



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

2017 OCT 27 11 30 AM
SERVICIOS ESCOLARES

"CAMBIOS CLIMATICOS EN LA CIUDAD DE MEXICO"



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A :

JOSE ANTONIO RUIZ HERNANDEZ

MEXICO, D. F., OCTUBRE DE 1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mi madre con mucho cariño, porque he recibido de ella mucho amor y enseñanzas.

A Silvia, mi esposa, por todo su amor, comprensión y apoyo.

A Hugo, que siempre se ha preocupado por mí y me ha brindado su apoyo en todo sentido.

A mis hermanos, sobrinos y demás familiares, por su cariño, ejemplo y motivación.

A Mauro, mi amigo y asesor, por su paciencia y valiosos consejos en el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Observatorio de Radiación Solar de la UNAM por el apoyo brindado.

A Lourdes Godínez por su gran apoyo en la obtención y procesamiento de los datos.

A Oscar Meléndez que amablemente dibujó los mapas.

A los sinodales por sus atinadas correcciones .

A todas aquellas personas que contribuyeron a mi formación académica.

**CAMBIOS CLIMATICOS EN LA CIUDAD DE MEXICO
Y MUNICIPIOS CONURBADOS DE 1921 A 1990**

I N D I C E

INTRODUCCION

| | |
|--|-----------|
| CAPITULO 1: CAMBIO CLIMATICO Y CLIMA URBANO | 1 |
| Cambio climático | 1 |
| Clima urbano | 2 |
| Cambios hidrológicos | 4 |
| Cambios aerodinámicos | 6 |
| Cambios térmicos | 9 |
| Isla de calor | 12 |
| Isla de lluvia | 14 |
| | |
| CAPITULO 2: CLIMA DE LA CIUDAD DE MEXICO | 16 |
| Circulación atmosférica | 16 |
| Temperatura | 18 |
| Precipitación | 21 |
| Climas | 24 |
| | |
| CAPITULO 3: METODOLOGIA | 29 |
| | |
| CAPITULO 4: ANALISIS DE LOS ELEMENTOS DEL CLIMA | 37 |
| Análisis de la temperatura | 38 |
| Análisis de la precipitación | 50 |
| Análisis del clima | 63 |
| Análisis estadístico de estaciones características | 76 |
| | |
| CAPITULO 5: CONCLUSIONES | 95 |

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

Debido a que el hombre es básicamente un ser social, que desde épocas remotas formó grupos para facilitarse la obtención de los satisfactores de sus necesidades elementales, su actividad produjo siempre una modificación en el medio ambiente. Los grupos sociales se hicieron más grandes, surgieron las ciudades y los cambios producidos fueron cada vez mayores. En la Ciudad de México el crecimiento urbano ha sido desmedido y sin orden.

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar si existían o no cambios climáticos en la Ciudad de México durante el período comprendido entre 1921 y 1990. Se pensó que, debido al rápido desarrollo económico y al acelerado crecimiento urbano de la ciudad, deberían existir cambios climáticos como consecuencia de la transformación del medio ambiente.

Para lograr lo anterior, se analizaron datos mensuales de temperatura media y de precipitación total de 49 estaciones meteorológicas del Distrito Federal y de 36 estaciones correspondientes a los municipios del Estado de México conurbados a la Ciudad de México. Se consultaron datos desde 1921 o desde el inicio de operaciones de cada estación hasta 1990, debido a que algunas estaciones reportaron interrupciones de la información.

Para cada estación meteorológica se obtuvo el valor promedio mensual de la temperatura media y de la precipitación total para un período de 10 años; con esos valores se trazaron 7 mapas de isotermas y 7 de isoyetas. Posteriormente, de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1964) para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, se determinó el clima de cada estación para ese mismo período de años y se elaboraron 7 mapas de climas.

El análisis de los mapas fue de gran utilidad para lograr el cumplimiento de otro de los objetivos de esta tesis: ubicar espacial y temporalmente los cambios climáticos. Gracias a esto pudo comprobarse la hipótesis de que los cambios climáticos se presentan en las épocas y en los lugares donde existe un gran desarrollo urbano.

Otro de los objetivos fue conocer la evolución cuantitativa y cualitativa de las islas de calor y de lluvia existentes. Al respecto, se encontró que dicha evolución respondía a cambios frecuentes en el tipo de uso del suelo: las áreas verdes han perdido espacio en favor del uso urbano.

En el primer capítulo se describen los cambios físicos que sufren las ciudades con el crecimiento urbano y cómo afectan estos cambios a la precipitación, la temperatura y los vientos. Se menciona también el origen y desarrollo de las islas urbanas de calor y de lluvia.

Este capítulo incluye los tres tipos de cambios climáticos que se presentan en las grandes ciudades de acuerdo con la climatología urbana: hidrológicos, aerodinámicos y térmicos (Griffiths, 1985).

En el capítulo dos se realiza una breve recopilación de las investigaciones que otros autores han realizado sobre el clima de la ciudad de México. En primer término se expone en forma concisa la circulación general de la atmósfera que determina el clima en la ciudad de México. Después se mencionan los principales hallazgos encontrados por dichos autores, la información se presenta en orden con respecto a los elementos del clima implicados en esta tesis: la temperatura y la precipitación. Por último se mencionan los principales tipos climáticos encontrados en las citadas investigaciones.

En el capítulo tres se habla de la metodología que hizo posible llegar a la obtención de los mapas de temperatura, precipitación y climas (21 en total). Mismos que fueron el producto final de esta tesis y cuyo análisis sirvió para el logro de los objetivos propuestos al inicio.

En el cuarto capítulo se describen e interpretan los 21 mapas, en función del comportamiento espacial y temporal de la temperatura y la precipitación, se ubican los valores máximos y mínimos de ambos parámetros por década y se les asocia con factores geográficos como la altitud.

En este mismo capítulo, se analiza la evolución de las áreas de los valores extremos de ambos elementos para llegar a conocer el comportamiento espacial de los cambios en la temperatura y la precipitación.

En el capítulo quinto se presentan un análisis individual y otro de conjunto, de la temperatura y la precipitación, que permiten asociarlas entre sí y con los climas. En su parte final, se muestra el análisis y las conclusiones sobre los mapas climáticos, los cuales son el resultado más importante de esta tesis dado el objetivo principal. En ellos se encuentra el cambio climático fundamental: el surgimiento y desarrollo de una zona con clima BS₁ semiseco, que desde su origen hasta nuestros días ha aumentado su extensión en forma considerable.

C A P I T U L O 1
CAMBIO CLIMATICO Y CLIMA URBANO

Cambio climático.

El impacto de las actividades humanas sobre el clima, es un hecho que data de 5 a 9 mil años antes, principalmente con la agricultura, cuando el hombre comienza a talar bosques para cultivar la tierra y a utilizar el agua de los ríos para irrigarla. La vegetación natural fue sustituida por los cultivos, por ello la influencia sobre el clima fue pequeña y afectó sólo a nivel local, según lo afirma Lamb (1977).

De acuerdo con Drozdov y Grigorieva (1963), el cambio más extenso efectuado por el hombre en nuestros tiempos fue la conversión de zonas de bosque templado a zonas de cultivos, también en este caso el efecto climático fue pequeño.

Después de comparar la participación del hombre y de las causas naturales en los cambios del clima, Lamb (1977) nos dice que hasta la Revolución Industrial o quizás hasta el presente siglo (XX), el hombre afectó al clima sólo a una escala muy local (excepto tal vez para el CO₂).

El hombre y sus actividades han afectado al clima mediante dos escalas de intervención (Lamb, 1977):

- a. La escala local, en la que el hombre al realizar sus actividades cotidianas provoca un cambio en el medio de manera inadvertida, no ha sido su intención hacerlo.
- b. La escala regional o global, cuando el hombre modifica (o lo intenta) deliberadamente el medio, a través de grandes proyectos previamente diseñados.

Debido a que en este trabajo se pretende conocer cómo ha afectado el rápido crecimiento urbano de la Ciudad de México en su

clima, el tipo de alteración del medio se enmarca dentro del impacto no intencional e inadvertido sobre el clima a una escala de intervención local.

Los temas sobre los cuales se han realizado estudios climáticos que revelen el efecto de la modificación inadvertida del clima por parte del hombre, no se refieren exclusivamente al clima de las ciudades, también se involucran con el efecto sobre la atmósfera, con la conservación y el aprovechamiento del agua y con la contaminación térmica. Algunos de estos aspectos están relacionados con las actividades urbanas pero otros no.

Clima urbano.

Para Lowry (1967) el clima es el resultado neto de la interacción de diversas variables: la temperatura, la humedad, el viento, la radiación solar y la precipitación. Por ello comprender el clima citadino en función de todos estos elementos es algo complicado.

De acuerdo con este mismo autor, existen cinco influencias básicas de la ciudad sobre su clima. La primera relativa a las diferencias que existen entre los materiales de la superficie. Los materiales predominantes en la ciudad son 3 veces mejores conductores térmicos que el suelo del campo, lo que significa que la ciudad acepta más energía calorífica en menor tiempo.

La segunda, se refiere a las estructuras de la ciudad, las cuales tienen una gran variedad de formas y orientaciones. Las estructuras funcionan como reflectores, absorben la energía que reciben directamente del sol o a través de otras superficies que la reflejan. Dichas superficies influyen también en el incremento de la turbulencia del viento.

La tercera es la generación de calor por pequeñas pero numerosas fuentes como fábricas, automóviles, sistemas de calefacción o aire acondicionado. Esta influencia es variable según la estación del año o la latitud en la que se encuentra la ciudad.

La cuarta se refiere a la forma como se dispone de la precipitación. En forma de lluvia, la precipitación es removida en la ciudad rápidamente de la superficie por obras de drenaje. En el campo la lluvia permanece en la superficie o en la capa superior, por lo que el agua está disponible para evaporación.

La quinta y última, es relativa a la mayor carga de contaminantes que existe en el aire de la ciudad. Algunos permanecen suspendidos en el aire varios días, otros reaccionan químicamente convirtiéndose en compuestos más tóxicos y corrosivos. Su efecto sobre la temperatura es variable, interceptan la luz solar pero también captan la radiación terrestre.

A fines de los 60's, los estudiosos del tema se preguntaban si el clima urbano era causado por la ciudad misma. Inquietud que se derivaba del hecho de haber encontrado "islas de calor" en diversas ciudades con características diferentes. Al respecto Landsberg encontró 3 evidencias que le llevaron a reponder afirmativamente:

- a. Estudios realizados en ciudades topográficamente diferentes señalaron que este factor no explicaba los patrones de distribución de la isla de calor.
- b. Otros estudios analizaron las diferencias de temperatura entre los días de la semana para asociarlos con las actividades humanas. Encontraron que en los días laborables se incrementó la temperatura y otros elementos.
- c. También se establecieron relaciones entre población y tamaño de

la isla de calor, encontrando que a mayor población mayor diferencia de temperaturas.

Actualmente, las grandes ciudades son tan extensas y pobladas que toda actividad humana provoca un cambio en el medio. En la Ciudad de México debido a su rápido y desorganizado crecimiento industrial, poblacional y económico, los cambios físicos se manifestaron drásticamente.

De acuerdo con la climatología urbana, los cambios físicos producidos en las grandes ciudades se clasifican como (Griffiths 1985):

- a. Cambios hidrológicos.
- b. Cambios aerodinámicos.
- c. Cambios térmicos.

En realidad, los cambios físicos que Griffiths (1985) y otros autores como Lowry (1967) nos exponen, presentan múltiples interrelaciones que hacen difícil hablar de algún elemento sin involucrar a otro, a pesar de los intentos realizados para clasificarlos.

