA (periodo 1966-1968)

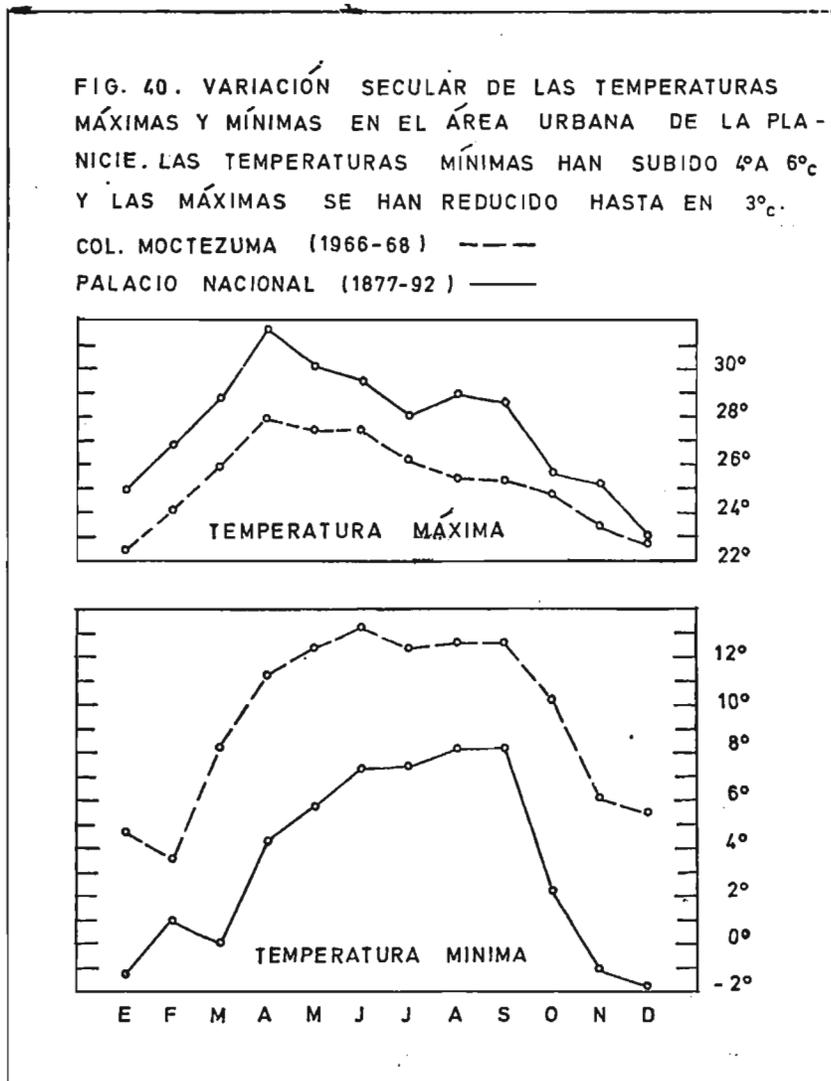
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp. Máx.	22.5	24.0	25.9	27.9	27.4	27.4	26.1	25.6	25.2	24.7	23.4	22.9
Temp. Mín.	4.7	3.6	8.3	11.3	12.4	13.3	12.4	12.6	12.6	10.3	6.2	5.6
Amplitud	17.8	20.4	17.6	16.6	15.0	14.1	13.7	13.0	12.6	14.4	17.2	17.3

Como resultado de los cambios señalados en la marcha diurna de la temperatura al comparar las dos estaciones dentro del área urbana en la planicie de la cuenca, se observa actualmente una reducción de la amplitud de la oscilación térmica con respecto a las variaciones registradas hace 80 años. Ahora la amplitud térmica es, en la época lluviosa, de 12° a 15°C (tabla IV) y sube de 17 a 20°C en la estación seca, mientras que a fines del siglo pasado, nunca fue menor de 20° y en la época de secas subía hasta 27 o 28°C . En este sentido el clima de las áreas del centro de la ciudad se ha vuelto menos extremo debido principalmente a la influencia de la bruma urbana y

en menor medida, a la multiplicación de las fuentes de calor dentro de la ciudad.

j) La humedad relativa

Las áreas urbanas son secas en relación con el campo, ya que existen pocas superficies de evaporación (excepto algunos parques y jardines), y además el agua de lluvia se desaloja rápidamente por el alcantarillado. Geiger (1950) encontró una diferencia de hasta 30% de humedad entre el centro de Munich y los suburbios. En los recorridos que se hicieron para medir la distribución de la humedad relativa en el área urbana de la ciudad de México, se encontraron diferencias de 25% como puede apreciarse en la figura 41.



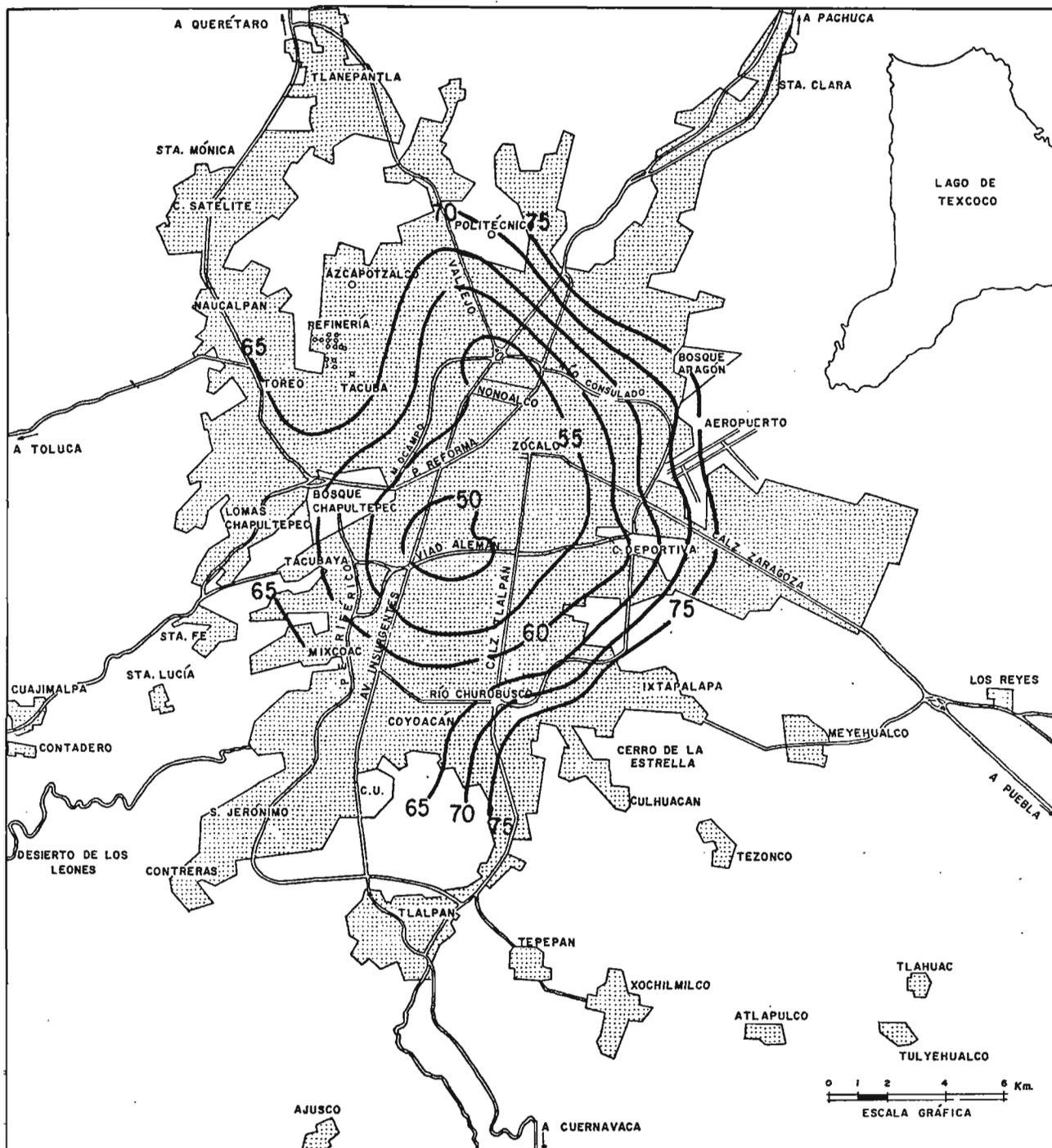


FIG. 41. DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA EL 23 DE FEBRERO DE 1969 DE 4:15 A 6:15 A.M. (en %).

8. Contaminación atmosférica

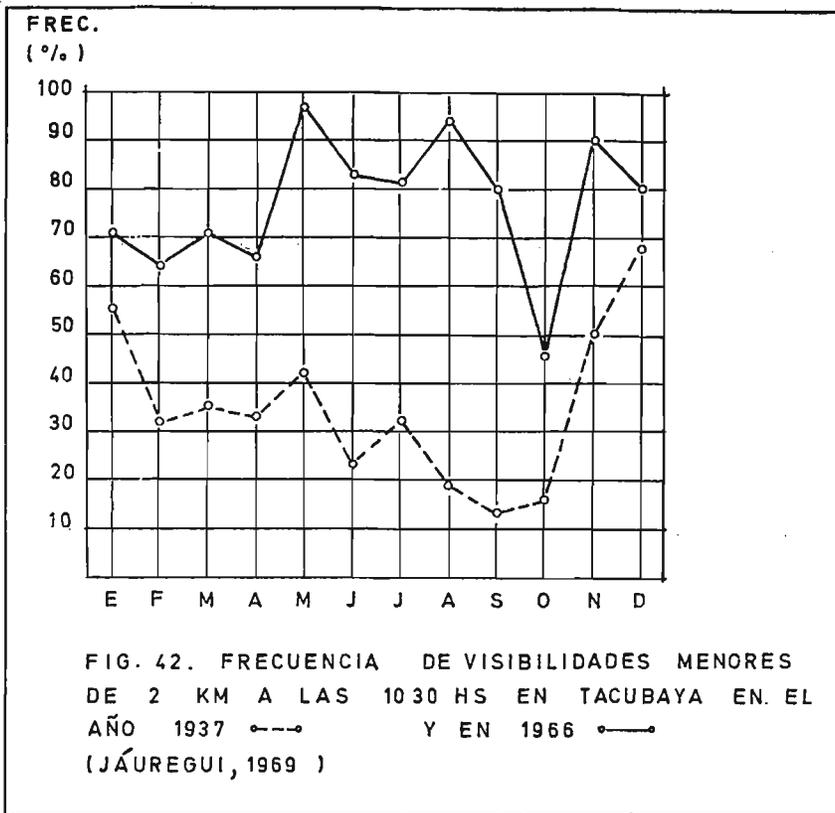
Ya en párrafos anteriores se vio que la contaminación del aire urbano es uno de los factores más importantes en la determinación del clima urbano, al modificarse el equilibrio de radiación. Los factores meteorológicos que favorecen la formación de la nube de impurezas sobre la ciudad de México son por una parte los largos periodos del año en que el aire superficial permanece estancado o se desplaza muy lentamente a causa de las montañas que rodean el área urbana y que reducen la ventilación. El otro factor son las inversiones de temperatura producidas por el enfriamiento del aire superficial, particularmente en la época de secas, cuando la radiación nocturna de la superficie del suelo hacia el espacio es muy intensa.

Al mismo tiempo que el área urbana se ha extendido en las últimas décadas, la transparencia del aire ha disminuido. Así, la visibilidad observada desde Tacubaya hacia la ciudad (medida en kilómetros) ha decrecido a las 14 horas en un periodo de 30 años (de 1937 a 1966) de unos 15 kilómetros a unos 4 o 6 kilómetros en 1966 (Jáuregui, 1969). Además, la frecuencia de visibilidad menor de 2 kilómetros aumentó hasta un 50 por ciento más en el periodo de 1937 a 1966, según puede apreciarse en la figura 42, lo que indica también una declinación de la transparencia del aire. En la figura 43 se advierte que para el año de 1954 los periodos de calma y de vientos menores de 5 millas por hora, ocurrieron en más del 50 por ciento de las observaciones horarias. Estos periodos de calma se presentan gene-

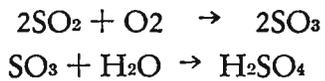
ralmente durante la noche y la primera mitad de la mañana.

Los principales productores de contaminantes del aire lo constituyen por una parte los vehículos de motor (algo más de medio millón) que circulan por la ciudad y arrojan por el escape gases y productos químicos, tales como el monóxido de carbono, que forma más de la mitad de los contaminantes, el bióxido de azufre, hidrocarburos, varios óxidos de nitrógeno y pequeñas partículas de plomo. Cuando algunos de estos gases se combinan con una abundante insolación como la que se tiene en la ciudad de México en los meses secos de octubre a abril, se produce una reacción fotoquímica que da como resultado el gas ozono, el gas PAN (nitrato de peroxiacetilo) y el bióxido de nitrógeno. El ozono, que es una forma alotrópica del oxígeno, es muy reactivo químicamente y produce grietas en el hule, además de quemar las hojas de algunas plantas y deteriorar las telas de algodón. El gas llamado PAN es el que causa la irritación en los ojos y un cierto olor del aire urbano. El bióxido de nitrógeno perjudica el tejido pulmonar.