Los Cambios Hidrológicos.

En general, los cambios hidrológicos se producen cuando el hombre sustituye al suelo por otros materiales que impermeabilizan la superficie; son ejemplos de ello: banquetas, calles, patios, plazas, estacionamientos y las mismas edificaciones (Griffiths 1985).

Un cambio hidrológico importante, relacionado con lo impermeable de la superficie, es la suspensión de la infiltración del agua de lluvia hacia los mantos freáticos ocasionando su abatimiento. En la Ciudad de México, cuyo subsuelo tiene un carácter arcilloso por haber sido un lago, la pérdida de humedad

en el subsuelo y el peso de las edificaciones hacen que el subsuelo de la ciudad esté compactándose.

En la Ciudad de México, el principal problema hidrológico se presenta durante la temporada de lluvias, de mayo a octubre de cada año. El agua de lluvia, al caer sobre materiales impermeables escurre inevitablemente por la superficie hacia los sistemas de drenaje, es tal la cantidad de lluvia que cae durante alguna tormenta en esta época, que los sistemas de drenaje resultan insuficientes para drenar el agua, por lo que se crean inundaciones en diversos puntos de la ciudad.

Este problema tiene repercusiones sobre la vialidad de la ciudad, debido al gran número de vehículos que transitan y que a esa hora de la tarde es cuando más frecuentemente llueve durante el verano, coincide también con un incremento en la densidad vehicular porque muchas personas regresan del trabajo.

Las necesidades de abasto de agua para el uso industrial y doméstico en la Ciudad de México se tornan un problema complejo dadas las circunstancias anteriores. La existencia de mantos freáticos en la ciudad es escasa y por lo tanto, el agua se importa de otras cuencas (cuya altitud es menor a la del Valle de México) por medio de un sistema de bombeo que resulta costoso económica, social y ecológicamente, pues también se altera el equilibrio hidrológico en las cuencas surtidoras.

Con respecto a las diferencias en la cantidad de precipitación, Landsberg (en Lowry 1967) encontró que en la época lluviosa la precipitación de la ciudad fue 10 % mayor que la del campo, sin embargo, las variaciones estacionales encontradas fueron considerables. En la estación seca, el vapor de agua del aire disminuye porque el agua disponible para evaporación es escasa, lo que provoca que la humedad relativa de la ciudad sea 6 % menor a la del campo.

El agua escurre rápidamente hacia el drenaje, por lo cual el tiempo de exposición del agua en procesos de evaporación se reduce enviando al aire una captitud menor de agua (Lowry 1967 y Griffiths 1985), todo esto implica que:

a. la evaporación absorba menos calor haciendo que este aumente en el medio ambiente, en este punto los cambios hidrológicos y térmicos muestran una clara interrelación.

b. la humedad absoluta disminuya,

c. las partículas de polvo en estado seco se transporten fácilmente en el aire por el viento y el movimiento de vehículos y de personas; este fenómeno es importante en el Noreste de la Ciudad de México, en donde, en los meses de febrero y marzo, se presentan tolvaneras debido a que el viento transporta las partículas de polvo que provienen del desecado exVaso de Texcoco (Jáuregui 1960), y por último,

d. aun cuando la presencia de humedad en el medio es menor, la existencia de gran número de partículas contaminantes y de polvo, funcionen como núcleos higroscópicos que favorecen la coalescencia.

Los cambios aerodinámicos.

Los cambios aerodinámicos son los relativos al viento, son originados por un cambio en la forma de la superficie terrestre de las ciudades. Con la construcción de edificios, industrias y viviendas, la superficie del suelo ciudadano se ha tornado muy irregular en comparación con zonas rurales. Las irregularidades representan obstáculos a la libre circulación del viento, se ha encontrado que en las ciudades sólo hasta los 400 m de altura el viento se mueve libremente, mientras que en el campo lo logra a 200 m por encima del suelo. (Griffiths, 1985)

La rugosidad del suelo que presenta la ciudad hace disminuir la intensidad del viento al presentar obstáculos a la libre

circulación del viento, aunque cabe aclarar que pueden presentarse fenómenos de menor magnitud y más localizados que hagan que el viento se canalice aumentando de intensidad y creando turbulencias y remolinos (Lowry 1967).

El efecto que la proximidad de un edificio ejerce en el viento es que la velocidad en el lado de sotavento es menor que la del lado de barlovento (Griffiths 1985). Estos fenómenos solo pueden influir en el microclima de algunas manzanas o cuadras, y dan muestra de lo compleja que es la circulación del viento en la capa de aire más superficial de una ciudad.

La contaminación atmosférica es un elemento que influye en la alteración del clima y su concentración (y riesgo) depende del comportamiento del viento (dirección e intensidad). La contaminación es un problema originado por el crecimiento urbano, por el incremento de la población, de las industrias y de los automóviles.

Son múltiples las tareas que pueden realizarse para resolver el problema de la polución atmosférica, que tanto ha afectado a la población de la Ciudad de México en las últimas décadas. De igual manera, los profesionistas que intervienen en la solución del mismo son muy diversos: físicos, químicos, políticos, médicos, ecólogos y geógrafos, entre otros.

A fines de 1986, Bravo et. al. (1986) llegaron a 5 conclusiones básicas sobre el problema de la contaminación en la Ciudad de México. La responsabilidad de resolverlo recae sobre la sociedad en su totalidad: ciudadanos, gobierno, científicos, empresarios, etc. Las 5 conclusiones son:

- a. Determinar la influencia de las condiciones meteorológicas cuando estas favorecen la concentración de los contaminantes.
- b. Valorar las actuales estrategias aplicadas para reducir las emisiones.

- c. Atender el problema del ozono de superficie.
- d. Implementar el sistema de monitoreo atmosférico.
- e. Difundir el programa de contingencias ambientales.

Los contaminantes participan también en la formación del fenómeno conocido como "isla de calor". Se sabe que el aire sobre la ciudad suele tener una temperatura mayor que la del aire de los alrededores de la ciudad. Aparte de otras explicaciones que se le dan a este fenómeno, los contaminantes absorben parte de la radiación de onda larga que emite la ciudad, por lo que el enfriamiento nocturno es más lento en la ciudad que en el campo (Jáuregui, 1988).

El viento participa en la disminución de los niveles de contaminación. Por ejemplo, si el aire está en calma favorece la concentración de contaminantes en las capas inferiores, esa condición sucede en las primeras horas de la mañana y es más marcado durante los meses fríos; durante ese período deben tomarse medidas tendientes a disminuir la generación de contaminantes.

Existe una circulación local del viento originada por las diferencias de temperatura entre el campo y la ciudad. Esta circulación es débil y sólo se aprecia cuando los vientos dominantes están en calma, sin embargo, logra evitar que los contaminantes se transporten en sentido horizontal hacia afuera de la ciudad (Jáuregui, 1974).

Esta circulación, según Lowry (1967), acarrea hacia mayores alturas partículas de polvo y humo. Según el tamaño de las partículas, algunas se depositan a diferentes distancias del centro y otras permanecen suspendidas en el aire diversas cantidades de tiempo. El efecto repetido de este fenómeno conduce a la formación de una estructura llamada "domo de polvo", la cual se densifica en ausencia de vientos fuertes o lluvias intensas.

Los cambios térmicos.

Los cambios térmicos son ocasionados por una gran diversidad de factores, pero todos ellos coinciden en un resultado final: el incremento de la temperatura en las ciudades. La temperatura en los alrededores de la ciudad es menor, por ello se le conoce a este fenómeno como "isla de calor".

El incremento de la temperatura en las ciudades se debe a diversas causas entre las que se encuentran:

- a. los edificios y aun las viviendas de menores dimensiones, constituyen estructuras masivas que absorben mayor cantidad de calor;
- b. con la disminución de la vegetación, disminuye también el gasto de calor en procesos de evapotranspiración;
- c. el agua de lluvia escurre rápidamente sobre el impermeable pavimento hacia el drenaje, ocasionando que el agua quede menos expuesta a procesos de evaporación que consumen calor; y
- d. existen numerosas fuentes de calor artificial en las ciudades.

La energía solar llega a la superficie terrestre en forma de radiación de "onda corta" ($0.3 \leq \lambda \leq 3 \mu\text{m}$), así es absorbida, para posteriormente ser emitida como radiación de "onda larga" ($\lambda > 3 \mu\text{m}$) (A.Leyva, Observatorio de radiación solar, UNAM, comunicación personal).

En las ciudades, el volumen de material que constituyen las grandes edificaciones absorbe mayor cantidad de calor que el que logran absorber las distantes y escasas construcciones o la vegetación en el medio rural. Además, Lowry (1967) menciona que la verticalidad de los muros de los edificios hace que éstos absorban el calor de los rayos solares de las primeras horas del día y de las últimas horas de la tarde.

El tipo de material de las construcciones urbanas también participa en el incremento de la temperatura en las ciudades. Los grandes edificios se construyen, en algunas ocasiones, con un estilo modernista que consiste en recubrir bloques de gran altura con materiales altamente reflejantes (Organización Meteorológica Mundial, sin año).

Entonces, los rayos solares sufren un efecto similar al de las bolas de una mesa de billar, rebotan de un edificio a otro, lo cual ocasiona que el calor se conserve atrapado entre un grupo de grandes edificios. A lo anterior se le conoce como efecto de cañón o de pantalla. Ya desde 1967, Lowry señalaba que la gran variedad de formas y orientaciones de las construcciones influía en el clima urbano.

Cabe mencionar, que en la Ciudad de México lo característico de sus construcciones no son precisamente edificios de gran altura, sino que más bien existen edificios de menor altura y numerosas casas-habitación de 1 a 3 plantas. El gran crecimiento urbano de la Ciudad de México ha sido principalmente en forma horizontal, más que vertical.

La vegetación del campo consume calor del medio ambiente en sus procesos de evapotranspiración. Al disminuir la cantidad de vegetación en las ciudades, el calor que ya no es utilizado en dichos procesos permanece en el aire ocasionando un incremento de la temperatura.

En el campo, el agua de lluvia sigue caminos diversos: escurre, se infiltra, satura el suelo, inunda; pero de cualquiera manera, el agua permanece más tiempo expuesta a la evaporación y consumiendo calor. En las ciudades, además de perderse velozmente el agua de lluvia a través del drenaje, tienden a desaparecer los cuerpos de agua porque se les aprovecha para el uso industrial y doméstico ocasionando su abatimiento. Por ello en la ciudad es

menor el consumo de calor en procesos de evaporación, lo que ocasiona un incremento de la temperatura.

En las ciudades existen numerosas pequeñas fuentes de calor artificial que incrementan la temperatura. Las industrias utilizan casi en su totalidad calor para llevar a cabo sus procesos de transformación. Los motores eléctricos y los de combustión producen calor, de estos últimos el ejemplo más representativo son los automóviles, no sólo en la Ciudad de México sino también en la mayoría de las grandes ciudades del mundo.

En las casas-habitación generan calor todos los aparatos electrónicos y electrodomésticos, los sistemas de calefacción (los cuales no son muy comunes en la Ciudad de México por su clima templado) o de aire acondicionado, la estufa, el calentador de agua, la iluminación, etc. Incluso, el mismo metabolismo de las personas (Griffiths 1985) genera calor, si se considera que las ciudades son grandes aglomeraciones de población, el calor total producido será considerable; la Ciudad de México tiene alta densidad demográfica 9524 hab/Km² (Gómez, 1993).