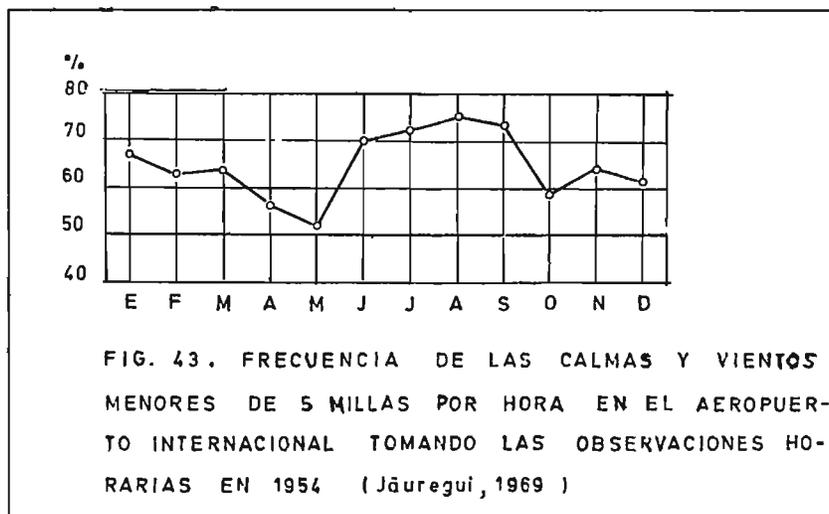
Estos gases son los que caracterizan al llamado "smog" de la ciudad de Los Ángeles en Estados Unidos, cuya atmósfera oxidante tiene su origen en la abundante radiación solar de los meses de verano y en la enorme cantidad de vehículos (cerca de 3 millones). Las otras fuentes de contaminación son las diversas fábricas que queman combustibles que contienen azufre. Los humos que arrojan las chimeneas de ciertas industrias con-



tienen bióxido de azufre, el cual es un agente reductor, es decir, reacciona y reduce a los agentes oxidantes. El mismo SO_2 es oxidado y se produce trióxido de azufre o anhídrido sulfúrico, el cual con la humedad atmosférica produce ácido sulfúrico:



El peróxido de hidrógeno (es decir el agua oxigenada) es un agente que puede oxidar el bióxido de azufre para formar anhídrido



sulfúrico. Esta reacción es la que se usa precisamente para medir la cantidad de bióxido de azufre en el aire urbano.

Pero la presencia de agentes reductores en el aire urbano no excluye la posibilidad de que la atmósfera citadina sea oxidante.

Es probable que en México predomine la atmósfera oxidante en los meses de abundante insolación mientras que durante los meses de lluvia (mayo-octubre) preponderen los agentes reductores sobre los oxidantes (tabla v).

TABLA V

INSOLACIÓN MENSUAL MEDIA EN TACUBAYA (en horas)

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
259	227	271	238	235	178	186	189	144	192	203	233	2555

Un método económico para determinar el contenido de SO₂ en el aire urbano es el que se basa en el hecho de que este gas reacciona lenta y uniformemente con el peróxido de plomo para formar sulfato de plomo.



Lo que se mide es realmente el grado de sulfatación, en un periodo de un mes, de un cilindro cubierto con peróxido de plomo. Este método (de West y Gaeke, 1956) fue utilizado por Bravo y Viniegra (1966), quienes muestrearon el aire de la ciudad de México en 30 sitios del área urbana durante el año de 1962. El resultado para el mes de octubre aparece en la figura 44. Las concentraciones de bióxido de azufre (en miligramos de SO₂/cm²/ día), según estos autores, resultaron ser tres veces mayores en el área del centro comparadas con las áreas perimetrales, excepto las del noroeste, donde se registra un máximo secundario.

Posteriormente a este muestreo, el Instituto de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia ha instalado en forma permanente a partir de 1968 una red creciente de estaciones (actualmente son 10) de muestreo del aire. Para el muestreo del SO₂ se utiliza el método de la vela de peróxido de plomo ya mencionado así como el que consiste en burbujear un volumen conocido de aire en una solución de agua

oxigenada. Antes de pasar por el agua, el aire atraviesa un filtro de papel donde quedan atrapadas las partículas sólidas en suspensión. En esta forma se obtiene también, por el método gravimétrico la concentración de partículas en suspensión en el aire. Finalmente, se muestrea también la concentración de polvo sedimentado exponiendo una jarra cilíndrica a la intemperie durante un mes. Sin embargo, los depósitos recogidos en esta forma son representativos únicamente del área inmediata, por lo cual es difícil construir mapas detallados basados en estos registros.

Los resultados del muestreo del anhídrido sulfuroso, el humo y polvo en suspensión para las primeras cinco estaciones instaladas (periodo agosto 1967-agosto 1968) aparecen en las figuras 45 y 46 construidas con los datos de Márquez (1969). No se advierte en el año muestreado una variación estacional marcada de los valores mensuales de SO₂, aunque en los meses de lluvia se acusa un decrecimiento relativo. La estación que registra los valores más altos de SO₂ se localiza en el antiguo centro de la ciudad, en la calle de Donceles, donde las cifras promedio mensuales fluctúan entre 120 y 175 microgramos/m³. Estos niveles no son tan elevados como los observados en ciudades como Londres donde los promedios reportados por Chandler (1962) para octubre 1957-marzo 1958, llegan a 350 o 400 microgramos/m³

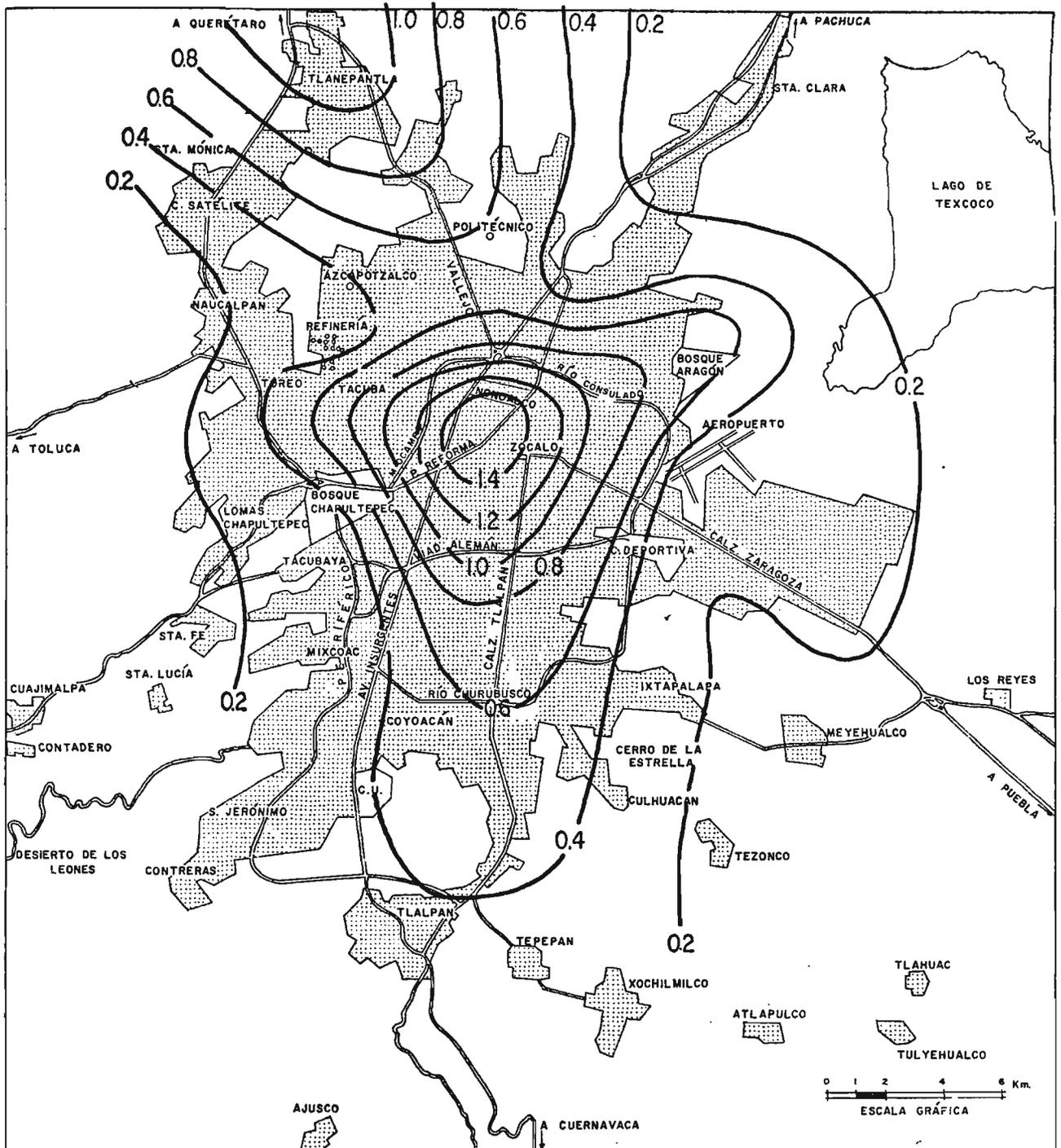
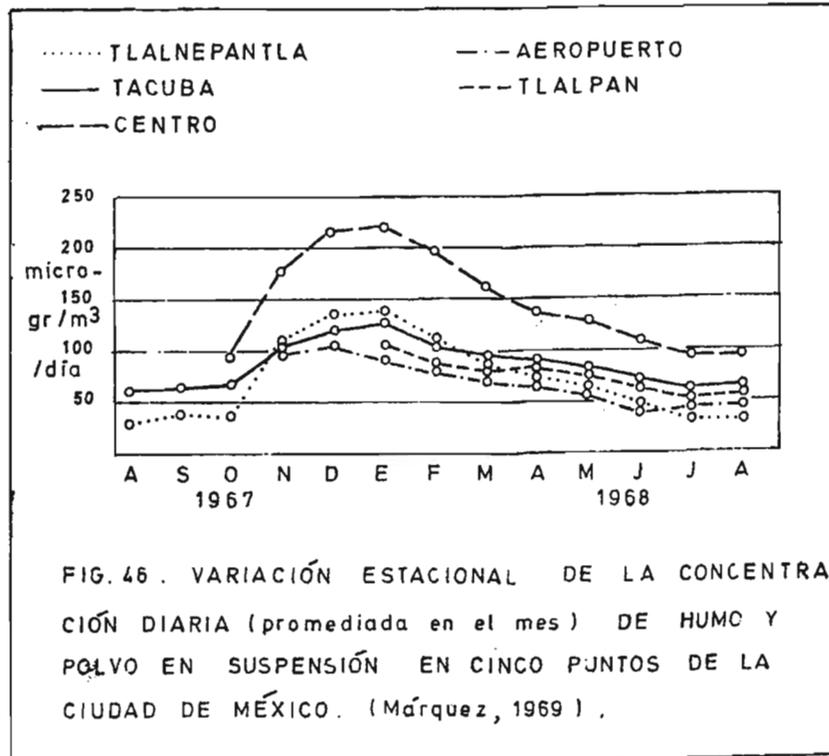
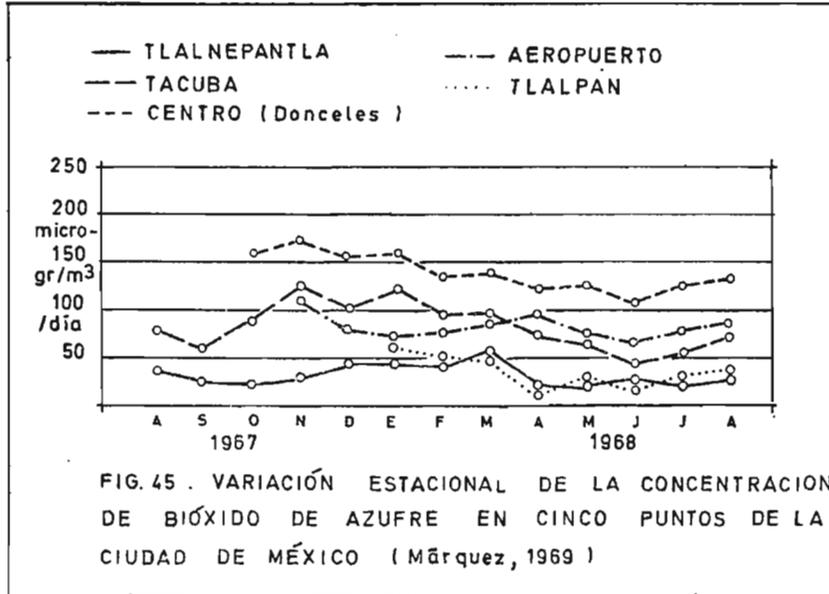


FIG. 44. DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BIÓXIDO DE AZUFRE MEDIDA POR EL MÉTODO DE LA VELA DE PERÓXIDO DE PLOMO ($\text{mg SO}_2/100\text{cm}^2/\text{dia}$) EN OCT.-1962.

en el centro de la ciudad. Sin embargo, las medidas de control de emisiones adoptadas en esa ciudad desde entonces han reducido los niveles de SO_2 .