Tratando de buscar evidencias del efecto de la ciudad sobre su clima, Landsberg (en Lowry 1967) cita estudios realizados por Mitchell relativos a la relación existente entre población y las diferencias de temperatura entre ciudad y campo, encontrando que al incrementarse la población crece el tamaño de la isla de calor.

Estos tres tipos de cambios físicos son propios de las grandes ciudades, se presentan con el crecimiento desmesurado de las mismas y se manifiestan con intensidad diferente. En el caso de la Ciudad de México es factible pensar que los cambios que algunos elementos climáticos han sufrido con el crecimiento de la ciudad, fueron en intensidad y magnitud suficiente para que exista un cambio en el clima.

La isla de calor.

La temperatura en las ciudades es mayor que en el medio rural circundante. El área urbana de mayor temperatura se encuentra completamente rodeada por la zona rural con temperaturas menores, ello da una idea de un mar más fresco rodeando a una "isla de calor".

De acuerdo con Lamb (1977) el calor artificial generado por el hombre ha sido significativo sólo a una escala local, en las islas de calor la temperatura del aire del centro de la ciudad puede ser 2 °C (en promedio) más elevado que las áreas circundantes.

También Lowry (1967), a fines de los 60's refiere la existencia de las "islas de calor" como un fenómeno común entre los meteorólogos, que se había observado en diferentes ciudades y bajo diversas condiciones climáticas.

El Dr. Jáuregui (1971), pionero de las investigaciones sobre "isla de calor" en la Ciudad de México, nos presenta una excelente exposición de los antecedentes de este fenómeno, los cuales se remontan al siglo pasado (1833 y 1862) en Europa y a principios de este siglo (1902) en Norteamérica.

El método de investigación usado en estos primeros estudios consistía en realizar observaciones de la temperatura en un número limitado de estaciones fijas, que generalmente eran dos. Se comenzaba a observar que el aire de la ciudad era más tibio que el del campo circundante.

Otro método de investigación ya usado en el presente siglo consistió en la observación de la temperatura en puntos móviles, utilizando para ello generalmente automóviles para conocer la variación horizontal de la temperatura; también se llegó a

utilizar un globo cautivo y un helicóptero para determinar el comportamiento de la temperatura en la vertical. Estos estudios también demostraron que las áreas ocupadas por edificios y calles asfaltadas eran considerablemente más cálidas que los campos de los alrededores.

De hecho, Jáuregui (1971) utilizó estos dos métodos para determinar la existencia de la isla de calor en la ciudad de México. Con el método de estaciones móviles realizó recorridos de 80 Km en automóvil por la ciudad durante los meses iniciales-finales de 1968-69, realizando observaciones cada Km por las noches y por las mañanas.

Con el método de estaciones fijas, utiliza una mayor cantidad de las mismas distribuidas en el área urbana y las zonas periféricas. Con ambos métodos corroboró la existencia de la isla de calor.

La mayor diferencia de temperatura encontrada por Jáuregui (1971) fue observada en las noches invernales secas, con cielo despejado y aire en calma, fueron diferencias de 4 a 5 ° C entre ciudad y campo. Otros resultados encontrados por este autor se refieren a la variación de las temperaturas mínimas entre la ciudad y el campo, durante la estación seca fue de 8 a 10 ° C mientras que en la época lluviosa se acortó de 4 a 6 ° C.

Estos últimos resultados reportados por Jáuregui (1971) coinciden con los encontrados por Chandler en Londres (Lowry, 1967) quien realizó observaciones de las temperaturas máximas y mínimas durante 30 años. Encontrando que las temperaturas máximas de la ciudad, suburbios y campo eran 58.3, 57.6 y 57.2 ° F respectivamente, mientras que las temperaturas mínimas fueron 45.2, 43.1 y 41.8 ° F. La oscilación térmica entre ciudad y campo fue de 3.4 ° F para las temperaturas mínimas y 1.1 ° F para las máximas.

La disipación del calor en las ciudades es más lenta que en el campo. Cuando el calor es de nuevo regresado a la atmósfera, en las ciudades interviene otro factor que continua conservándolo: la contaminación del aire. Landsberg (en Lowry 1967) señala que en la conservación del calor las partículas tienen una función doble: reflejar parte de la luz solar, reduciendo con ello la cantidad de calor que llega a la superficie pero también al mismo tiempo retardan el flujo de salida del calor.

Las partículas presentes en el aire captan la energía calorífica e incrementan la temperatura; en algunos casos el calor actúa como catalizador que permite la transformación química de algunas sustancias contaminantes (óxidos de carbono, azufre y nitrógeno) en otras de mayor toxicidad (ozono, ácido sulfúrico, etc.), a esto se le denomina niebla fotoquímica.

La isla de lluvia.

Un fenómeno similar al de la isla de calor se presenta con respecto a la lluvia. Existe un aumento de la misma sobre la ciudad en relación con el campo circundante, fenómeno conocido como "isla de lluvia".

Jáuregui (1974) realiza los primeros estudios sobre este tema en la Ciudad de México, debido a que todos los estudios anteriores al respecto se refieren a ciudades de zonas templadas.

Los factores que provocan cambios en la precipitación de las ciudades son:

- a. El aire sobre la ciudad contiene numerosas partículas en suspensión que funcionan como núcleos de condensación .
- b. La rugosidad de la superficie urbana hace que aumente la turbulencia del aire.
- c. Las diferencias de temperatura entre el campo y la ciudad originan movimientos convectivos del aire.

Jáuregui (1974) indica que los factores rugosidad superficial y convección térmica son más importantes que la contaminación en el desencadenamiento de la lluvia de la Ciudad de México.

Al observar la distribución de la lluvia de un día de la estación húmeda, Jáuregui (1974) encuentra la existencia de una isla de lluvia al SW del centro citadino y decrecimiento concéntrico de la precipitación hacia la periferia. En contra de lo que Jáuregui esperaba, la lluvia decreció hacia la zona montañosa del poniente de la ciudad, debido quizás a que el efecto de los vientos convergentes de los suburbios de la ciudad (circulación local urbana del viento) predominó sobre el efecto orográfico en el ascenso del aire.

Este mismo autor reconoce que la configuración de las isoyetas no siempre presenta la distribución ideal antes mencionada (una isla de lluvia en el centro de la ciudad y disminución concéntrica de la lluvia hacia la periferia) por lo que este fenómeno no es tan generalizado como el de la isla de calor.

CAPITULO 2

EL CLIMA DE LA CIUDAD DE MEXICO

El clima de la Ciudad de México está determinado por diversos factores: la situación geográfica, la altitud y el relieve (García 1968).

La ciudad se encuentra en la parte suroeste de la cuenca del Valle de México, a una latitud de $19^{\circ}30'N$, es decir, al sur del Trópico de Cáncer por lo que se encuentra en la zona intertropical (García 1983). La ciudad se encuentra también bajo la influencia de la faja subtropical de alta presión, la cual se localiza en promedio a los $30^{\circ}N$ (García y Vidal 1981). La zona de los vientos alisios también afecta al clima de la Ciudad de México.

A pesar de encontrarse la ciudad en una zona subtropical, su altitud (2240 msnm) modera su temperatura (Jáuregui 1975) y causa que su clima sea templado subhúmedo (García 1968).

La situación geográfica de la Ciudad de México hace que la circulación de la atmósfera presente en el año dos épocas definidas: una fría y seca y otra cálida y lluviosa.

Circulación General de la Atmósfera.

La Ciudad de México recibe básicamente la influencia de los anticiclones oceánicos del Pacífico Norte y del Atlántico Norte (Bermudas-Azores) que se localizan dentro de la faja subtropical de alta presión; pero también está sujeta a la zona de los vientos alisios (García 1983). De hecho, los desplazamientos estacionales del anticiclón del Atlántico Norte determinan en gran medida el clima de la ciudad (Jáuregui 1975).

Mitad cálido lluviosa del año.

Durante la mitad caliente y húmeda del año (mayo a octubre), la zona subtropical de alta presión se desplaza hacia el norte, dejando con ello que la ciudad quede bajo la influencia de los vientos alisios húmedos que soplan de noreste a suroeste en superficie y de este a oeste en las alturas recogiendo humedad del Golfo de México (García 1983) y haciendo de ésta, una época lluviosa.

Durante la estación lluviosa, la zona intertropical de convergencia (ZIC) del Pacífico Oriental sufre desplazamientos hacia el norte y sur. En julio y agosto, la ZIC se desplaza al sur ocasionando una disminución de la lluvia llamada "sequía intraestival" por Mosiño y García (1968). Otros autores observaron este fenómeno en Centroamérica y le denominaron "canícula" (Jáuregui 1975).

En esta mitad caliente, los ciclones tropicales afectan las condiciones del clima de la ciudad. Los ciclones se originan durante el verano y parte del otoño, alcanzando su mayor frecuencia en septiembre (García 1983).

Mitad fría-seca del año.

Durante los meses de noviembre a abril, tanto la faja subtropical de alta presión como la zona de los vientos alisios se desplazan hacia el sur, por lo que los Vientos del Oeste, característico de la tropósfera alta, son interceptados en su base por la Ciudad de México, debido a su gran altitud. Estos vientos son menos húmedos que los alisios, haciendo que esta época sea seca (García 1983).

Los Vientos del Oeste corresponden a un tipo de circulación anticiclónica asociada a una subsidencia del aire que origina

cielos despejados e inversiones de temperatura en la ciudad (Jáuregui 1975).

En invierno, los Vientos del Oeste acarrearán perturbaciones como vórtices fríos o depresiones ciclónicas que en ocasiones afectan el clima de la ciudad (García 1983). Otra perturbación de estos vientos son la vaguadas que ocasionan mayores fluctuaciones de temperatura en la ciudad, que a su vez causan variaciones en la presión y con ello cambios en la dirección e intensidad del viento sobre el Valle de México. Los vientos intensos en esta época seca provocan la formación de tolvaneras cerca del antiguo Lago de Texcoco (Jáuregui 1975).

Durante esta mitad fría, también alcanzan a afectar el clima de la Ciudad de México, los "nortes" que son vientos del norte que llegan a las costas del Golfo de México. Estos vientos se originan por la invasión de masas de aire polar continental provenientes de Estados Unidos y sur de Canadá (García 1983).

De las invasiones de aire polar que llegan al golfo, sólo un 20 % (según Hill 1969) son suficientemente profundas para causar una lluvia fina en el Valle de México que puede persistir por varios días; pero es más frecuente que estas masas de aire sean secas y produzcan tiempo frío, ventoso y con escasas nubes (Jáuregui 1975).

Temperatura de la Ciudad de México.

Al finalizar el siglo pasado, el Ingeniero Mariano Bárcena (1893) publicó el primer estudio del clima de la Ciudad de México, basado en observaciones de la temperatura media anual realizadas en el Palacio Nacional de 1877 a 1892 (Jáuregui 1971). El promedio de la temperatura anual encontrado por Bárcena para ese período fue de 15.4 °C. La ciudad contaba entonces con 300 mil habitantes, pocas industrias y una cantidad casi nula de automóviles.

De acuerdo con Jáuregui (1971), la temperatura observada por Bárcena a fines del siglo pasado es la misma que se presentó en 1969 en los suburbios del sur y del poniente de la ciudad debido al proceso de urbanización, mientras que en ese mismo año la temperatura del centro citadino fue de 17.0 °C. Un cambio de 1.6 °C en 80 años, lo cual es parcialmente explicado por Jáuregui (1971), al mencionar que con un aire más transparente las pérdidas de calor por radiación nocturna eran mayores y consecuentemente las temperaturas mínimas descendían considerablemente, llegando a ser inferiores a los 0 °C de noviembre a enero.

En un estudio climático de la Ciudad de México (Cruz et.al. 1976) se analizó, entre otros aspectos, el comportamiento de la temperatura media anual durante dos periodos: antes de 1960 y de ese año a 1973. Para este último periodo el valor más elevado encontrado fue de 17.2 °C (promedio de 3 estaciones) para el centro de la ciudad, conformando con ello una isla urbana de calor. En 5 años se ha presentado en la temperatura un cambio de dos décimas de grado con respecto al valor encontrado por Jáuregui en 1971.

En este mismo estudio, Cruz et.al. (1976) nos reportan el valor más bajo encontrado para la temperatura media anual de 12.4 °C promedio de dos estaciones ubicadas en la Sierra de las Cruces, así que la disminución de la temperatura por la altitud es la principal causa del valor observado. La amplitud térmica entre las temperaturas medias anuales del campo y la ciudad fue de 4.3 °C.

En otro estudio climático de la Ciudad de México, que abarca un periodo de 20 años de 1961 a 1980 (Rubi 1991), se hace un estudio comparativo de los resultados obtenidos por Jáuregui en 1971. Rubi (1991) nos reporta una isla de calor de 18 °C para el primer cuadro de la ciudad, es decir, una década después del valor observado por Jáuregui en 1971 la temperatura media anual se ha elevado 1 °C. La diferencia entre el centro de la ciudad y los

suburbios fue, de acuerdo con Rubi (1991), de 3 °C al encontrarse temperaturas de 15 °C en el sur y oeste de la ciudad.

Otro estudio sobre climas de la Ciudad de México (Camacho 1992) realiza un análisis estadístico de las temperaturas medias mensuales de enero y julio y de las temperaturas extremas de ambos meses. Camacho (1992) realizó una matriz de 13 columnas (estaciones) y 21 renglones (años de 1960 a 1985), la cual resolvió mediante un análisis de componentes principales. Esta técnica estadística tiene como finalidad conocer la interdependencia y correlación que existe entre cierto número de variables. Los componentes principales constituyen indicadores de un conjunto de variables originales.

Con respecto a la temperatura media anual, Camacho (1992) nos dice que muestra cierto efecto de la urbanización, sin embargo, los resultados no son muy significativos de acuerdo a las pruebas estadísticas aplicadas.

Un interesante estudio de las condiciones de temperatura de la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es el realizado por Gómez (1993) quien selecciona a un grupo de estaciones urbanas de antes y después del año 1960. Presenta el promedio de la temperatura media anual cada 5 años desde 1960 hasta 1990 y calcula tendencias hasta el año 2015.

En su estudio de las tendencias de la temperatura en la ciudad, Gómez (1993) encuentra que de 1960 a 1975 el centro de la isla de calor correspondió a estaciones que ya eran urbanas antes de 1960. Pero en 1980, los valores más altos de temperatura media anual se presentaron en estaciones que fueron urbanas después de 1960 y que se encuentran principalmente en los municipios conurbados del Estado de México. Este hecho llevó a Gómez (1993) a la conclusión de la existencia de un anillo térmico alrededor de la ciudad.

De 1985 a 1990, Gómez (1993) nos muestra que la isla urbana de calor se presenta alargada de norte a sur sobre la parte oriental de la ciudad, incluyendo estaciones urbanas de antes y después de 1960. La tendencia de la temperatura de 1995 a 2015 señala que la isla de calor continuará localizándose en la misma zona de la ciudad y la estación San Juan de Aragón tendrá los valores más elevados de temperatura (a pesar del bosque), lo cual quizás indique un gran crecimiento de la mancha urbana en la zona desecada del antiguo Lago de Texcoco, en el futuro.

Precipitación de la Ciudad de México.

En uno de sus estudios sobre climas de la Ciudad de México, Jáuregui (1971) menciona que las lluvias son más intensas en la zona de lomeríos del poniente de la ciudad. Según este autor, lo anterior se debe a que, al desarrollo vertical de las nubes originado por la convección producto a su vez de la insolación, se agrega el efecto del levantamiento orográfico que hace que las nubes se eleven a mayor altura causando aguaceros.

En ese mismo estudio, Jáuregui (1971) encontró un valor máximo de intensidad de la lluvia, relacionado con el efecto de la isla de calor, localizado ligeramente al poniente del centro de la ciudad, ya que la isla de calor fomenta movimientos convectivos del aire que se encuentra sobre ella.

Considerando la variación de la precipitación anual para 4 estaciones: 2 urbanas (poniente y centro de la ciudad) y 2 suburbanas (oriente y nororiente); Jáuregui (1974) encuentra que a partir de los años 50s, existe en las 4 estaciones una tendencia al incremento de la precipitación anual, sin embargo, el aumento es más acentuado en las estaciones urbanas debido tanto a las elevadas temperaturas del aire urbano como a la turbulencia que se presenta en la ciudad.

En otro estudio climático del mismo autor (Jáuregui 1975) se divide a la ciudad en 3 zonas de diferente precipitación:

a. Zona poniente-sur.

Esta zona se caracteriza por precipitación abundante en la estación lluviosa, de 700 a 1100 mm, corresponde a las zonas montañosas del poniente y sur de la ciudad.

b. Zona nororiente.

En esta zona se presentan las precipitaciones menos abundantes, de 400 a 600 mm. Además, la cantidad anual de lluvia en esta área tiene una variabilidad mayor.

c. Zona norte-centro.

Es una zona de transición entre las 2 anteriores, presenta precipitaciones de 600 a 700 mm.

En otro estudio de los climas de la Ciudad de México (Cruz, et.al., 1976), se analizaron un total de 29 estaciones (16 del D.F. y 13 del Edo. de México) en 2 períodos (antes de 1960 y de ese año a 1973). Se encontró que el 72 % de las estaciones presentaron un incremento en la precipitación anual con respecto al primer período, mientras que el restante 28 % presentó un decremento. El aumento que registró la precipitación en el período 1960-73 ocurrió en las estaciones situadas en la zona urbana y la disminución se dió en las estaciones de la periferia oriental.

En este mismo estudio (Cruz, et.al., 1976) se realiza un pronóstico de las cantidades de lluvia para 12 estaciones para los años 1980 y 2000. En los valores obtenidos se observa que seguirá existiendo mayor precipitación al poniente de la ciudad, no así en el sur, donde pronostican el mayor decremento de la lluvia. El incremento más considerable de la lluvia se dará justo en el centro de la ciudad. Es hacia el oriente de la ciudad donde lloverá en menor cantidad según este estudio.

Uno de los estudios más completos sobre el comportamiento de la lluvia durante el período 1921 a 1976 en la parte central de México es el realizado por E. García y R. Vidal (1981). Ese

período de tiempo fue el más largo con el que fue posible trabajar.

En este estudio, García y Vidal analizan el comportamiento de la lluvia en 43 estaciones del centro del país, de las cuales 20 estaciones corresponden a la parte sur de la Altiplanicie, por lo que sus resultados son de utilidad para este trabajo sobre la Ciudad de México.

García y Vidal (1981) realizaron gráficas de la distribución de la lluvia para cada una de las estaciones, obteniendo una gráfica tipo a la que se le aplicó el análisis hármonico que tiene por finalidad suavizar los picos de la gran variabilidad de la lluvia, con el objetivo de mostrar las tendencias con mayor claridad.

Los resultados encontrados por García y Vidal (1981) fueron el predominio de un decrecimiento general de la precipitación desde mediados de los años 30s hasta el principio de los 50s, un incremento de ahí a mediados de los 70s (ver Jáuregui 1974 y Cruz et al 1976 que también coinciden con este resultado), y un nuevo decremento desde entonces al presente.

La época má seca encontrada por dichas autoras corresponde a la década de los 40s. Utilizando los datos sobre lluvia más antiguos disponibles (Tacubaya desde 1884 y Palacio Nacional desde 1855), encontraron una época más seca y más larga que la mencionada, que comprende de 1874 a 1920 (46 años).

En otro estudio de los climas de la Ciudad de México, Rubí (1991) nos reporta que los valores más elevados de la precipitación media anual para el período 1961-80 fueron de 800 a 1300 mm y que ocurrieron en las zonas sur y oeste de la ciudad debido al ascenso del aire al chocar con las barreras montañosas de estos lugares. En el centro de la ciudad nos reporta valores de

600-700 m. La menor cantidad de lluvia observada por este autor fue de 560 mm en las cercanías del ex-Lago de Texcoco.

Al comparar los resultados que Rubí (1991) nos muestra con los obtenidos por Jáuregui (1975) se observa que la zona poniente-sur ha registrado un incremento de la precipitación, mientras que las zonas norte-centro y nororiente se mantuvieron sin cambios.

Para la parte suroeste del D.F., Alvarez (1992) nos reporta una precipitación media anual de 800 a 1200 mm que coincide con lo encontrado por Rubí (1991) para esta zona de la ciudad.

Climas de la Ciudad de México.

De los estudios que sobre climas se han realizado, uno de los primeros y más completos es el de la maestra E. García (1964), sin embargo, se mencionará primero un estudio realizado por Jáuregui (1975), debido a que este autor reporta sus resultados en una forma un poco diferente a lo usual que es en términos del sistema modificado.

De acuerdo con Jáuregui (1975), los climas de la Ciudad de México varían desde el semiárido polvoso en el noreste de la ciudad hasta el clima húmedo más benigno y menos extremoso del sector sur. Según el sistema de Köppen (1936) Jáuregui encuentra que, considerando la precipitación, el clima de gran parte de la ciudad es templado subhúmedo Cw, pero hacia el centro del valle las lluvias decrecen, por lo que el clima hacia el este de la capital tiene las características del clima semiárido BS. El límite entre estos dos climas es una precipitación de 600 mm cuando la temperatura anual es de 16 °C.

Para encontrar el mesoclima de la Ciudad de México, Jáuregui (1975) analiza los siguientes elementos del clima: precipitación, temperatura, humedad, vientos e incluye también a la

contaminación. Con el análisis de los elementos anteriores logra establecer 5 zonas climáticas diferentes en la ciudad:

a. La zona centro, en el centro de la ciudad, caracterizada por variaciones térmicas diurnas menos acentuadas, alto nivel de contaminación atmosférica, escasa ventilación de las calles y escasa humedad del aire.

b. Zona de transición, rodeando a la anterior, sus características son: concentración moderada de contaminantes, mayor ventilación, los efectos de la isla de calor sobre la amplitud térmica y la humedad relativa son menos marcados.

c. Zona oriente, corresponde a los suburbios del noreste de la ciudad, es la región que recibe el impacto más fuerte de las tempestades de polvo que ocurren en la estación seca. La ventilación es considerable. Su clima es semiárido BS, las lluvias son escasas y la oscilación térmica diurna es mayor. Es la región climática menos favorable.

d. Zona sur, que comprende los suburbios del sur y suroeste de la ciudad. Predominan las construcciones con gran proporción de espacios abiertos y zonas verdes. Los niveles de contaminación son los más bajos de la ciudad. Es una región bien ventilada y más húmeda.

e. Zona poniente, a pesar de contar con espacios abiertos y áreas verdes, su cercanía con las zonas más contaminadas del norte y centro de la ciudad y su ubicación viento abajo de éstas, hace que esta región tenga niveles de contaminación elevados. En esta zona el clima es más húmedo y menos extremo.

Un estudio sobre las tendencias climáticas de la ciudad de México (Cruz, et. al., 1976), divide el análisis del clima, la temperatura y la precipitación en dos periodos, uno anterior a 1960 y otro de ese año a 1973. Utiliza el sistema de clasificación

de climas de Köppen para obtener los climas del período 1960-73 porque los anteriores a 1960 ya se tenían.