Las estaciones situadas en la periferia urbana registran valores entre 25 y 100 microgramos/ m^3 de SO_2 . La localización de las

cinco estaciones de muestreo y la distribución del bióxido de azufre para los meses de febrero y julio de 1968 aparece en las figuras 47 y 48. Durante la época de secas las concentraciones de SO_2 son algo mayores debido a la mayor incidencia de inversiones de temperatura en ese periodo que



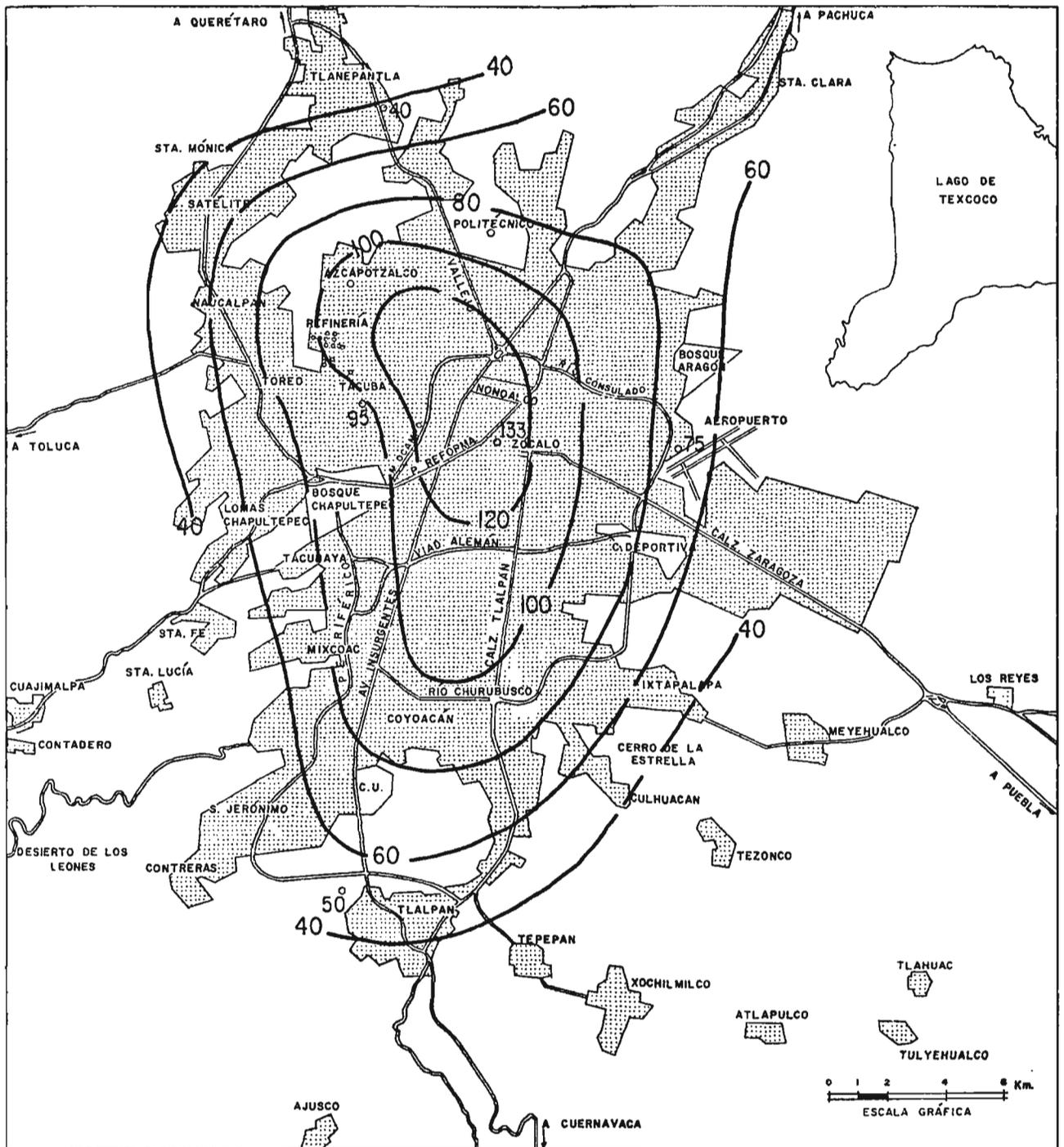


FIG. 47 DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL BIÓXIDO DE AZUFRE (en microgramos/m³) EN FEBRERO DE 1968. (construido con datos de Márquez, 1969)

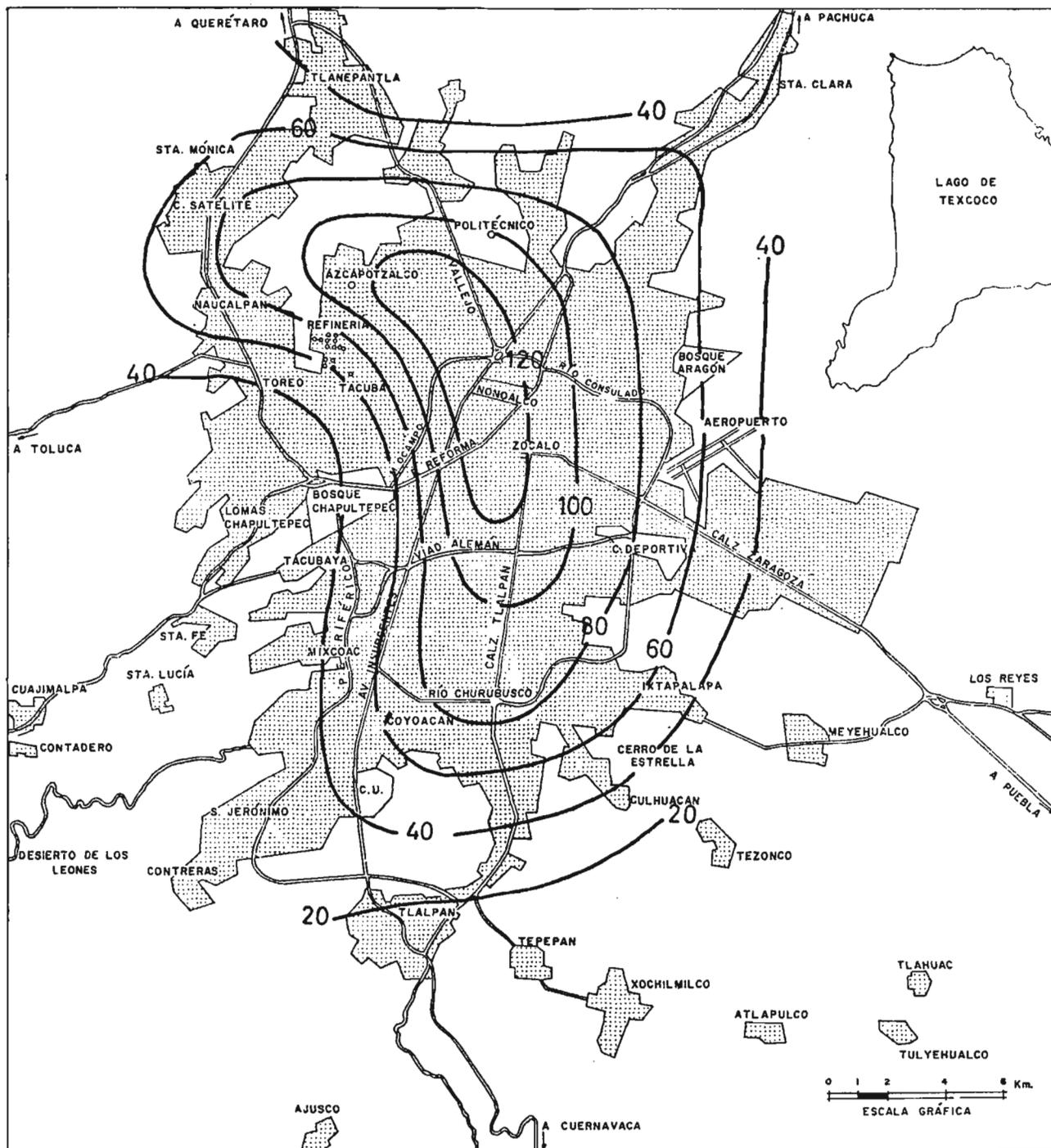


FIG. 48. DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BIÓXIDO DE AZUFRE (en microgramos/ m^3) EN JULIO DE 1968 (construido con datos de Márquez, 1969)

en los meses de lluvia. El área urbana de máxima concentración de SO₂ se localiza entre el antiguo centro de la ciudad y en dirección noroeste, hacia la zona industrial de Tacuba y Azcapotzalco.

Al examinar la figura 46 se advierte una variación estacional de los valores mensuales del polvo y humo en suspensión, siendo mayores las concentraciones de humo en la época de secas, cuando se intensifica la ocurrencia de las inversiones térmicas que producen el efecto de acumular los contaminantes en una capa de aire urbano poco profunda.

En las figuras 49 y 50 se muestra la distribución de las concentraciones de humo y polvo para los meses de febrero y julio de 1968. Estas concentraciones bajan en el área del centro, de 200 microgramos/m³ en la

época de secas, a la mitad durante los meses de lluvia, acusando el efecto de lavado producido por las gotas de precipitación en su caída.

¿Cómo se comparan los niveles observados de contaminación en la ciudad de México con los que se han propuesto como máximo permitido en otras ciudades para mantener una calidad aceptable de pureza del aire? Para tener una idea, en la tabla VI se muestra el criterio que para la calidad del aire ambiente rige en las ciudades del Estado de Pensilvania, Estados Unidos. Se puede ver, si comparamos nuestros valores con dicha tabla, que en algunos meses del año los niveles de humo y polvo en suspensión observados en el centro de la ciudad son algo mayores que esta norma americana (promedio de 30 días).

TABLA VI

CRITERIO DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE PARA EL ESTADO DE PENNSILVANIA, E. U. (Brodovicz, 1968)

MEDICIONES EN UNA SOLA ESTACIÓN

	<i>Promedio de 30 días</i>	<i>Promedio de 24 hrs.</i>
1. Partículas en suspensión (polvo, humo, etcétera)	150 microgr/m ³	500 microgr/m ³
2. Bióxido de azufre	0.05 ppm (50 microgr/m ³)	0.25 ppm (250 microgr/m ³)
3. Monóxido de carbono	•	25 ppm
4. Plomo	5 microgr/m ³	

Lo mismo puede advertirse para los niveles de anhídrido sulfuroso que registra la estación del centro.

Las normas de calidad del aire como la de Pensilvania o la del Estado de California se han establecido para aquellas sustancias contaminantes para las cuales existen datos suficientes. Por ejemplo, en California se ha señalado un índice de oxidación de 0.15 ppm (partes por millón) que no debe ser excedido por más de una hora ya que experimentalmente se ha encontrado que si existen sustancias oxidantes (como el ozono, el bióxido de nitrógeno, e hidrocarburos) en la atmósfera urbana por arriba de este nivel,

se produce la irritación de los ojos, daño a las hojas de las plantas y una reducción en la visibilidad (Maga, Goldsmith, 1960). Para el bióxido de azufre esta misma norma señala que no debe ser mayor de una ppm por una hora o de 0.3 ppm por 8 horas (límite de daño a las plantas).

Finalmente la norma de California para calidad del aire apunta que las partículas de humo o polvo en suspensión no deben reducir la visibilidad a menos de 3 millas (unos 5 kilómetros) con menos de 70 por ciento de humedad relativa.

Un contaminante del aire para el cual existen todavía pocos datos en México es el plomo.

El creciente uso de plomo en la gasolina ha resultado en un nivel cada vez mayor de contaminación del aire urbano con partículas de plomo. Atkins (1969) señala que un 70 por ciento del plomo que se agrega a la gasolina sale por el escape de los vehículos cuando se quema el combustible. Las partículas de plomo son tan pequeñas (del orden de un cuarto de micra) que permanecen en suspensión en el aire por largos periodos y pueden ser absorbidas por las vías respiratorias.

Del análisis anterior se puede concluir que las concentraciones de algunos contaminantes del aire en el centro de la ciudad de México son elevadas y sobrepasan, en los meses de secas principalmente, los niveles aceptados como tolerables en algunas ciudades americanas. Hacia la periferia del área urbana la contaminación, medida por el bióxido de azufre y el humo y polvo en suspensión, permanece en general por debajo de los valores críticos durante la mayor parte del año, exceptuándose la zona industrial del borde norte y noroeste de la ciudad donde el nivel de contaminación es elevado.

El remedio específico para el problema del "smog" de la ciudad es desde luego abolir la contaminación del aire en el área urbana. El ambiente comienza a ser propicio para iniciar la inaplazable batalla por una atmósfera limpia. En las grandes ciudades de los países industriales se mantienen, desde la década de los años cincuenta, oficinas encargadas del control de la contaminación del aire.

La ciudad de Londres que durante cuatro días del año de 1952 se mantuvo envuelta en una niebla sulfurosa, causando la muerte a 4,000 personas más de lo normal, ha mejorado notablemente la calidad de su aire desde aquella fecha gracias a las medidas de control de emisiones tomadas por las autoridades. Los londinenses han advertido con satisfacción, y como una prueba del mejoramiento de la calidad del aire urbano, que algunas especies de pájaros que habían huido del "smog", han regresado nuevamente a los jardines de la ciudad, después de una larga ausencia.

La ley que reglamenta la calidad del aire

en los Estados Unidos, y que entró en vigor en 1967, ha comenzado a funcionar en 57 regiones de ese país, combinando los esfuerzos de las autoridades federales, estatales y municipales.

Es de esperar que en un corto plazo se inicie la reglamentación de la contaminación de la atmósfera en la ciudad de México con vistas a reducir las emisiones de impurezas a fin de restablecer, en parte al menos, la antigua transparencia y pureza del aire ciudadano.

Contaminación natural. Las tolvánicas. Al principiar el siglo XVII se iniciaron las obras para dar salida a los escurrimientos del valle con el fin de evitar las perjudiciales inundaciones que la ciudad de México sufría en años lluviosos. Comenzó así la alteración del equilibrio hidrológico de la cuenca que, con el tiempo y junto con el creciente proceso de sedimentación, daría por resultado la desaparición de gran parte de los lagos y áreas pantanosas.

Con la intensa insolación que favorece la inestabilidad de las capas de aire superficial, la sequedad del suelo y la escasa cubierta vegetal para detenerlo, quedó establecido el ambiente propicio para que se desarrollaran en la cuenca de México las tempestades de polvo o tolvánicas.

Las tormentas de polvo ocurren principalmente en la época de secas, cuando las áreas rurales que rodean a la ciudad, principalmente por el norte, oriente y sur, tienen escasa vegetación en pie. Una fuente importante de polvo es el área del ex-lago de Texcoco, al NE de la ciudad; ahí, el intemperismo y la poca vegetación que no puede prosperar debido al alto contenido de sales del suelo, ocasionan el aflojamiento y la desintegración estructural del suelo. Después de las lluvias fuertes de la estación húmeda, la superficie queda lisa en las llanuras del ex-lago y tan pronto como se seca la costra, los granos superiores pueden ser removidos por el viento. Por otra parte, muchas de las tierras de labor que rodean el área urbana se encuentran en barbecho en el invierno y primavera; al preparar las tierras de cultivo se entierran también los residuos vegetales

que ayudan a proteger el suelo contra la erosión del viento.