De acuerdo con Cruz, et. al. (1976) de 29 estaciones utilizadas, una mayoría de 21 estaciones conservó el clima Cwb templado subhúmedo en ambos períodos, 4 estaciones mantuvieron su clima semiárido BS, otras 3 estaciones cambiaron de un clima Cwb a uno BS y sólo un caso ocurrió de cambio de clima de BS a Cwb en una estación del centro citadino. El clima BS se presentó principalmente en los municipios conurbados del Estado de México hacia el oriente de la ciudad. El clima Cwb se presentó en el resto de la ciudad y en los municipios del poniente y norponiente.

Como se mencionó anteriormente, el estudio climático más completo es el de la maestra E. García (1964) Es el más completo por diversas razones:

- a. Incluye a todas las estaciones, no sólo del Distrito Federal sino de toda la República Mexicana.
- b. Utiliza los períodos más largos que se encuentran disponibles.
- c. Emplea el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por ella para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana.

Como en el presente estudio se incluyen estaciones del Distrito Federal y del Estado de México conformando la zona geográfica conocida como zona metropolitana de la ciudad de México. Se toman los resultados obtenidos por E. García (1964) para una posterior comparación.

Para el Distrito Federal, E. García (1964) trabajó con 37 estaciones, cuyos períodos de años se encuentran contenidos en otro mayor que va de 1921 a 1980. Del total de estaciones, 16 de ellas tuvieron de 6 a 20 años de datos, 17 estaciones contaron con datos de 21 a 40 años de información y sólo 4 estaciones tienen un período de 46 a 60 años de datos.

Los climas encontrados por E. García (1964) para el Distrito Federal fueron:

a. $Cb'(w_2)(w)$

Clima semifrío subhúmedo, con verano fresco largo, con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos. En 4 estaciones ubicadas en las sierras de Las Cruces y del Ajusco.

b. $Cb(w_2)(w)$

Clima templado subhúmedo, con verano fresco largo, con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos. En 7 estaciones localizadas principalmente en las elevaciones del poniente y sur de la ciudad.

c. $Cb(w_1)(w)$

Clima templado subhúmedo, con verano fresco largo, con lluvias en verano, el intermedio de los subhúmedos. En 11 estaciones ubicadas en los suburbios que circundan la parte céntrica de la ciudad hacia las zonas norte, poniente y sur de la misma.

d. $Cb(w_0)(w)$

Clima templado subhúmedo, con verano fresco largo, con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos. En 7 estaciones de la zona centro de la ciudad.

e. $BS_1kw(w)$

Clima semiseco, templado con verano cálido, con lluvias en verano. En 8 estaciones del oriente de la ciudad.

Del Estado de México, se toma nota sólo de 21 estaciones que están también consideradas en el presente estudio. De dichas estaciones, 10 de ellas tienen de 11 a 29 años de datos, 9 tienen de 30 a 34 años de información y sólo 2 estaciones alcanzan 51 y 56 años.

Los climas encontrados por E. García (1964) para la zona conurbada del Estado de México fueron:

a. $Cb'(w_2)(w)$

En la estación La Marquesa que se localiza sobre la Sierra de las Cruces.

b. $Cb(w_1)(w)$

En 11 estaciones, 5 de ellas localizadas en los municipios del poniente de la ciudad (Tultitlán, Atizapán, Naucalpan) y 6 localizadas al oriente de la ciudad en las inmediaciones de la Sierra Nevada (Texcoco, Chalco).

c. $Cb(w_0)(w)$

En 7 estaciones de municipios conurbados al oriente de la ciudad (Texcoco, Tlalnepantla, Coatepec Olivos).

d. $BS_1kw(w)$

En 5 estaciones ubicadas en municipios conurbados del oriente de la ciudad (Netzahualcoyotl, Los Reyes, Texcoco).

De acuerdo con E. García (1964) en la Ciudad de México y municipios conurbados se presentan en resumen tres tipos de climas, los climas $Cb(w)(w)$ que son templados subhúmedos y se presentan en el centro, norte, sur y poniente de la ciudad; los climas BS_1 semisecos hacia el oriente de la ciudad y el clima $Cb'(w)(w)$ semifrío subhúmedo que se presenta sólo al suroeste de la zona.

CAPITULO 3

METODOLOGIA

Definición de variables.

De acuerdo con Alvarez (1992), en el estudio de un fenómeno cualquiera, la variable independiente es la causa y la variable dependiente es el efecto. Si el fenómeno se quiere expresar mediante una gráfica a la causa le correspondería el eje de las "x" y al efecto el eje de las "y".

En los estudios climáticos, la variable independiente es el tiempo. En este momento es indispensable hacer una aclaración: el tiempo como tal, no es la causa del cambio en los elementos del clima. El tiempo es una variable que sirve para analizar los datos y contar con un lenguaje común para expresarlos.

Por lo tanto, la urbanización se convierte en la variable independiente, la cual, consiste en un proceso de expansión y modificación de diversos aspectos que involucran la estructura total de la sociedad; aspectos económicos, ecológicos, demográficos, sociales, culturales y políticos. Es un fenómeno multidimensional que es una de las mayores expresiones del proceso general de cambio de la sociedad (Quijano, 1968).

Las variables dependientes son la temperatura y la precipitación. La temperatura es una medida de la agitación de las moléculas de un cuerpo, es una medida de la intensidad del calor en un punto, es una condición que determina la transmisión de calor de un cuerpo a otro: del más caliente al más frío (García 1983). La precipitación es la caída de agua en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie.

Como se presentó en el capítulo anterior, existe un buen número de investigaciones publicadas sobre el tema, las cuales en

su totalidad nos presentan o la tendencia climática de la zona de estudio en cuanto a sus elementos por separado (Jáuregui, 1971, 1974, 1975, 1988), o bien reportan el clima prevaleciente en los últimos 30 años aproximadamente (García, 1964; Cruz et.al., 1976; Rubí, 1991; Camacho, 1992).

Si bien, se parte de la idea de que en la zona de estudio existe siempre una tendencia hacia un aumento de la temperatura y una zonificación de la precipitación, se puede suponer por lo tanto que existe una variación del clima, que puede ser tan sólo eso o un verdadero cambio climático.

Ante tal situación, se planteó, desde la Introducción, la necesidad de conocer si existía la presencia de un cambio climático en la zona de estudio.

Delimitación del área de estudio.

Como todo estudio climatológico presentaba en un principio el grave problema de contar con una base de datos suficientemente completa tanto espacial como temporalmente. También la metodología para un análisis semejante (espacial y temporal), que tuviera una validez estadística para el estudio de la información por recabar.

Para solucionar el primer punto, se consideraron 80 estaciones meteorológicas, 46 correspondientes al Distrito Federal y 34 al Estado de México. Los criterios que se tomaron en cuenta para seleccionar las estaciones condujeron a la inclusión del mayor número posible de las mismas.

Estos criterios estuvieron relacionados con la delimitación espacial y temporal del área de estudio. La primera, tomó en cuenta el gran crecimiento que la mancha urbana de la Ciudad de México ha presentado en las últimas décadas, por ello se

incluyeron todas las estaciones meteorológicas del Estado de México que pertenecían a algún municipio conurbado a la ciudad.

El fenómeno de la conurbación se consideró en este trabajo, como una conurbación física, es decir, como la continuidad en la expansión de la mancha urbana. Debido a que otros autores llevan más lejos la concepción de dicho fenómeno, proponen una conurbación a través de los vínculos económicos entre las ciudades, lo cual extiende bastante los límites geográficos de las áreas conurbadas.

La delimitación temporal fue similar a la espacial debido a que se trató de considerar toda la información disponible con el fin de conocer el comportamiento de los elementos climáticos considerados desde la época más remota posible. Se encontró que era posible trabajar con períodos de 10 años considerados entre 1921 y 1990.

Es importante mencionar que el período de 10 años con el cual se trabajó cada uno de los mapas, fue elegido debido principalmente a que la información recabada de una estación durante 10 años es estadísticamente suficiente para poder realizar una clasificación climática de la zona sin caer en el error de enmascarar una fluctuación climática de corto tiempo. También debido a que la elección de períodos de análisis más pequeños, llevaría a la generación de un número considerable de mapas que dificultarían el análisis de los resultados obtenidos.

Por lo que respecta al año de inicio (1921), se eligió debido a que durante estos primeros años la ciudad no presentaba un crecimiento urbano importante y aunque el número de estaciones no cubría ampliamente la zona de estudio, se consideró lo suficientemente completo como para cumplir los objetivos, lo cual se comprobaría durante el desarrollo de la investigación.

En el cuadro No. 1, se presentan el número de estaciones y el parámetro que monitoreó cada una de ellas durante el periodo de estudio, como se puede observar la cantidad de estaciones empleadas mejoró visiblemente en las últimas 4 décadas alcanzando un cubrimiento de la zona de estudio bastante aceptable.

CUADRO No. 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en cada década.

| | | D é c a d a | | | | | | |
|---------------|---|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Elemento | | 20s | 30s | 40s | 50s | 60s | 70s | 80s |
| Edo.de México | T | 2 | 3 | 11 | 14 | 26 | 30 | 31 |
| | P | 5 | 7 | 14 | 17 | 33 | 35 | 34 |
| D.F. | T | 6 | 6 | 7 | 14 | 25 | 35 | 36 |
| | P | 6 | 8 | 8 | 20 | 36 | 48 | 46 |

Procedimiento.

Se analizaron datos mensuales de temperatura media y de precipitación total (SMN 1993 y Godínez, comunicación personal) de 46 estaciones meteorológicas del Distrito Federal y de 34 estaciones que corresponden a municipios del Edo. de México que se encuentran conurbados al D.F. Los periodos de años que abarca cada estación son diversos pero todos corresponden a un periodo global que va de 1921 a 1990. La finalidad de considerar la mayor cantidad posible de estaciones de la ciudad y su zona conurbada fue la de lograr el mayor cubrimiento espacial del área.

Para cada estación meteorológica se obtuvo el valor promedio de la temperatura media mensual y de la precipitación total mensual durante un periodo de 10 años. Debido a que se pretendía conocer el desarrollo de los cambios que la ciudad ha causado en los elementos del clima, dicho periodo de años permite relacionar información climática con datos de tipo social como población, actividades económicas, crecimiento de la mancha urbana; datos contenidos en censos levantados en el mismo periodo.

Con los valores promedio por década, se dibujaron 7 mapas de isotermas y 7 de isoyetas correspondientes al período 1921-1990. Cabe mencionar que las primeras 3 décadas (1921-50) contaron con menos estaciones porque la estructuración de la red meteorológica nacional se encontraba en formación. En consecuencia, los mapas correspondientes a estas décadas sólo deben tomarse como punto de partida y referencia para evaluar los cambios en el clima en décadas recientes.

Posteriormente, de acuerdo con el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado para adaptarlo a las condiciones de México (García, 1964), se determinó el clima de cada estación meteorológica para cada 10 años y se elaboraron 7 mapas de climas.

El análisis de los mapas de isotermas, isoyetas y climas se hizo primero en forma individual, analizando cada elemento del clima considerado; después se hizo un análisis conjunto sobreponiendo los mapas de cada variable climática para tratar de encontrar correlaciones espaciales.

ESTACIONES METEOROLOGICAS DEL DISTRITO FEDERAL

| No. | NOMBRE | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD (m) |
|-----|------------------------|---------|----------|-------------|
| 01 | Presa Anzaldo | 19°19' | 99°13' | 2400 |
| 02 | Km. 6+250 Gran Canal | 19 29 | 99 05 | 2250 |
| 03 | Cincel 42 | 19 25 | 99 07 | 2240 |
| 04 | Col. Escandón | 19 24 | 99 11 | 2245 |
| 05 | C.F.E. | 19 25 | 99 10 | 2240 |
| 06 | D. de los Leones | 19 19 | 99 18 | 3200 |
| 07 | Desv. Alta al Pedregal | 19 18 | 99 14 | |
| 08 | Morelos 77 | 19 22 | 99 05 | 2240 |
| 09 | Jardín B. Chapultepec | 19 26 | 99 11 | 2240 |
| 10 | Presa Mixcoac | 19 22 | 99 14 | 2240 |
| 11 | Moyoguarda | 19 17 | 99 06 | 2240 |
| 12 | Hacienda Peña Pobre | 19 18 | 99 11 | 2300 |
| 13 | Milpa Alta | 19 11 | 99 01 | 2420 |
| 14 | Tacubaya | 19 24 | 99 12 | 2309 |
| 15 | Presa Tacubaya | 19 24 | 99 13 | 2320 |
| 16 | La Venta | 19 20 | 99 18 | 2400 |
| 17 | Egipto 7 | 19 29 | 99 11 | 2260 |
| 18 | Mosqueta 52 | 19 27 | 99 08 | |
| 19 | Col. Tacuba | 19 28 | 99 11 | |
| 20 | Aeropuerto Internal. | 19 26 | 99 05 | 2234 |
| 21 | Ajusco | 19 13 | 99 12 | 2839 |
| 22 | Aguiles Serdán 46 | 19 29 | 99 12 | |
| 23 | Calvario 61 | 19 17 | 99 10 | |
| 24 | Col. Agrícola Orient. | 19 24 | 99 06 | |
| 25 | Col. América | 19 24 | 99 12 | |
| 26 | Col. Sta Ursula Coapa | 19 19 | 99 09 | |
| 27 | Cuajimalpa | 19 22 | 99 18 | 2750 |
| 28 | Cuauhtepc Barrio B. | 19 33 | 99 08 | |
| 29 | Hacienda La Patera | 19 30 | 99 09 | |
| 30 | Km 3+000 Gran Canal | 19 27 | 99 06 | |
| 31 | Col. Moctezuma | 19 25 | 99 06 | |
| 32 | Playa Caleta 454 | 19 23 | 99 08 | |
| 33 | Col. Santa Fe | 19 23 | 99 14 | |

ESTACIONES METEOROLOGICAS DEL DISTRITO FEDERAL

| No. | NOMBRE | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD (m) |
|-----|----------------------|---------|----------|-------------|
| 34 | S.Francisco Tlalne. | 19° 12' | 99° 07' | 2600 |
| 35 | S.Gregorio Atlapulco | 19 15 | 99 03 | 2200 |
| 36 | Col.S.Juan de Aragon | 19 28 | 99 05 | |
| 37 | San Lorenzo | 19 10 | 99 02 | |
| 38 | Santa Ana | 19 10 | 99 00 | |
| 39 | Tacuba 7, Centro | 19 26 | 99 07 | |
| 40 | Tarango | 19 21 | 99 14 | |
| 41 | Tláhuac | 19 16 | 99 06 | |
| 42 | Unidad Modelo | 19 22 | 99 07 | |
| 43 | Vertedor Milpa Alta | 19 11 | 99 01 | |
| 44 | Xoco | 19 22 | 99 10 | |
| 45 | I.N.I.F., Coyoacán | 19 23 | 99 10 | |
| 46 | Monte Alegre | 19 13 | 99 17 | |
| 47 | Puente La Llave | 19 27 | 99 09 | |
| 48 | Versalles 19 | 19 26 | 99 09 | |
| 49 | Col. Educación | 19 20 | 99 08 | |

ESTACIONES METEOROLOGICAS DEL ESTADO DE MEXICO

| No. | NOMBRE | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD (m) |
|-----|----------------------|---------|----------|-------------|
| 01 | Atenco, Texcoco | 19° 33' | 98° 55' | 2253 |
| 02 | Chapingo, Texcoco | 19 30 | 98 53 | 2250 |
| 03 | La Grande, Texcoco | 19 32 | 98 53 | 2300 |
| 04 | Presa Guadalupe | 19 38 | 99 15 | 2350 |
| 05 | Molinito | 19 27 | 99 15 | 2296 |
| 06 | Molino Blanco | 19 29 | 99 13 | 2266 |
| 07 | Netzahualcoyotl | 19 36 | 99 00 | 2278 |
| 08 | Los Reyes, La Paz | 19 22 | 98 59 | 2300 |
| 09 | San Andrés, Texcoco | 19 31 | 98 54 | 2250 |
| 10 | San Juan Ixhuatepec | 19 31 | 99 07 | 2300 |
| 11 | San Luis Ameca | 19 11 | 98 58 | 2450 |
| 12 | El Tejocote, Texcoco | 19 27 | 98 54 | 2700 |
| 13 | Tepepan | 19 37 | 98 55 | 2300 |
| 14 | Texcoco | 19 31 | 98 53 | 2353 |

ESTACIONES METEOROLOGICAS DEL ESTADO DE MEXICO

| No. | NOMBRE | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD (m) |
|-----|----------------------|---------|----------|-------------|
| 15 | Totolica (S.Bartolo) | 19°28' | 99°15' | 2325 |
| 16 | Calacoaya | 19 32 | 99 14 | 2300 |
| 17 | Chalco | 19 16 | 98 54 | 2240 |
| 18 | Magdalena Chichicapa | 19 25 | 99 19 | |
| 19 | La Marquesa | 19 19 | 99 20 | 3060 |
| 20 | Las Arboledas | 19 34 | 99 13 | |
| 21 | Camp.Plan L.Textcoco | 19 27 | 99 00 | |
| 22 | Coatepec Olivos | 19 23 | 98 51 | 2400 |
| 23 | Col. V. Guerrero | 19 37 | 99 20 | |
| 24 | Chapingo | 19 29 | 98 54 | |
| 25 | Chiconautla | 19 39 | 99 00 | |
| 26 | Chimalhuacán | 19 25 | 98 56 | |
| 27 | Km 2+120 (Bombas) | 19 34 | 99 01 | |
| 28 | Km 27+250 Gran Canal | 19 40 | 99 04 | |
| 29 | Presa Las Ruinas | 19 35 | 99 17 | |
| 30 | Presa Totolica | 19 27 | 99 17 | |
| 31 | El Salitre | 19 30 | 99 18 | |
| 32 | San Bartolito | 19 24 | 99 19 | |
| 33 | San Martín Obispo | 19 37 | 99 11 | |
| 34 | San Mateo Tecoloapan | 19 35 | 99 12 | |
| 35 | Tec. Agrop. 32 | 19 15 | 98 54 | |
| 36 | Ixtapaluca | | | |

C A P I T U L O 4

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL CLIMA

Antes de realizar el análisis de la información cartográfica que se presenta es necesario tener en cuenta que, durante todo el período de la investigación, el número de estaciones de las décadas estudiadas fue variable tanto espacial como temporalmente; por ello la densidad de estaciones nunca fue la misma en la zona de estudio en los últimos 70 años.

Para la década 1921-1930 se contó con la información de 8 estaciones, para el siguiente decenio con 9 estaciones, pero para las siguientes dos décadas se incorporaron 9 estaciones, llegando a 18 durante 1941-1950 y a 27 en 1951-1960; después se presenta un incremento de 24 estaciones, el más importante de todo el período, llegando a 51 en 1961-1970; después se da otro aumento de 14 estaciones para alcanzar 65 en 1971-1980; y finalmente, 66 estaciones para el último decenio.

Cabría preguntarse entonces si la densidad o la distribución de las estaciones afectaron el trazo de las isotermas. En efecto, una baja densidad e inadecuada distribución de las estaciones causó problemas en las primeras 4 décadas del estudio; sin embargo, se dibujaron primero los mapas de los períodos con mayor riqueza de datos y después los de menor, aprovechando la experiencia que dejó el trazo de los primeros.

Al final de cada inciso se anexan los 7 mapas de cada uno de los elementos climáticos analizados (temperatura y precipitación) y también los 7 mapas de climas, todos ellos en orden cronológico.

Análisis de la temperatura.

Los primeros mapas que se elaboraron fueron los correspondientes a las temperaturas medias anuales, en los cuales se pueden observar diferentes cambios tanto en la distribución de las isotermas como en los valores de las mismas.

Temperatura media anual 1921-30.

En el mapa correspondiente al decenio 1921-1930, existe una distribución de isotermas "esperada", ya que la temperatura en el valle es 4 °C más elevada que en las partes altas; conforme aumenta la altura de las sierras que limitan al sur (la Sierra del Ajusco) y al oeste (la Sierra de las Cruces) de la Ciudad de México, la temperatura disminuye; la isoterma mínima registrada es la de 12 °C, que corre de sur a norte sobre la Sierra de las Cruces; a medida que va disminuyendo la altitud, paralela a la mencionada isoterma, corren las correspondientes a los 13 y 14 °C, mientras que los máximos valores registrados 15 y 16 °C se circunscriben al valle, en la zona correspondiente a Tacubaya y Centro de la ciudad, encontrándose también un valor máximo de 16 °C en Texcoco, Estado de México.

Es posible, en determinado momento generalizar, este comportamiento de temperatura, es decir, la existencia de valores máximos en el valle mientras que en las partes altas los valores mínimos son predominantes.

Temperatura media anual 1931-40.

Durante el siguiente decenio 1931-1940, el mapa se elaboró con 9 estaciones y la distribución de las isolíneas fue muy semejante a la década anterior; en este caso los valores mínimos registrados se localizan sobre las sierras del oeste de la Ciudad de México; pero la isoterma mínima registrada, la de 10 °C, disminuyó en 2 °C con respecto a la anterior; además, entre las

estaciones Desierto de los Leones y Tacubaya se presenta una diferencia de temperatura mayor de 5 °C, que causa una mayor densidad de las isotermas que corren paralelas por la parte serrana occidental de la zona de estudio. Los valores máximos alcanzan los 17 °C en una pequeña área alargada hacia el sureste de la estación Col. Escandón un aumento de 1 °C en relación al anterior; las isotermas de 15 y 16 °C aumentaron hacia el sureste su área de cobertura.

Temperatura media anual 1941-1950.

El mapa que corresponde al decenio 1941-1950, muestra un cambio en la distribución de las isotermas mínimas, los valores que van de los 11 a los 15 °C tienen una disposición similar a la de los mapas anteriores desde la parte sur de la zona y hasta la estación Chapultepec, pero las isolíneas sufren en este punto una inflexión hacia el noroeste, y ya no continúan hacia el norte por la sierra ya referida. Jáuregui (1971) ya se había referido a este fenómeno como indentaciones frías. Se presentó un descenso de 1 °C en la temperatura mínima, en tanto que el valor máximo (17 °C) permaneció igual que en el período anterior. Los máximos se localizaron en la parte más urbanizada de la ciudad, pero con un alargamiento de las isotermas de 16 y 17 °C hacia el noreste del área llegando hasta la estación Gran Canal.

Temperatura media anual 1951-60.