Esta condición de superficie de suelo suelto y seco, juntamente con los vientos fuertes que irrumpen en el valle, de octubre a abril, provocan el levantamiento de partículas de suelo que son acarreadas hacia el área urbana. Los vientos fuertes están asociados en la época de secas a las invasiones de aire polar, generalmente seco, que barre la altiplanicie. Pero también puede ocurrir que la turbulencia creada por la fuerte insolación produzca nubes convectivas que se precipitan por la tarde; la lluvia de estas nubes es escasa, pues gran parte de ella se evapora en su caída antes de alcanzar el suelo, debido a la sequedad del aire; pero al arrastrar en su caída al aire vecino, las gotas crean una corriente descendente que al chocar contra el suelo seco levanta inmensas cortinas de polvo.

El movimiento del polvo comienza con los granos expuestos en la superficie. La fuerza del viento los afloja y los mueve a una distancia corta sobre el suelo; luego, repentinamente los lanza hacia arriba en un movimiento a saltos llamado de *saltación* (Chepil, 1957); la altura de los saltos varía con el tamaño y densidad de las partículas del suelo, la rugosidad de éste y la velocidad del viento. Las partículas más grandes no saltan, sino ruedan; es el movimiento denominado de *rodamiento superficial*. Algunas partículas saltan unos 30 a 60 cm según su velocidad inicial; al saltar y caer sucesivamente en el suelo, las partículas adquieren cada vez mayor cantidad de movimiento por la presión del viento; al rebotar continúan su movimiento de saltación o gastan su energía golpeando otras partículas que a su vez comienzan a saltar o a rodar.

El movimiento de los granos por rodamiento superficial es inducido principalmente por los impactos de las partículas en saltación. Los granos más finos golpeados por las partículas en saltación se elevan alto y viajan distancias considerables antes de volver a depositarse. Éste es el transporte por *suspensión* y es el que se observa en el área central y sur de la planicie de la cuenca de México durante la época de secas, cuando

gigantescas cortinas de polvo en suspensión viajan atravesando el área urbana.

Las nubes de polvo son el resultado de los impactos de los granos que se mueven por saltación, que es la fuerza que coloca al polvo fino dentro de la corriente de aire. Una vez elevado del suelo, el polvo sube cada vez más en la atmósfera, impulsado por las corrientes convectivas turbulentas.

De acuerdo con un estudio realizado por el autor (Jáuregui, 1960), las tolvaneras acusaron un máximo promedio de 13 días en el mes de marzo para el periodo 1923-1958. En los meses de enero a junio tienen una incidencia de 6 o más días al mes. Usualmente las tempestades de polvo viajan de las áreas donde se originan (la porción oriente de la planicie) hacia el sur o hacia el poniente de suerte que casi siempre afectan el área urbana. Las zonas que resultan menos dañadas por el polvo en suspensión son las del sur y poniente de la ciudad por encontrarse más alejadas de las fuentes de polvo.

La erosión del viento en las extensas llanuras del centro y norte de la cuenca, una vez iniciada, aumenta en intensidad viento abajo (es decir, hacia la ciudad) debido al aumento de la cantidad de partículas erosionables producidas por la abrasión de los terrones y la costra del suelo por los impactos debidos a la saltación. La intensidad de la erosión aumenta así con el tiempo y la distancia recorrida. Éste es el llamado efecto de *alud*. Cuando la tempestad de polvo se origina en el área semiárida del centro o norte de la cuenca, el recorrido por estas llanuras es largo y así la erosión del suelo es máxima y la densidad de la nube de polvo es mayor cuando ésta se aproxima por el borde NE y E del área urbana que recibe el impacto directo del efecto de avalancha de la tolvanera. Una vez que el frente de la tormenta penetra a la ciudad, privada de su fuente de abastecimiento, la densidad del polvo en suspensión va acusando concentraciones decrecientes hacia el sur y poniente, pues al cruzar la ciudad el polvo se va depositando progresivamente.

En un estudio sobre la distribución del polvo depositado por gravedad en la ciudad de México, Bravo y Baez (1960) encontraron, utilizando 28 puntos de muestreo durante el año 1959, que en el mes de marzo, por ejemplo, la cantidad de polvo depositado fue entre 30 y 50 toneladas por kilómetro cuadrado en 30 días, en las zonas del N y E (Tacuba, Villa de Guadalupe, San Juan de Aragón, Aeropuerto, Ixtacalco e Ixtapalapa), mientras que en la porción sur y poniente (San Ángel, Chapultepec, Tacubaya, Mixcoac y Ciudad Universitaria) la cantidad de polvo depositado en ese mismo mes de máxima ocurrencia de tolvaneras, fue de 9 a 12 ton/km²/mes; es decir, entre una tercera y una quinta parte de la carga que reciben las zonas del oriente y norte de la ciudad.

El depósito de polvo promedio mensual para toda el área urbana encontrado por Bravo para el año de 1959 fue de 26.2 ton/km². Por otra parte, en un trabajo más reciente, Márquez (1969) señala que el promedio general de polvo sedimentado fue de 20.9 ton/km²/mes para la red de cinco estaciones (Aeropuerto, Centro Donceles, Pedregal, Tacuba y Tlalnepantla) durante el periodo de un año de agosto de 1967 a agosto de 1968. En este muestreo del polvo sedimentado el promedio más alto fue de 28 ton/km² en 30 días, registrado en la estación

del centro de la ciudad (Donceles), habiéndose observado el valor máximo de 50 ton/km²/mes en ese mismo lugar de observación.

Para reducir gradualmente la carga de polvo que se abate sobre la ciudad procedente de las áreas rurales, se requerirá poner en marcha un programa de protección de los suelos por medio de vegetación y de los residuos vegetales después de la cosecha, así como el establecimiento a intervalos regulares de barreras de árboles o arbustos rompevientos o bandas de cultivo que reduzcan la velocidad del viento (normalmente al recorrido de éste) y frenen el efecto de avalancha.

Además de producir irritación en las vías respiratorias y en los ojos, el polvo de las tolvaneras ocasiona daños en maquinaria y aparatos de precisión. El polvo penetra por hendiduras de puertas y ventanas cubriendo todo con una delgada capa de fragmentos minerales. Las partículas de polvo son también una fuente secundaria de ionización; las cargas eléctricas originadas en una tolvanera son el resultado de la fricción de las partículas minerales con el aire. Finalmente, las cargas electrostáticas generadas en el cuerpo humano en condiciones de aire muy seco pueden llegar a ser considerables durante las tempestades de polvo.

9. Los factores bioclimáticos

Los factores climáticos que influyen, solos o combinados, sobre el equilibrio térmico del cuerpo son: la temperatura, la humedad, el movimiento del aire y la energía radiante.

La temperatura. La temperatura influye sobre el equilibrio térmico del hombre por el efecto físico de la conducción. Según este efecto se agrega calor al cuerpo humano cuando el aire es más caliente que aquél y se le resta cuando es más frío. Si el aire está en calma este transporte es muy lento y aun despreciable cuando la diferencia de temperatura entre la piel y el aire no es grande. En cambio, si el movimiento del aire es considerable, se acelera el transporte de calor. Este aumento es sensiblemente proporcional al cuadrado de la fuerza del aire. Es decir, que un aumento en la intensidad es apreciable en las velocidades bajas y se vuelve menos importante en las intensidades altas.

La humedad. La rapidez de evaporación de una superficie depende de la diferencia existente entre la tensión del vapor de esta superficie y la tensión del vapor del aire en contacto con ella. El calor empleado por la evaporación se agrega al que se pierde por la convección. Este calor perdido por evaporación es también función del movimiento del aire.

La respiración constituye una forma particular de la evaporación-convección ya que el aire aspirado se humedece al contacto de las superficies totalmente húmedas de las vías respiratorias.

Movimiento del aire. El calor intercambiado entre el cuerpo humano y el ambiente

se lleva a cabo mediante los procesos de conducción, convección, radiación y transformación de agua a vapor (o viceversa).

El intercambio de calor por conducción ocurre por contacto del cuerpo con otra superficie a diferente temperatura. Este transporte puede ocurrir en cualquier dirección, es decir, el cuerpo puede ganar calor por contacto con una superficie más caliente, por ejemplo, cuando estamos de pie sobre el pavimento soleado de la calle, o puede perder calor contra una superficie más fría (como cuando nos acostamos sobre un piso de mosaico).

Si el material con que se hace contacto es agua o aire, el movimiento del fluido acelera el intercambio de calor y en este caso se denomina convección. La mayoría del transporte de calor sensible entre la piel y el aire se debe al efecto combinado de conducción-convección.

Se desprende calor de la piel por medio de la evaporación del sudor o de agua aplicada sobre la epidermis. En este caso, la rapidez de la pérdida de calor está determinada por la diferencia de tensiones de vapor del sudor y del aire. De manera que, mientras el aire sea más seco como en los días calurosos de abril y mayo en la cuenca de México, mayor será la evaporación del sudor. Esta condición de sequedad del aire en los meses más calurosos hace más soportables las elevadas temperaturas en esa época.

El movimiento del aire ayuda al intercambio de calor en el proceso combinado de evaporación-convección. Finalmente, el cuerpo humano intercambia calor con el am-

biente por medio de la radiación. Si entramos a un templo perderemos calor por radiación hacia los gruesos muros fríos, mientras que si nos encontramos ante un muro donde incide la radiación directa del sol, recibimos una carga calórica adicional por radiación de una superficie caliente.

Las temperaturas extremas producen además de una sensación de incomodidad, efectos que pueden dañar al organismo. Las temperaturas muy bajas obligan al corazón a trabajar a un ritmo mayor, para incrementar el flujo sanguíneo y mantener la temperatura corporal normal de 37°C. El viento gélido puede congelar la sangre.

En el otro extremo, con temperaturas excesivamente altas, el cuerpo tiende a disipar todo el calor posible para evitar que la temperatura interna aumente. Esto se logra por una parte, por la afluencia de sangre de los órganos internos hacia la superficie de la piel, dilatándose los vasos sanguíneos para abarcar una área mayor de disipación; así se pierde calor por evaporación-convección, conducción-convección y además por radiación. A esto se debe que cuando vamos a la costa la piel expuesta se enrojece; el enrojecimiento aumenta si además nos quemamos la piel al sol; si la temperatura y la humedad se mantienen altas puede suceder que la pérdida de calor del cuerpo no sea suficiente para equilibrar la producción de calor que genera el cuerpo, en cuyo caso la temperatura corporal se eleva a más de 37°C. Esta condición de fiebre se puede agravar si falla el mecanismo de control térmico del cuerpo y producirse una postración por insolación.

Puesto que los cuatro elementos (temperatura del aire, humedad, ventilación y radiación) afectan el mismo proceso, se pueden hacer variar para duplicar o compensar el efecto de uno de ellos. Por ejemplo, el efecto de una temperatura elevada se puede duplicar aumentando la radiación; un ascenso de la temperatura puede compensarse reduciendo la humedad o aumentando la ventilación.

La fórmula básica de los procesos termodinámicos del intercambio de calor entre el cuerpo y su ambiente es (American Society of Heating and Air Conditioning Engineers,

Heating Ventilating Air Conditioning Guide, 1959):

$$M = \pm S + E + R + C$$

donde M es la rapidez del metabolismo; S es el cambio en el almacenamiento de calor en el cuerpo, E es la rapidez de la pérdida de calor por evaporación, R es la rapidez de la pérdida o ganancia de calor por radiación y C es la pérdida o ganancia de calor por convección.

M es siempre positivo, R y C son positivos cuando la temperatura de la piel es mayor que la temperatura del aire y negativos en la condición contraria, S puede ser positivo cuando se almacena calor en el cuerpo y negativo cuando se pierde, E es generalmente positivo puesto que el calor metabólico equilibra la pérdida.

El climatólogo E. F. Dubois señala que el almacenamiento S en la fórmula anterior es pequeño para temperaturas de 27 a 30°C y humedad relativa de 40 a 70%, de manera que dentro de ese rango, en un sujeto desnudo, en reposo y en aire en calma, la relación de pérdida de calor del cuerpo se encuentra en equilibrio por lo que no necesita una acción de parte del organismo para mantener el equilibrio térmico; es el llamado punto neutro (Dubois, 1937). Con temperaturas menores de 21°C el mecanismo del sudor no interviene, la piel está relativamente seca y los cambios de humedad tienen poca consecuencia.

Pero a medida que sube la temperatura, la sudación se vuelve más activa y en consecuencia, la humedad ambiental adquiere una importancia creciente.

Si por el contrario, la temperatura desciende, abajo del punto neutro, el cuerpo comienza a generar calor por un aumento de la actividad muscular. Esto puede deberse a una contracción muscular simple, a una tensión, a temblor involuntario o a un aumento deliberado de la actividad muscular (ver Lee, 1954). Pero esta reacción no puede prolongarse sin que los músculos comiencen a fatigarse. Al tiritar de frío, nuestro metabolismo puede aumentar hasta 8 veces por un periodo corto (Adolph, E. Molnar, G.

1946). A este grupo de reacciones para combatir el frío se le denomina zona de regulación metabólica contra el frío.

Más allá de esta etapa comienza la zona de enfriamiento corporal inevitable donde las pérdidas de calor del cuerpo son mayores que el calor que puede generar el metabolismo. Este desequilibrio sólo puede contrarrestarse aumentando la cantidad de ropa.

En el lado caluroso del punto neutro se encuentra la zona de regulación vaso-motor contra el calor; aquí, el flujo de sangre hacia el área de la piel aumenta por la dilatación de los vasos sanguíneos, perdiéndose así el calor en un área mayor. Más allá de esta etapa se encuentra la zona de regulación evaporativa contra el calor que se caracteriza por el aumento de la actividad de las glándulas sudoríparas que hacen posible el enfriamiento de la piel por evaporación. A partir de una temperatura de 29.5°C la mayor parte del calor producido por el cuerpo es transportado por la evaporación del sudor (Gordon, H. S. Perry, R. L. 1942). Esta etapa se termina a los 36°C de la temperatura del aire, que es aproximadamente el límite superior de la temperatura de la piel (las partes más frías de la piel tienen 30°C). A partir de este punto comienza la zona de calentamiento inevitable del cuerpo ya que los movimientos del aire agregan calor a la piel por conducción en mayor medida que se pierde calor por evaporación del sudor (Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide, 1959). Si esta acumulación de calor del cuerpo continúa arriba de 39.5°C puede ocurrir la postración por insolación (hiperpirexia). La falla del metabolismo para contrarrestar los efectos del calor puede manifestarse en forma de deshidratación, calambres, agotamiento, reducción de la eficiencia (Lee, *op. cit.*). Algunas de estas consecuencias pueden eliminarse o atenuarse, según el propio Lee, por medio de la aclimatación.

Las reacciones fisiológicas que se han examinado no se correlacionan en forma simple con las reacciones psicológicas pues, como señala Terjung (1966), desde el momento en que se introduce el elemento humano, las opiniones sobre los límites señalados varían

según el sexo, edad, actividad, grado de aclimatación y vestido de las personas.

La Sociedad de Ingenieros de Ventilación y Calefacción de los Estados Unidos ha desarrollado el concepto de la temperatura efectiva. Según esta idea, la temperatura efectiva es un indicador de los grados de calor experimentados por el cuerpo y es aquella que se registra con aire en calma y una humedad de cien por ciento. Para ilustrar este concepto, en la tabla VII se muestran los distintos valores que, combinados, dan la misma sensación de temperatura efectiva de 21°C. Esta temperatura queda dentro de los límites de comodidad para una actividad sedentaria con indumentaria ligera.

TABLA VII

EJEMPLO DE COMBINACIONES DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y VIENTO QUE DAN LA MISMA SENSACIÓN DE COMODIDAD. Temperatura efectiva de 21°C = (ASHVE)

Vel. del aire (m/seg.)	Humedad relativa (%)			
	20	40	75	100
0.0	26	24	22	21
0.5	27	25	23	22
1.0	28	26	24	23
1.5	28	27	25	24
2.5	29	28	26	25

La ASHVE ha propuesto un diagrama de temperaturas efectivas en el cual las líneas de temperatura efectiva dan una medida del grado de comodidad que se experimenta con los efectos combinados de la temperatura del aire y la humedad (con ligeros movimientos del aire), según encuestas realizadas en sus cámaras de experimentación.

En el diagrama de la ASHVE (figura 51) aparecen los límites de la llamada zona de comodidad dentro de la cual un porcentaje elevado de sujetos se sienten ambientalmente cómodos dentro de un cierto rango de valores de temperatura efectiva. Las pruebas de los ingenieros de la ASHVE fueron hechas con humedades que variaron de 30 a 75 por ciento, ya que se ha encontrado que tanto las humedades bajas como las muy altas limitan la sensación de comodidad.

Según Dreyfus (1960), con humedades elevadas se pasa de una sensación de calor a una sensación de frío sin cruzar en ningún momento por una zona de confort.

El límite inferior de la zona de confort corresponde a una temperatura efectiva de 18°C según Terjung (1966), y de 19°C de acuerdo con la ASHVE. El límite superior de comodidad se sitúa en la temperatura efectiva de 22°C (Terjung, 1960), aunque según Dreyfus (1960), la incomo-

dididad comienza para los individuos adaptados al trópico, hasta una temperatura efectiva de 25°C. Es probable que este último valor se ajuste más al ambiente de México.

La ASHVE considera para el cálculo de las instalaciones de clima artificial, que la temperatura resultante de 21° a 23°C proporciona el máximo de sensación de comodidad para la mayoría de las personas.

10. El microclima de los locales en dos puntos del área urbana de la ciudad de México

Con objeto de evaluar el nivel de comodidad ambiental que existe en locales de la ciudad de México se instalaron aparatos registradores de la temperatura y humedad del aire en cuartos de encamados de dos clínicas del Instituto Mexicano del Seguro Social: la clínica número 13 de Azcapotzalco, en el noroeste de la ciudad y la clínica 10 que se encuentra al sur, sobre la calzada de Tlalpan, a la altura de la colonia Portales. Las observaciones se llevaron a cabo durante el periodo de un año a partir de febrero de 1969. En la clínica de Azcapotzalco el cuarto seleccionado tiene la ventana orientada hacia el norte por lo que no recibe asoleamiento, a diferencia del cuarto de la clínica de la calzada de Tlalpan donde la ventana ve hacia el sur. En las figuras 52, 53, 54 y 55 aparece la variación diurna promedio, para el mes más frío (enero) y el mes más caluroso (mayo), de la temperatura del aire, la humedad relativa y la temperatura efectiva en los dos locales de observación microclimática.

a) *La temperatura*

La oscilación diurna de la temperatura es de dos grados aproximadamente en ambos puntos, aunque el local de Azcapotzalco es más frío en dos grados que el local del sur debido sin duda a la orientación norte del primero. Es interesante observar que las temperaturas mínimas ocurren hasta las nueve de la mañana debido a la inercia térmica de los muros. La temperatura máxima que en el exterior del local se registró a las dos de la tarde, en el interior se desplazó hasta

después de las quince horas, por la razón apuntada.

b) *La humedad relativa*

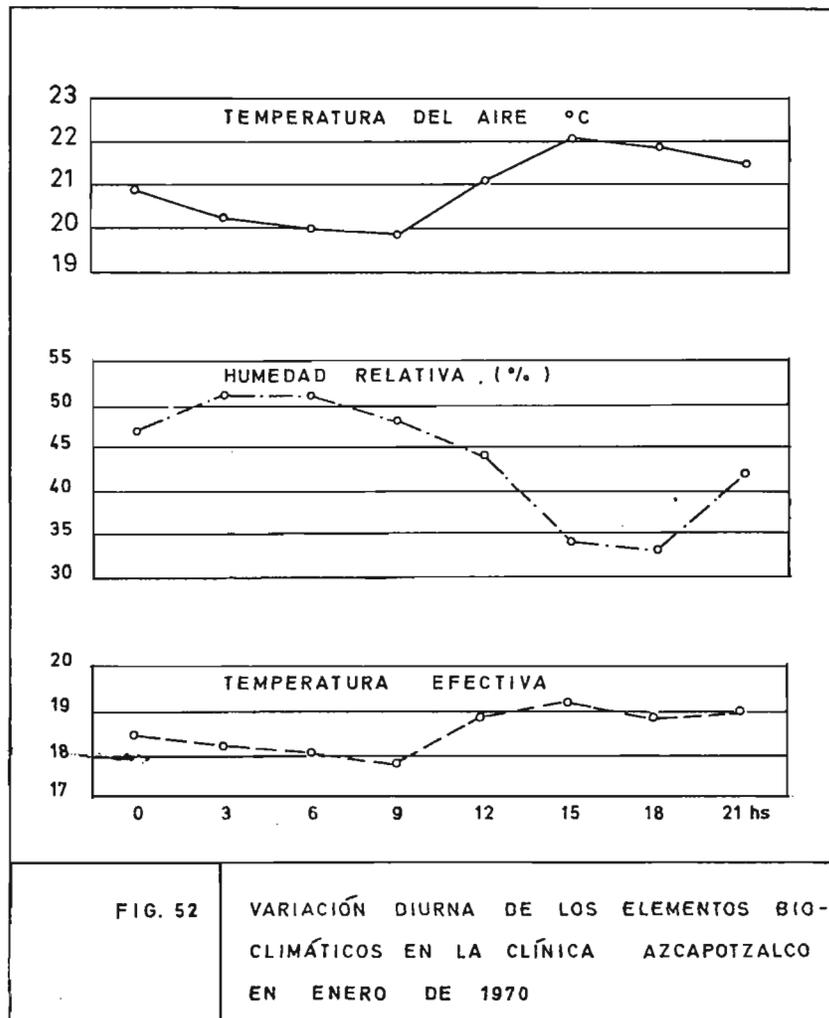
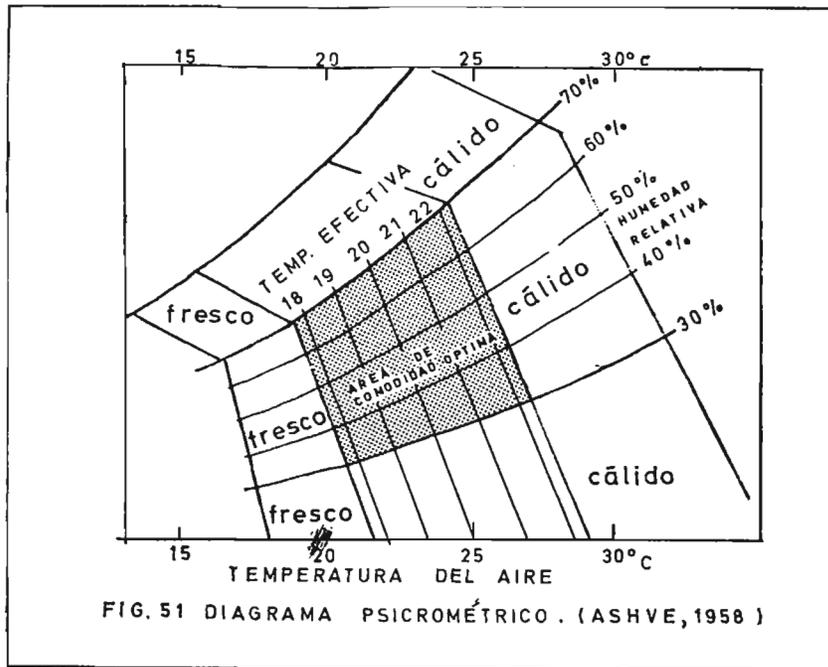
La humedad registrada fue máxima (45 a 55 por ciento) durante el periodo frío de la mañana y decreció a 35 por ciento por la tarde, tanto en enero como en mayo.

c) *La temperatura efectiva*

La temperatura efectiva varió durante el día en la misma forma que la temperatura, aunque la oscilación fue de solo un grado. Debido a la orientación norte, en el local de Azcapotzalco la temperatura efectiva fue uno o dos grados menor que en el local del sur de la ciudad.

En enero, la temperatura efectiva registrada ubica a los locales muestreados en el límite inferior de la comodidad, es decir, algo fríos o frescos según el criterio de la ASHVE, mientras que en mayo la temperatura efectiva se aproxima a los valores óptimos de comodidad ambiental.

En las figuras 56 y 57 se han trazado sobre un diagrama psicrométrico los valores de la temperatura efectiva, máximos y mínimos mensuales registrados durante el periodo de observaciones en los dos locales; puede apreciarse que los puntos caen principalmente dentro de la zona de comodidad óptima entre temperaturas efectivas de 18 a 22 y humedad relativa de 30 a 70 por ciento. Sin embargo, en la gráfica de la clínica de Azcapotzalco, los puntos correspondientes a los meses de invierno quedan cerca del



límite inferior o francamente fuera del área de mayor comodidad debido a la carencia de asoleamiento del local en esta época del año.

Conclusiones:

Del análisis anterior se desprende que los locales del área urbana de la ciudad de México que reciben un asoleamiento suficiente por estar orientados hacia el sur, no requieren de calefacción o enfriamiento por medios mecánicos ya que la comodidad ambiental en todos los meses del año (incluyendo el mes más frío, enero y el mes más caluroso que es mayo), se mantuvo dentro del área de comodidad considerada como óptima, según las normas establecidas por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción. Por otra parte, los locales con ventana hacia el norte tienen comodidad óptima tanto en los meses calurosos de marzo, abril y mayo como durante la época de

lluvias, mientras que en los meses de la estación fría la comodidad ahí ya no es la mejor, sino que el ambiente se clasifica como fresco según este criterio.

Conviene hacer notar que durante los meses de mayo, junio y julio, el local de encamados de la clínica de Azcapotzalco registró una temperatura algo mayor (uno o dos grados) que la observada simultáneamente en la clínica de la calzada de Tlalpan debido al asoleamiento que durante estos meses reciben los locales orientados al norte. Así, de mayo a julio, los locales con ventana al norte son, en la ciudad de México, algo más tibios que los locales con ventana hacia el sur. Sin embargo, esta variación no afecta sino ligeramente las condiciones de comodidad, ya que la temperatura efectiva no varió sino en una o dos unidades por la causa mencionada.