Durante la década de 1951-1960, el comportamiento de las isotermas mínimas vuelve a la distribución observada durante los primeros decenios, aunque las isolíneas de los 11 a los 15 °C continúan teniendo una inflexión hacia la estación Chapultepec los valores mínimo y máximo no registran cambio alguno con respecto a los 11 y 17 °C del decenio anterior. Pero los valores máximos sí sufren una modificación tanto en su distribución como en su extensión, la isoterma máxima de 17 °C se localiza una vez más sobre la zona tradicionalmente más caliente de la ciudad, ahora en

una pequeña zona alargada en sentido oeste-este, que incluye las estaciones Col. Escandón y Cincel 42, por otra parte, las zonas con valor de 16 °C incrementan su extensión hacia el noroeste en dirección de la estación Presa de Guadalupe incluyendo a las estaciones Azcapotzalco y Tacuba, pero no sólo se incrementó en dicha dirección sino también ligeramente hacia el este, hasta incluir la estación Los Reyes, y otro incremento pequeño hacia el oeste, hacia las Presas Mixcoac y Anzaldo; también es posible observar que existe otra pequeña zona con valores máximos de 15 y 16 °C, localizada al este del área de estudio, entre las estaciones Texcoco y Chapingo.

Temperatura media anual 1961-70.

Durante el decenio 1961-1970, los valores de las isotermas extremas permanecieron igual en 11 y 17 °C; algo importante que destacar del presente mapa, es que las isotermas de 11 a 14 °C, que corren a lo largo de las sierras del oeste y del sur del Valle de México, vuelven a presentar la modificación observada en la década de 1941-50 es decir, a los 19°25' de latitud, dichas isotermas cambian su dirección predominante norte-sur por la de noroeste-sureste. Por otra parte, debido a que por vez primera se contó con una adecuada densidad de 51 estaciones, las isoclinas se hicieron un poco más complejas; esto fue evidente en los cambios de extensión y distribución que sufrieron las isotermas de 15, 16 y 17 °C; fue la primera ocasión que se observó al valor de 15 °C correr por la parte norte del área de estudio en dirección este-oeste incluyendo las estaciones Tapexpan y Arboledas la isoterma de 16 °C se redujo en su anterior extensión hacia el noroeste, pero a cambio, se extendió hacia el noreste y sureste; la isoterma máxima de 17 °C se ha dividido en dos áreas pequeñas, una manteniéndose casi sobre el área original y la otra se ha formado hacia el norte de la anterior. También es posible observar que el otro valor máximo localizado al este de la zona en la estación Texcoco, se ha venido manteniendo, sin sufrir cambio aparente, desde la década pasada.

Temperatura media anual 1971-1980.

En el mapa correspondiente a los años 1971-1980, se presentaron algunas variantes importantes con respecto a la disposición de las isotermas en comparación con periodos anteriores. En este mapa aparecen por primera vez: valores máximos de 18 °C en 3 pequeñas áreas correspondientes a las estaciones Azcapotzalco, Col. Moctezuma e Ixtapalapa; y valores mínimos de 8 °C en la estación Monte Alegre (por primera ocasión se contó con datos de esta estación), con lo cual la diferencia de temperatura entre la zona urbana y la rural se incrementa a 10 °C.

En el mismo decenio, se encontró que los valores mínimos sobre la pendiente de las sierras del sur y del oeste de la ciudad, que en el mapa anterior cambiaron bruscamente su dirección hacia el oeste, definen su trayectoria un poco más en este periodo, siendo ahora de noroeste a sureste. Por otra parte, los valores máximos aumentan su área de cobertura, las isotermas de 17 °C presentes en 2 pequeñas áreas se reafirman en el mismo lugar y se extienden un poco para contener en ellas a las zonas con 18 °C mencionadas anteriormente.

Además, en la estación Gran Canal surge un nuevo lugar con 17 °C; en tanto que, al noroeste del mapa se observan valores máximos de 15 y 16 °C por la estación Presa de Guadalupe. Por último, el valor máximo de 15 °C que se venía manteniendo al este de la zona, en Texcoco, se ha fusionado con la isoterma de 15 °C y sólo perdura la zona de 16 °C.

Temperatura media anual 1981-1990.

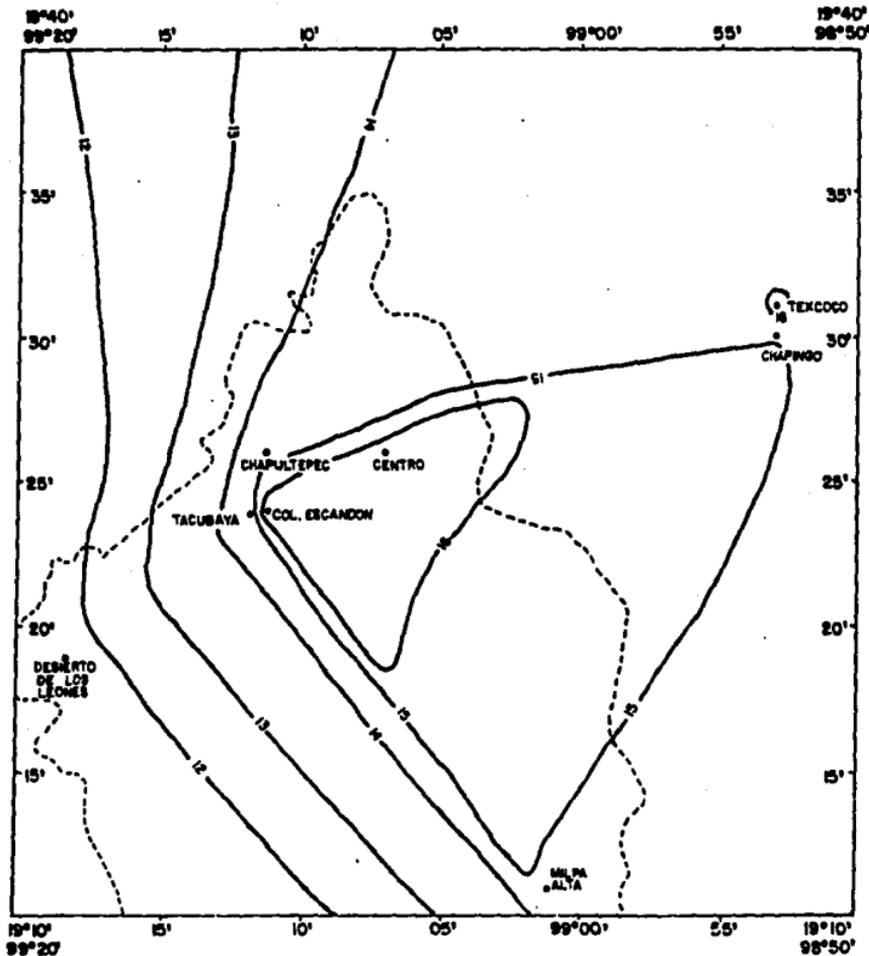
Durante el último decenio de análisis 1981-1990, los valores extremos de las isotermas se mantuvieron igual que durante el periodo anterior, 8 °C en Monte Alegre y en 3 áreas con 18 °C, con lo que la diferencia de temperatura entre ciudad y campo sigue

siendo de 10 °C. De las 3 zonas con 18 °C, 2 de ellas ya existían y es posible que sean permanentes de ahora en adelante, son las estaciones Azcapotzalco y Moctezuma; la tercera apareció en un lugar diferente, antes estuvo en la estación Ixtapalapa ahora se ubica en la Col. Escandón.

La disposición de las isotermas mínimas, se mantiene igual que en los últimos 3 decenios, a lo largo de las sierras de las Cruces y del Ajusco, en dirección sureste-noroeste. Aunque existe un desplazamiento hacia el oeste de las isotermas de 8 a 15 °C en diversas latitudes de la parte occidental del área de estudio. Las isotermas de 8 a 13 °C se desvían al oeste de los 19°15' a los 19°25', mientras que las isotermas de 14 y 15 °C lo hacen hasta los 19°35'.

Para el mismo decenio, las isotermas de 15 y 16 °C amplían su cobertura; en el mapa se puede observar que las áreas con valores de 17 °C existentes en el centro de la ciudad, aumentan de 3 a 4; la que se encontraba en el noroeste permanece ahí y sólo crece un poco, la del este se consolida y aumenta considerablemente su extensión hacia el sur, en cambio, la del sur se divide en dos más pequeñas. Tres de las isotermas de 17 °C contienen valores máximos de 18 °C. Por último, la isoterma de 16 °C que se había mantenido al este de la ciudad, sufrió un ligero desplazamiento hacia el sur de su origen, de la estación Texcoco a Chapingo, pero aun se mantiene como un valor aislado.

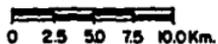
MAPA No. 1 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DURANTE 1921-1930
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS



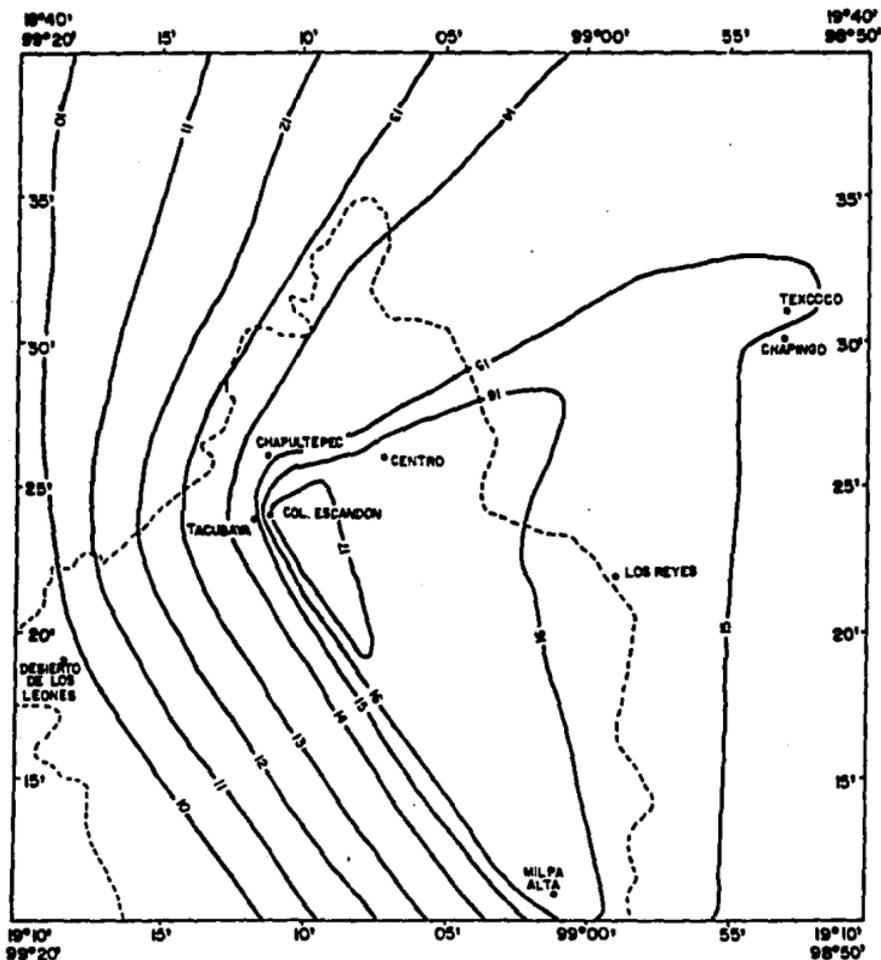
SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isotermos (°C)
- Límite estadal

ESCALA



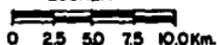
MAPA No. 2 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DURANTE 1931-1940
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS