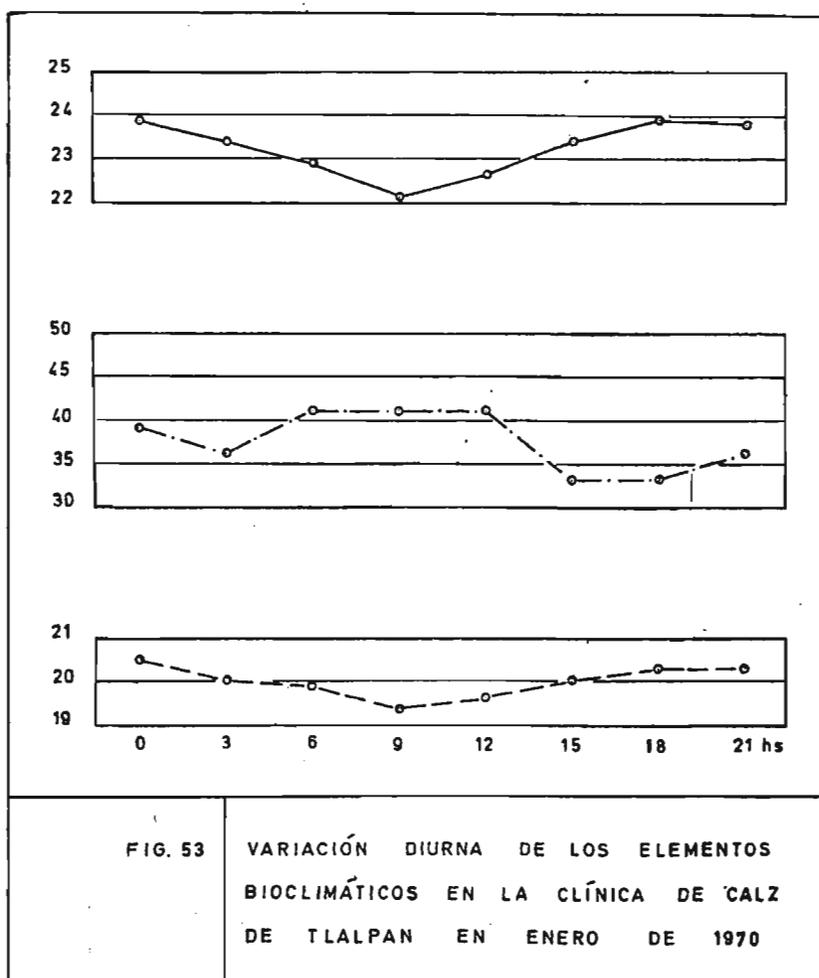
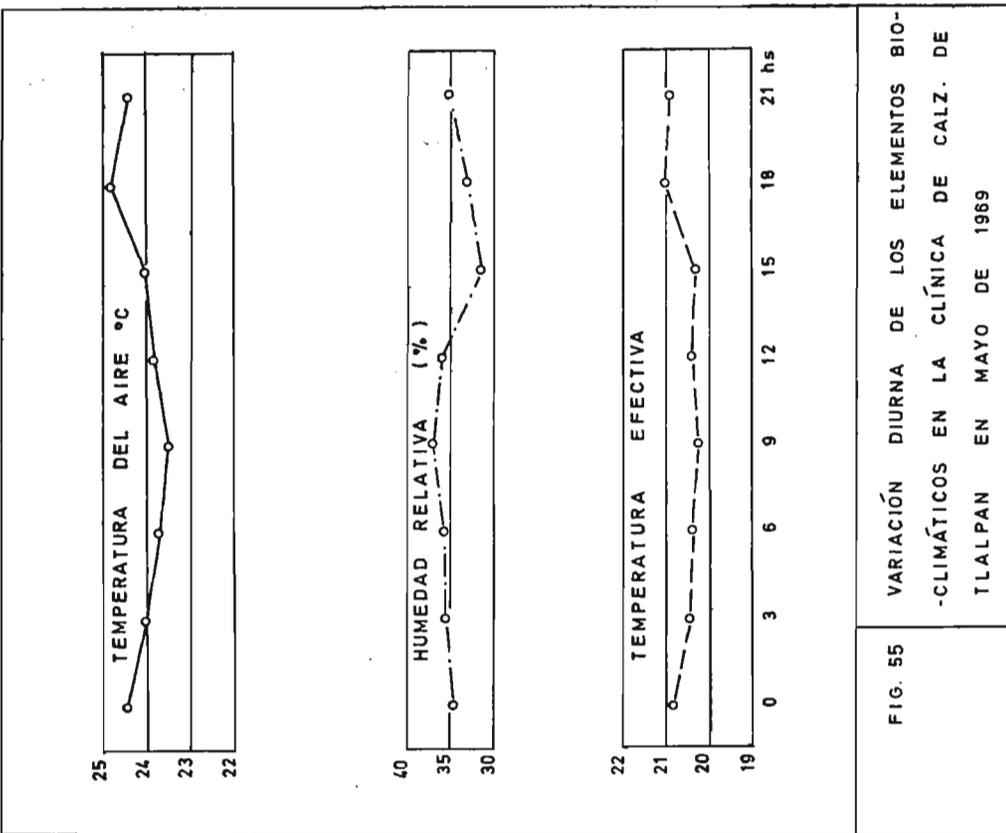
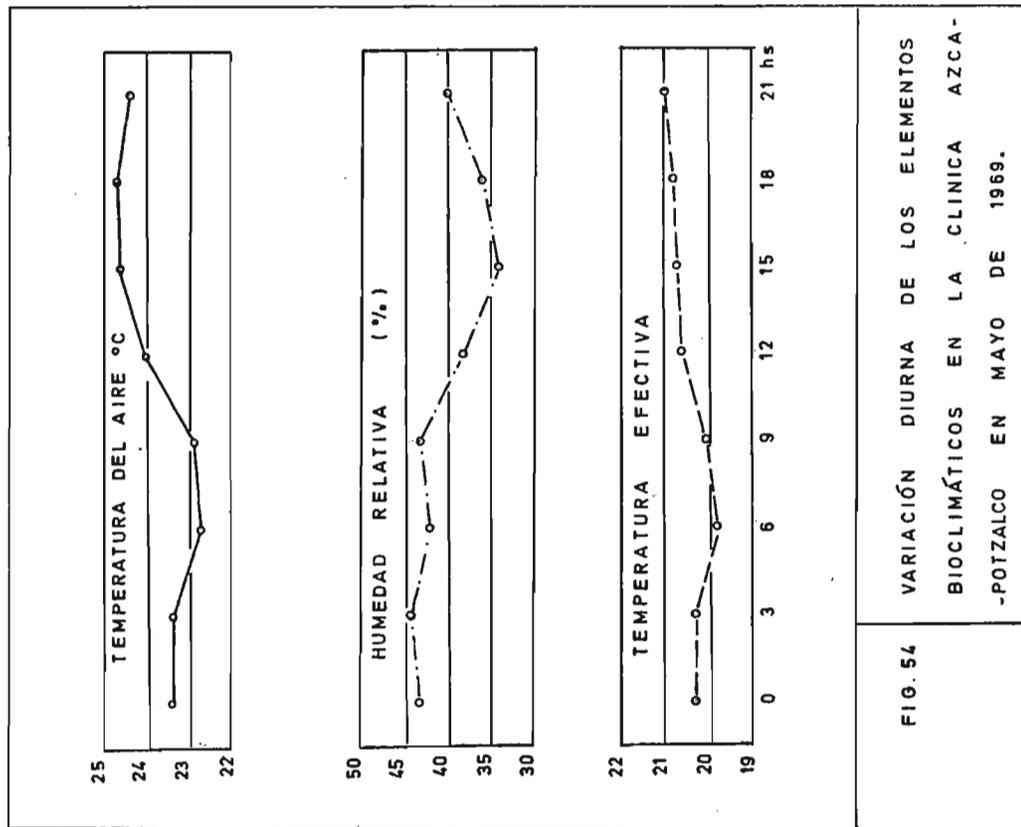
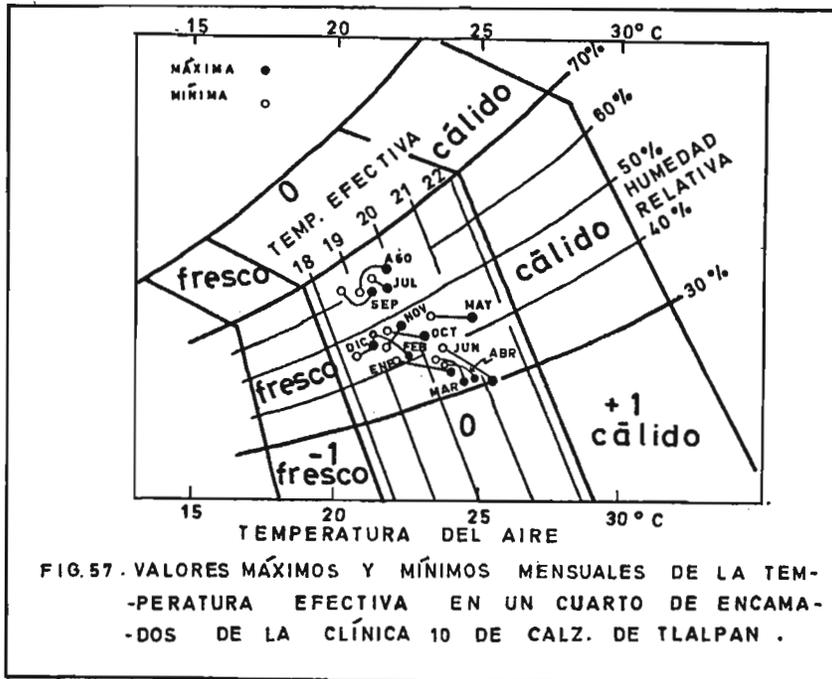
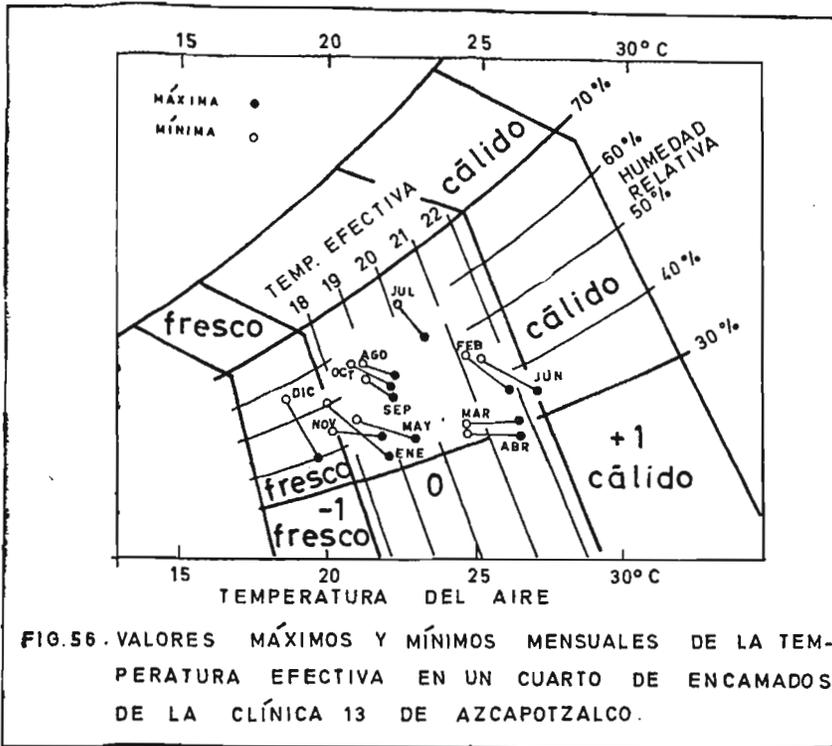


FIG. 53 VARIACIÓN DIURNA DE LOS ELEMENTOS BIOCLIMÁTICOS EN LA CLÍNICA DE CALZ DE TLALPAN EN ENERO DE 1970





NOTA DE RECONOCIMIENTO. El autor desea expresar su agradecimiento al Jefe del Departamento de Construcciones del Instituto Mexicano del Seguro Social, arquitecto José María Gutiérrez, por las facilidades otorgadas y el permiso para publicar los resultados de la valuación microclimática llevada a cabo en los locales de dicha institución, durante 1970. Los señores Francisco Cruz y Luis Quintero ayudaron al autor en la recolección y cálculo de los datos así como en las observaciones micrometeorológicas. La Srta. Carmen Medina se encargó del trabajo estenográfico.

11. Bibliografía citada

- ATKINS, P. R. (1969): "Lead in a suburban Environment", *Journal Air Pollution Control Ass.*, vol. 19(8).
- ADOLPH, E. F. MOLNAR, G. W. (1946): "Exchange of Heat and Tolerance to Cold in Men Exposed to Outdoor Weather", *Amer. Journ. of Physiology*, vol. 146, p. 507.
- BALCHIN, W. G. PYE, N. (1947); A microclimatological investigation of Batch and the Surrounding District, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 73; 297-323.
- BÁRCENA, Mariano. (1893): *El clima de la ciudad de México*, Publicación de la Sría. de Fomento, México.
- BORNSTEIN, Robert. (1968): "Urban Heat Island Effect in New York City", *Journ. of Applied Meteorology*, vol. 7(4), sept.
- BRAVO, H. BÁEZ, A. (1960): "Variations of Pollutants in Mexico City's Atmosphere", *Journ. APCA*, vol. 10(6).
- BRAVO, H. VINIEGRA, G. (1966): The Sulfur Dioxide Horizontal Distribution in Mexico City, Congreso contra la Contaminación del Aire, Londres.
- BRODOVICZ, Ben. (1968): "Air quality Criteria for Pennsylvania", *Journal of Air Pollution Control Association*, vol. 18(1), ene.
- CHANDLER, T. J. (1960): "Wind as a Factor of Urban Temperature Survey in NE London", *Weather*, 15, 292-299.
- CHANDLER, T. J. (1962): "London's Urban Climate", *The Geographical Journal*, vol. 128(2), jun.
- CHEPIL, W. S. (1957): "Erosión of Soil by Wind", *Yearbook of Agriculture*, Washington.
- DREYFUS, J. (1960): *Le confort dans l'habitat en pays tropical*, Eyrolles, Paris.
- DUCKWORTH, F. A. SANDBERG, J. S. (1954): "The effect of Cities upon horizontal and Vertical Temperature Gradients", *Bull. American Meteorological Soc.*, 35, 198-207.
- GEIGER, R. (1965): *The Climate near the Ground*, Harvard University Press.
- GORDON, H. S. PERRY, R. L. (1942): *Air Conditioning for Houses in California*, Berkeley, Univ. of California Press.

- HOWARD, Luke (1833): *Climate of London deduced from Meteorologic Observations*, Harvey and Darton, Londres.
- HAMMOND, W. H. DUENCHEL, F. W. (1902): "Abstract of a Comparison of the Minimum Temperatures recorded at the U.S. Weather Bureau and the Park Meteorological Observatories, St. Louis Missouri, for 1891, *Monthly Weather Rev.*, 30(1) 11-12.
- Heating, Ventilating Air Conditioning Guide*, Baltimore, Waverly Press, p. 152.
- HUSCHE, R. E. (ed) (1959): *Glossary of Meteorology*, 352-370.
- 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. (1960): "Las tolvaneras de la ciudad de México", *Ing. Hidráulica en México*, vol. 14 (2).
- KRATZER, P. A. (1957): "Das Stadtklima", *Die Wissenschaft*, vol. 90, Brunswick, Vieweg, 184 pp.
- LEE, D. H. K. (1954): "Physiological Climatology", *American Geography, Inventory and Prospect*, P. E. James, C. F. Jones (eds), Syracuse Univ. Press.
- LONDON, J. (1957): *A study of atmospheric heat balance, Final Report*, New York University.
- MAGA, J. GOLDSMITH, J. (1960): "Standards for Air Quality in California", *Journal of Air Pollution Control Ass.*, vol. 10(6), dic.
- MÁRQUEZ, E. (1969): *Estado actual de la contaminación del aire en la ciudad de México*, Salud Pública de México, vol. 11(1).
- MUNN, R. E. (1966): *Descriptive Micrometeorology*, New York Academic Press.
- MIDDLETON, W. K. MILLAR, F. G. (1936): "Temperature Profiles in Toronto", *Royal Astronomical Society Journal*, 30 265-72.
- OKITA, T. (1960): "Estimation of Direction of Air Flow from Observations of Rime Ice", *Journ. Meteorological Society*, Japón, 38, 207-209.
- PEPLER, A. (1929): "Das auto als Hilfsmittel der meteorologischen Forschung" (El auto como ayuda en la investigación meteorológica) *Zeitschrift für angewandte Meteorologie*, 46: 305-308.
- POOLER, F. (1963): "Airflow over a City in Terrain of Moderate Relief", *Journ. of Applied Meteorology*, 2, 446-455.
- REICHEL, E. (1933): Ein Beispiel grosser temperatureunterschiede zwischen Stadt und Freiland Stationen (Ejemplo de una gran diferencia de temperatura entre la ciudad y su alrededores), Berlín Preussisches Meteorologisches Institut, Veröffentlichungen, Bericht, núm. 402.
- RENOU, E. (1862): "Differences de temperature entre Paris et Choisy le-Roi", *Société Météorologique de France, Annuaire*, 10: 105-109.
- SCUDDER, B. (1965): "Diagnosing the mesoscale windfield over an urban area by means of synoptic data", M. S., *theses*, New York University.
- SHEPPARD, P. A. (1958): "The Effect of Pollution on Radiation in the Atmosphere", *Journal of Air and Water Pollution*, 1, 31-43.

- SUNDBORG, A. (1950): "Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an urban area", *Tellus*, 2(3): 221-231.
- SCHMIDT, W. (1929): "Die Verteilung der Minimum-temperaturen in der frostnacht des 12 Mai 1927 im Gemeindegebiet von Wien", (Distribución de la temperatura mínima durante la noche helada de mayo 1927 en Viena), *Fortschritte der Landwirtschaft*, 2(21), 681-686.
- TERJUNG W., H. (1966): "Physiological Climates of the United States: A Bioclimatic Classification based on Man", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 56(1), 147.
- WEST, P. W. GAEKE, G. C. (1956): "Fixation of Sulfur Dioxide as Disulfito-mercurate and Subsequent Colorimetric Determination", *Analytical Chemistry*, 28: 1816.

Tablas climatológicas

TABLA II
 DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LAS ESTACIONES URBANAS
 Y SUBURBANAS

<i>Estación</i>	<i>Periodo</i>	<i>Promedio lluvia máxima 24 hs.</i>	<i>Días con lluvia apreciable</i>	<i>Días con nublados</i>	<i>Días con heladas</i>	<i>Días con granizo</i>	<i>Días con Tormenta eléctrica</i>	<i>Viento domi- nante</i>
Ajusco, D. F.	61-68	36.5	106.0	50.0	77.0	1.0	13.0	N
Azcapotzalco, D. F.	56-68	45.5	132.0	25.0	20.0	5.0	33.0	N
Av. 12 Núm. 207, D. F. (Col. I. Zaragoza)	62-63	39.3	81.0	86.0	14.0	5.0	26.0	—
Bonampak, D. F.	55-61	37.8	112.0	180.0	30.0	7.0	8.0	N
Calacoaya, Méx.	61-67	45.4	106.0	107.0	58.0	0.0	6.0	C *
Chapultepec, D. F.	61-63	39.8	111.0	112.0	55.0	0.0	21.0	—
Castañeda Núm. 13	51-68	50.8	107.0	61.0	22.0	4.0	3.0	NW
Cincel, D. F.	53-68	40.0	109.0	102.0	16.0	9.0	21.0	C
Col. Agrícola Oriental	60-68	37.2	85.0	141.0	34.0	0.0	9.0	C
Col. Ixtaccíhuatl, D. F.	57-61	33.0	90.0	71.0	14.0	1.0	20.0	—
Col. del Valle, D. F.	41-68	43.3	101.0	63.0	9.0	0.0	9.0	NW
Col. Escandón	51-68	46.9	109.0	49.0	15.0	0.0	2.0	C
Edificio C.F.E.	54-68	42.2	119.0	84.0	13.0	3.0	9.0	—
Dr. Barragán 774-B	61-66	40.3	125.0	60.0	0.0	4.0	19.0	—
Egipto, D. F. (Antes Popular)	54-68	45.2	110.0	40.0	6.0	4.0	2.0	C
El Molinito, Méx.	52-68	44.3	120.0	47.0	49.0	3.0	32.0	C
Hda. La Patera, D. F.	61-68	44.4	85.0	181.0	30.0	0.0	3.0	N
Hda. Peña Pobre, D. F.	55-68	43.7	131.0	43.0	76.0	4.0	29.0	SW
Ixtacalco, D. F.	48-65	38.6	85.0	17.0	56.0	0.0	7.0	N
Km. 3 + 000 G.C.	61-68	41.3	106.0	106.0	27.0	0.0	2.0	C
Km. 6.5 Gran Canal	52-68	43.2	98.0	72.0	38.0	2.0	19.0	C
Km. 7 Méx.-Pue.	57-59	34.6	116.0	73.0	23.0	1.0	3.0	—
La Reposadera, D. F.	41-65	48.1	78.0	87.0	13.0	0.0	1.0	—
León de los Aldamas	51-68	44.4	109.0	18.0	0.0	0.0	0.0	—
Los Reyes	55-68	32.8	95.0	37.0	33.0	0.0	1.0	C
Tabuba								

* C - Calma

(Continuación TABLA II)

<i>Estación</i>	<i>Periodo</i>	<i>Promedio lluvia máxima 24 hs.</i>	<i>Días con lluvia apreciable</i>	<i>Días con nublados</i>	<i>Días con heladas</i>	<i>Días con granizo</i>	<i>Días con Tormenta eléctrica</i>	<i>Viento domi- nante</i>
(Mar Kara 3 Bis)	59-68	46.0	98.0	59.0	0.0	2.0	17.0	NW
Molino Blanco, Méx.	52-68	49.8	116.0	42.0	36.0	4.0	52.0	NW
Mosqueta 52, D. F.	59-68	53.9	82.0	38.0	0.0	0.0	0.0	W
Moyoguarda, D. F.	52-68	41.1	109.0	93.0	75.0	0.0	7.0	C
Pasaje Alpes, D. F.	65-68	52.5	107.0	122.0	1.0	1.0	1.0	E
Paseo de la Reforma 2300	53-54	58.4	131.0	79.0	15.0	2.0	29.0	—
Presas Anzaldo, D. F.	54-68	45.2	106.0	109.0	48.0	0.0	11.0	N
Presas Mixcoac, D. F.	54-68	41.6	116.0	91.0	28.0	0.0	10.0	S
Presas Tacubaya, D. F.	54-68	42.8	117.0	85.0	21.0	2.0	14.0	N
Presas Tarango, D. F.	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Playa Caleta, D. F.	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Polar Núm. 90 (Col. Industrial)	53-60	41.7	101.0	48.0	17.0	0.0	8.0	—
San Borja y López, D. F.	65-68	38.1	114.0	96.0	12.0	0.0	2.0	C
San Francisco, Tlalnepantla	61-68	53.6	89.0	80.0	71.0	0.0	2.0	C
San Gregorio Atlapulco	61-68	35.0	90.0	161.0	63.0	4.0	16.0	—
San Juan de Aragón, D. F.	41-68	40.1	103.0	110.0	46.0	0.0	34.0	C
San Juan Ixhuatepec, Méx.	52-68	41.3	101.0	108.0	45.0	0.0	24.0	C
Tacubaya, D. F.	41-48	47.4	123.0	122.0	13.0	9.0	23.0	NNW
Tacuba Núm. 7	62-68	50.9	80.0	145.0	0.0	0.0	1.0	N
Tecamachalco, D. F.	56-68	49.5	121.0	73.0	34.0	1.0	2.0	NW
Tercer Dinamo, D. F.	41-62	57.6	137.0	114.0	69.0	4.0	4.0	—
Tlahuac, D. F.	61-67	40.7	80.0	94.0	51.0	0.0	1.0	C
Tlalpan, D. F.	54-60	36.6	81.0	84.0	36.0	2.0	5.0	S
Tlalnepantla, Méx.	41-45	32.4	80.0	95.0	23.0	2.0	2.0	N
Totolica, Méx.	65-68	49.5	122.0	55.0	52.0	9.0	18.0	N
Unidad Modelo	61-68	42.2	93.0	71.0	45.0	2.0	3.0	C
Villa Obregón	41-48	44.0	97.0	59.0	35.0	5.0	16.0	C
Xoco, D. F.	52-68	41.5	104.0	147.0	53.0	2.0	5.0	C
Xotepingo, D. F.	59-68	48.4	90.0	158.0	40.0	0.0	0.0	C
Ixtapalapa, D. F.	56-68	39.8	112.0	74.0	23.0	1.0	7.0	C
Coyoacán, D. F.	61-66	44.9	117.0	42.0	5.0	4.0	30.0	NW
Col. Moctezuma, D. F.	67-68	43.3	100.0	85.0	18.0	6.0	24.0	SE

TABLA II b
TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LAS ESTACIONES
URBANAS Y SUBURBANAS

<i>Estación</i>	<i>Prom. Temp.</i>	<i>Enc.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>May.</i>	<i>Jun.</i>	<i>Jul.</i>	<i>Ago.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>
Ajusco, D. F.	Máx. Mín.	14.8 1.7	15.8 3.8	17.5 5.2	19.1 8.2	19.2 8.9	18.5 9.0	17.1 8.4	17.0 8.5	16.2 8.3	15.8 6.8	15.7 4.4	15.4 3.7
Azcapotzalco, D. F.	Máx. Mín.	24.0 -1.0	27.0 0.3	29.6 4.1	30.1 4.4	29.9 6.8	28.6 9.2	26.4 8.7	26.6 8.7	25.9 9.7	25.7 3.0	23.1 0.5	21.9 -1.2
Calacoaya, Méx.	Máx. Mín.	21.1 2.2	23.1 3.0	25.1 5.6	26.5 8.0	26.8 9.2	25.2 11.1	23.6 10.7	23.9 10.5	23.5 10.7	21.7 7.7	22.7 5.1	20.6 4.1
Castañeda Núm. 13	Máx. Mín.	22.2 2.9	24.2 4.0	26.9 6.7	27.4 8.5	26.8 9.7	25.7 11.3	24.3 10.6	25.0 10.5	23.6 10.2	23.6 8.1	23.1 6.1	21.8 3.7
Cinzel, D. F.	Máx. Mín.	25.4 0.2	28.5 3.1	31.1 4.2	31.1 6.9	30.5 8.2	29.1 9.9	27.3 9.6	27.3 10.9	27.1 8.8	26.4 5.3	26.9 3.7	25.3 1.7
Col. Agrícola Oriental, D. F.	Máx. Mín.	22.4 3.5	22.4 3.7	26.1 6.2	27.1 9.3	27.6 11.0	26.6 12.2	25.6 11.3	25.7 11.3	23.9 11.8	23.9 9.4	23.9 5.7	22.3 5.4
Col. del Valle, D. F.	Máx. Mín.	25.6 -0.5	27.1 0.8	30.0 3.0	30.7 7.3	30.5 6.7	28.9 8.3	26.9 8.5	26.8 8.5	26.4 7.6	26.4 3.8	27.2 1.4	25.6 -0.3
Col. Escandón, D. F.	Máx. Mín.	23.9 1.8	27.7 3.1	29.6 5.3	32.6 6.5	31.1 8.7	28.9 11.0	25.6 10.6	26.5 10.4	26.1 9.9	26.4 6.1	26.1 3.3	25.2 1.8
Edificio C. F. E.	Máx. Mín.	18.9 4.4	21.6 6.2	23.9 9.3	25.6 11.3	25.4 12.0	24.8 12.8	22.5 12.0	23.1 12.0	21.9 11.8	21.8 10.3	20.9 8.2	19.5 5.7
Egipto (antes Popular) D. F.	Máx. Mín.	20.6 5.3	22.6 6.5	25.1 9.1	26.1 11.1	26.0 12.2	24.9 13.5	23.3 12.9	23.5 12.7	22.3 12.8	21.6 10.6	21.3 7.8	20.1 6.4
El Molinito, Méx.	Máx. Mín.	24.6 -3.5	27.7 -0.9	30.1 0.3	31.0 3.4	30.6 4.8	28.7 7.3	25.8 7.1	26.3 7.6	25.3 5.8	25.7 1.1	25.9 -0.1	24.4 -3.2
Hda. La Patera, D. F.	Máx. Mín.	21.8 3.6	21.5 3.3	24.4 5.7	26.4 10.2	26.1 10.8	25.1 12.0	24.0 11.4	23.9 11.6	22.3 11.6	22.5 9.4	23.4 5.9	25.2 6.0
Hda. Peña Pobre, D. F.	Máx. Mín.	20.5 3.0	22.7 3.8	24.7 6.1	25.2 8.1	25.1 9.2	23.7 11.3	21.7 10.6	21.9 10.4	20.9 10.8	20.6 8.4	20.9 5.6	20.1 3.9
Ixtacalco, D. F.	Máx. Mín.	20.6 -3.2	28.0 -1.6	30.3 0.9	31.0 3.0	30.9 6.3	29.4 7.2	27.2 7.3	27.2 7.6	26.7 5.0	27.7 1.1	26.9 -1.4	25.8 -2.5
Km. 6.5 Gran Canal	Máx. Mín.	21.9 3.3	23.7 4.0	26.0 6.2	27.6 8.9	27.1 10.5	25.3 13.0	23.9 11.6	24.4 11.5	23.7 11.3	22.3 8.7	22.6 5.6	21.7 4.4
Km. 7 Méx.-Pue.	Máx. Mín.	25.0 -0.7	27.3 0.3	29.3 2.4	30.2 3.6	29.7 6.1	28.7 9.1	25.7 8.7	26.3 8.6	25.7 6.6	25.9 3.9	26.1 0.8	24.7 -1.5
La Reposadera, D. F.	Máx. Mín.	27.5 0.4	28.7 1.9	30.2 3.3	31.6 4.8	32.6 6.6	31.2 7.4	28.9 7.3	28.8 8.7	28.3 6.8	27.7 3.8	28.1 1.0	24.0 0.0

(Continuación TABLA II b)

<i>Estación</i>	<i>Prom. Temp.</i>	<i>Ene.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>May.</i>	<i>Jun.</i>	<i>Jul.</i>	<i>Ago.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>
Los Reyes	Máx. 25.1 Mín. -3.2	27.8 -1.4	29.5 1.6	30.4 4.8	30.4 5.5	29.1 7.9	27.7 8.5	26.9 8.6	26.6 6.7	26.9 3.0	27.2 1.3	25.3 -4.2	
Tacuba (Mar Kara 3 bis)	Máx. 22.2 Mín. 5.8	23.9 6.2	26.8 8.9	28.5 10.8	28.7 12.2	27.0 13.3	25.2 12.5	26.0 12.6	24.0 12.2	22.8 10.4	22.1 7.5	21.2 6.4	
Molino Blanco, D. F.	Máx. 24.7 Mín. -1.7	26.9 -0.2	29.2 2.1	30.2 4.1	29.8 5.6	27.8 7.4	25.3 8.1	25.8 8.0	25.2 5.6	25.9 2.0	26.1 1.0	24.8 -1.7	
Moyoguarda, D. F.	Máx. 25.7 Mín. -3.8	27.5 -2.1	29.6 -0.7	29.7 1.1	29.0 3.8	27.6 7.1	26.3 6.9	25.9 6.3	25.3 6.0	26.0 1.4	26.8 -0.2	26.1 -5.1	
Pasaje Alpes, D. F.	Máx. 22.1 Mín. 4.3	22.7 6.5	24.9 10.4	26.4 8.4	27.2 10.7	25.2 10.6	23.7 11.4	24.4 10.6	23.4 9.7	23.9 7.7	22.5 5.5	22.1 3.8	
Paseo de la Reforma Núm. 2300	Máx. 26.4 Mín. -1.1	26.9 0.6	28.4 2.8	29.2 4.5	28.9 6.3	28.4 7.3	26.2 8.0	26.5 8.3	26.7 5.9	26.4 4.0	27.1 1.8	26.2 0.0	
Presa Anzaldo, D. F.	Máx. 24.9 Mín. -0.9	27.6 1.5	29.8 2.7	30.2 6.2	29.2 5.8	28.1 8.1	25.5 8.7	25.4 8.4	25.2 4.2	25.0 3.7	25.6 2.8	24.9 0.1	
Presa Mixcoac, D. F.	Máx. 25.9 Mín. -0.9	28.8 0.5	31.0 3.2	31.4 5.7	30.5 6.3	29.8 7.2	27.3 7.4	28.1 7.2	27.1 6.6	27.9 3.1	27.3 1.9	25.8 -1.3	
Presa Tacubaya, D. F.	Máx. 23.3 Mín. -0.7	26.6 2.0	29.5 3.0	30.6 5.5	29.8 6.5	29.3 8.5	26.8 8.8	27.6 8.8	25.2 7.6	25.6 3.4	24.8 2.0	23.0 -1.2	
Polar Núm. 90 (Col. Industrial)	Máx. 25.5 Mín. -0.1	28.7 2.5	31.1 3.9	31.6 6.7	30.5 8.1	29.0 10.1	26.7 9.5	27.8 10.2	27.3 8.6	27.9 4.6	27.5 2.7	25.9 -0.1	
San Gregorio Atlapulco	Máx. 27.0 Mín. -5.0	28.5 -5.0	29.5 1.0	30.0 3.0	32.5 6.0	31.0 6.0	28.0 8.0	27.5 7.0	28.0 4.0	28.0 2.0	28.0 -5.0	26.0 -5.0	
San Juan de Aragón, D. F.	Máx. 25.4 Mín. -2.6	28.0 -1.1	29.9 0.5	31.1 2.3	30.8 5.7	28.5 8.1	26.6 7.8	26.6 8.5	26.4 6.4	26.4 2.6	26.7 4.2	25.0 -2.4	
San Juan Ixhuatepec, Méx.	Máx. 25.2 Mín. -2.3	26.9 -0.7	29.5 1.1	30.3 2.8	30.1 5.1	28.4 7.6	28.9 7.8	26.4 8.3	25.6 5.0	26.1 2.0	26.5 0.1	25.2 -2.1	
Tacubaya, D. F.	Máx. 24.4 Mín. 0.1	26.9 1.5	30.1 3.5	30.4 5.1	30.3 7.0	28.5 8.4	26.0 8.1	25.9 8.2	25.6 7.0	25.4 4.0	25.0 1.9	23.9 0.8	
Tacuba Núm. 7	Máx. 21.1 Mín. 6.4	19.6 7.4	21.2 9.3	21.4 10.9	22.5 12.3	20.6 12.3	21.2 11.8	21.0 12.5	19.8 12.1	20.2 10.4	19.4 7.5	22.0 6.9	
Tecamachalco, D. F.	Máx. 24.5 Mín. -2.9	27.6 0.4	30.0 1.0	30.6 3.5	29.6 6.0	29.0 6.9	26.6 8.0	27.2 7.9	25.8 6.3	26.8 2.1	26.3 2.1	24.1 -1.5	
Tlahuac, D. F.	Máx. 21.6 Mín. 1.2	22.5 1.7	24.9 4.4	26.7 6.4	27.3 8.6	25.9 10.5	24.4 10.3	23.5 10.5	23.6 10.3	22.6 6.1	21.8 2.8	21.5 2.5	
Tlalpan, D. F.	Máx. 21.2 Mín. 6.4	23.6 8.5	28.2 9.2	28.1 8.9	28.4 11.8	27.5 11.6	26.9 11.8	24.2 11.3	22.9 10.4	23.7 8.8	22.9 6.5	20.9 5.1	

(Continuación TABLA II b)

<i>Estación</i>	<i>Prom. Temp.</i>	<i>Enc.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>May.</i>	<i>Jun.</i>	<i>Jul.</i>	<i>Ago.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>
Tlalnepantla, Méx.	Máx.	22.3	23.7	24.5	26.9	26.6	24.5	24.0	23.3	23.1	22.5	22.0	22.2
	Mín.	3.3	5.2	6.4	7.9	7.6	10.8	10.4	10.4	11.2	6.8	4.7	3.1
Totolica, Méx.	Máx.	25.0	26.5	28.0	28.5	30.0	28.0	25.5	24.0	24.5	26.0	25.0	21.5
	Mín.	0.0	0.0	1.0	5.0	5.5	6.0	8.5	7.5	5.5	3.0	-5.0	-2.0
Villa Obregón, D. F.	Máx.	26.3	28.7	30.9	31.3	30.9	29.1	26.8	26.6	26.3	26.5	27.0	27.3
	Mín.	-4.5	-2.5	-0.6	0.9	3.5	5.8	5.5	5.8	4.0	0.4	-2.0	-4.3
Xoco, D. F.	Máx.	25.0	28.4	31.2	31.5	30.2	29.3	26.9	26.4	26.4	26.4	26.5	24.2
	Mín.	-0.9	1.3	2.9	5.5	7.3	9.2	9.3	9.0	8.0	3.5	3.6	-0.4
Coyoacán, D. F.	Máx.	18.8	21.3	24.7	25.9	26.6	25.7	24.3	23.8	22.2	20.6	19.8	18.7
	Mín.	6.7	8.0	11.6	12.7	13.3	14.7	14.0	14.1	13.9	11.3	9.0	7.4
Ciudad Universitaria	Máx.	22.3	21.8	24.6	26.6	24.2	24.2	22.0	22.7	21.4	19.2	20.9	19.9
	Mín.	3.3	2.6	7.7	9.3	10.2	12.2	10.9	11.0	11.2	9.5	5.2	4.1
Col. Moctezuma	Máx.	22.5	24.0	25.9	27.9	27.4	27.4	26.1	25.6	25.2	24.7	23.4	22.9
	Mín.	4.7	3.6	8.3	11.3	12.4	13.3	12.4	12.6	12.6	10.3	6.2	5.6
Ixtapalapa	Máx.	25.2	27.8	30.0	31.0	30.1	29.0	29.3	27.7	26.6	27.1	27.8	25.6
	Mín.	-4.8	1.2	1.4	4.6	6.6	7.5	8.9	8.7	7.9	2.9	2.7	-1.2

Tabla II c.

FRECUENCIA DEL VIENTO DE SUPERFICIE

Periodo: 1958-63

Estación: Tacubaya, D. F.
Hora: 14 horas

	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	Frec. Fza. (%)	Fza. m/s																						
C *	22.6	—	7.8	—	5.8	—	8.0	—	9.6	—	10.0	—	8.3	—	2.5	—	4.6	—	12.2	—	8.6	—	23.8	—
N	10.3	0.2	9.3	0.3	7.1	0.2	10.7	0.5	22.5	0.4	21.3	0.3	21.2	0.4	23.8	0.2	29.3	0.3	16.1	0.3	14.6	0.3	4.5	0.5
NE	18.1	0.2	20.0	0.2	13.5	0.4	20.0	0.3	27.9	0.4	28.6	0.3	13.5	0.2	20.6	0.3	13.9	0.2	23.2	0.3	20.6	0.2	18.7	0.2
E	19.3	0.2	20.0	0.3	16.1	0.6	12.0	0.2	7.1	0.3	8.6	0.2	3.8	0.1	5.1	0.4	8.0	0.3	5.7	0.2	9.3	0.2	14.8	0.2
SE	3.2	0.2	5.7	0.3	5.8	0.8	4.0	0.3	5.1	0.2	1.3	—	2.5	0.3	3.8	0.1	2.6	0.2	2.5	0.2	5.3	0.2	9.7	0.2
S	8.5	0.5	12.1	0.8	12.9	0.5	17.3	0.3	4.5	0.4	11.3	0.3	9.6	0.6	5.8	0.4	5.3	0.3	2.5	0.2	7.3	0.5	10.9	0.6
SW	0.6	—	2.8	1.0	8.4	0.4	2.0	0.5	1.9	0.2	0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.3	0.4	0.6	—
W	3.8	0.6	11.4	0.5	14.8	0.7	7.3	0.5	4.5	0.2	4.6	0.3	1.2	—	1.9	0.5	3.3	0.3	1.2	0.4	1.9	0.2	3.2	0.3
NW	15.5	0.4	10.7	0.6	15.4	0.6	18.7	0.4	16.1	0.4	13.3	0.2	39.3	0.2	36.1	0.3	32.6	0.2	36.1	0.3	31.3	0.3	13.5	0.3

* Calma

Índice

1. Introducción	5
2. Antecedentes	6
3. Base física para la formación de la isla urbana de calor	8
4. Métodos	12
5. Resultados	13
6. Métodos para localizar la isla de calor utilizando la red de estaciones meteorológicas diseminadas en el área urbana y zonas periféricas	16
<i>a)</i> Las temperaturas mínimas	16
7. Otros factores del mesoclima urbano	30
<i>a)</i> Las temperaturas máximas	30
<i>b)</i> Las heladas	30
<i>c)</i> La intensidad de la lluvia	30
<i>d)</i> Frecuencia de las tormentas eléctricas	45
<i>e)</i> Incidencia del granizo	45
<i>f)</i> Frecuencia de los nublados	45
<i>g)</i> Frecuencia de los días con lluvia	45
<i>h)</i> Cantidad de lluvia anual	45
<i>i)</i> La temperatura media anual	45
<i>j)</i> La humedad relativa	54
8. Contaminación atmosférica	56
9. Los factores bioclimáticos	69
10. El microclima de los locales en dos puntos del área urbana de la ciudad de México	73
<i>a)</i> La temperatura	73
<i>b)</i> La humedad relativa	73
<i>c)</i> La temperatura efectiva	73
11. Bibliografía citada	79
Tabla con los datos climatológicos de las estaciones urbanas y suburbanas	82

En la Imprenta Universitaria, bajo la dirección de Jorge Gurría Lacroix, se terminó la impresión de *Mesomicroclima de la ciudad de México*, el día 8 de marzo de 1971. La composición se hizo con tipos Garamond 12:12, 10:12 y 9:10.
Se tiraron 1 000 ejemplares.