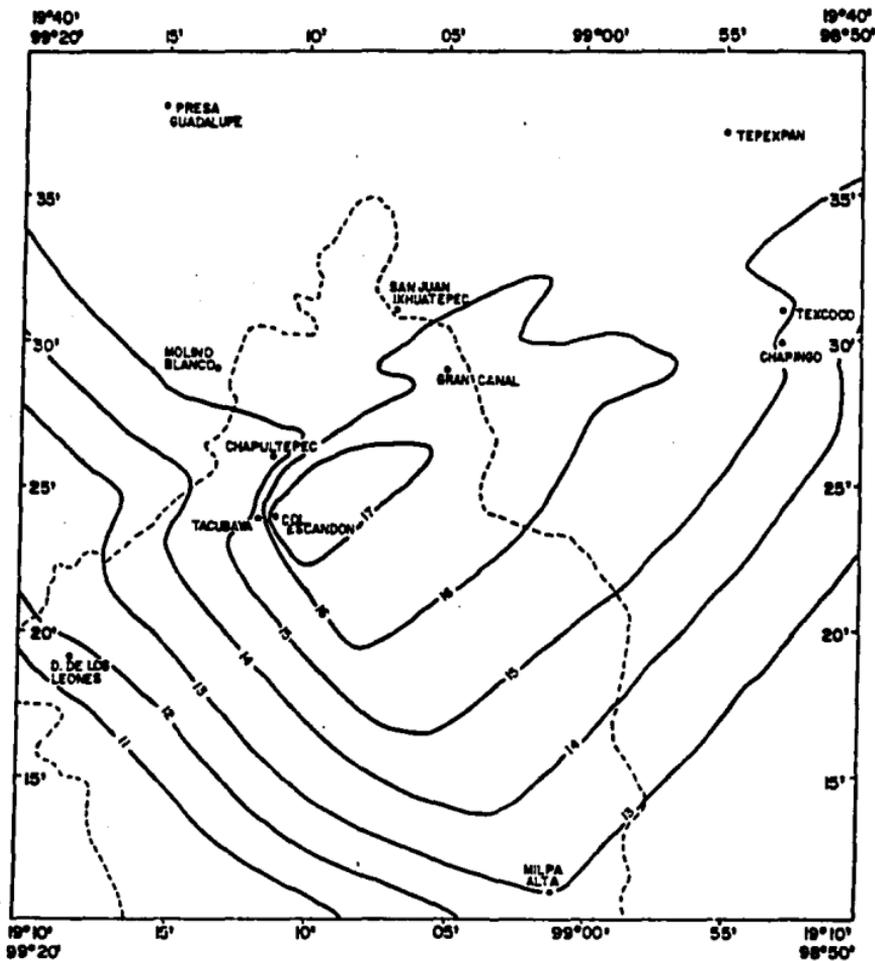
SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isotermas (°C)
- Límite total

ESCALA



MAPA No. 3 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DURANTE 1941-1950
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS

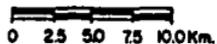


SIMBOLOGIA:

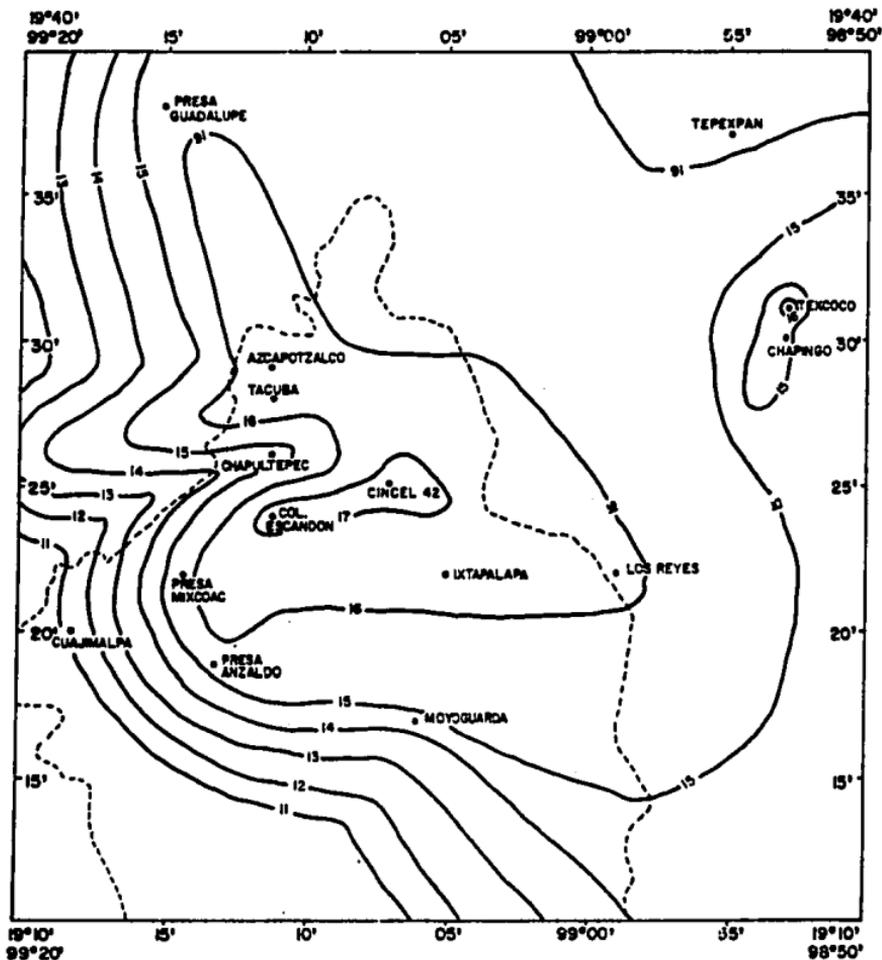
- Estación meteorológica
- Isotermas (°C)
- Límite estatal

45

ESCALA



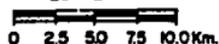
**MAPA No. 4 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DURANTE 1951-1960
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS**



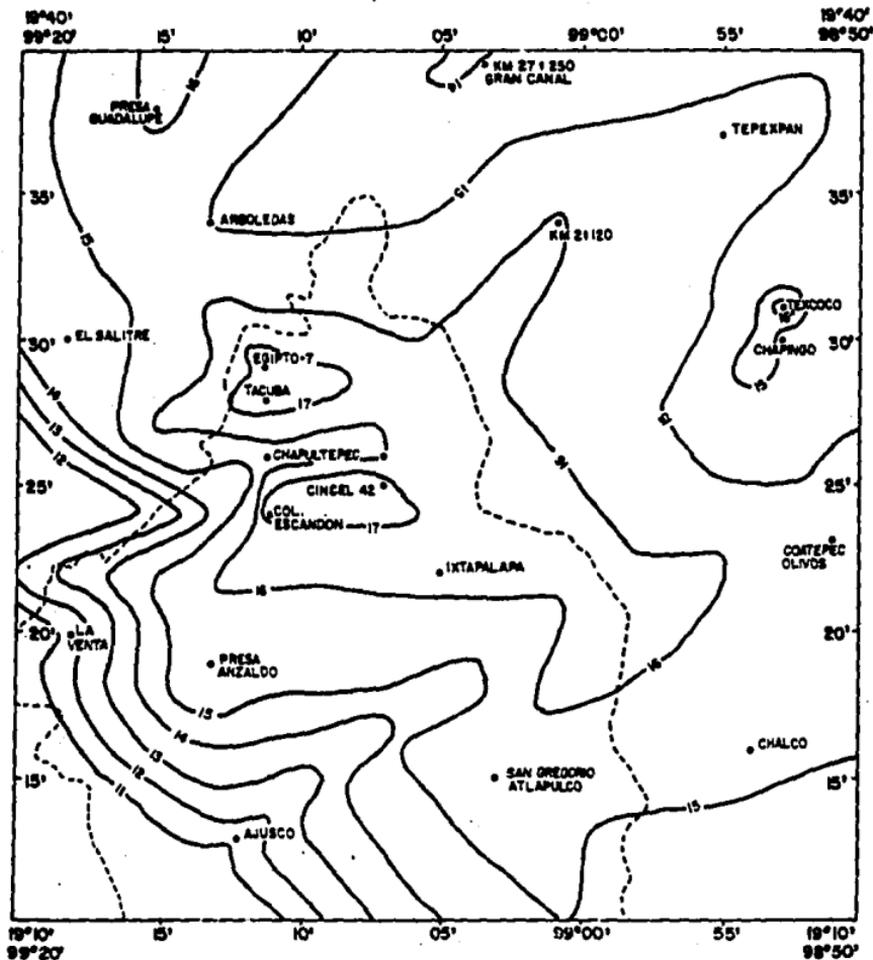
SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isotermas (°C)
- Límite estatal

ESCALA



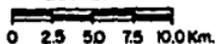
MAPA No. 5 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DURANTE 1961-1970
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS



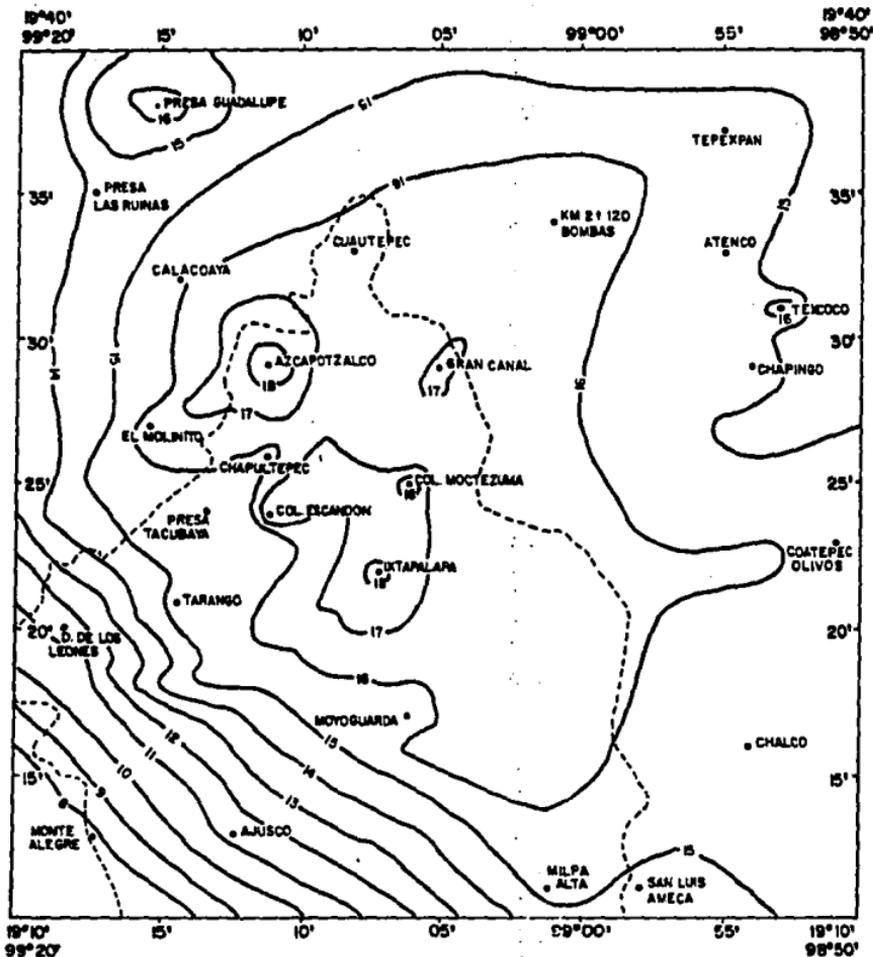
SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isotermas (°C)
- - - Límite estival

ESCALA



MAPA No. 6 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DURANTE 1971-1980
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS

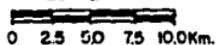


SIMBOLOGIA:

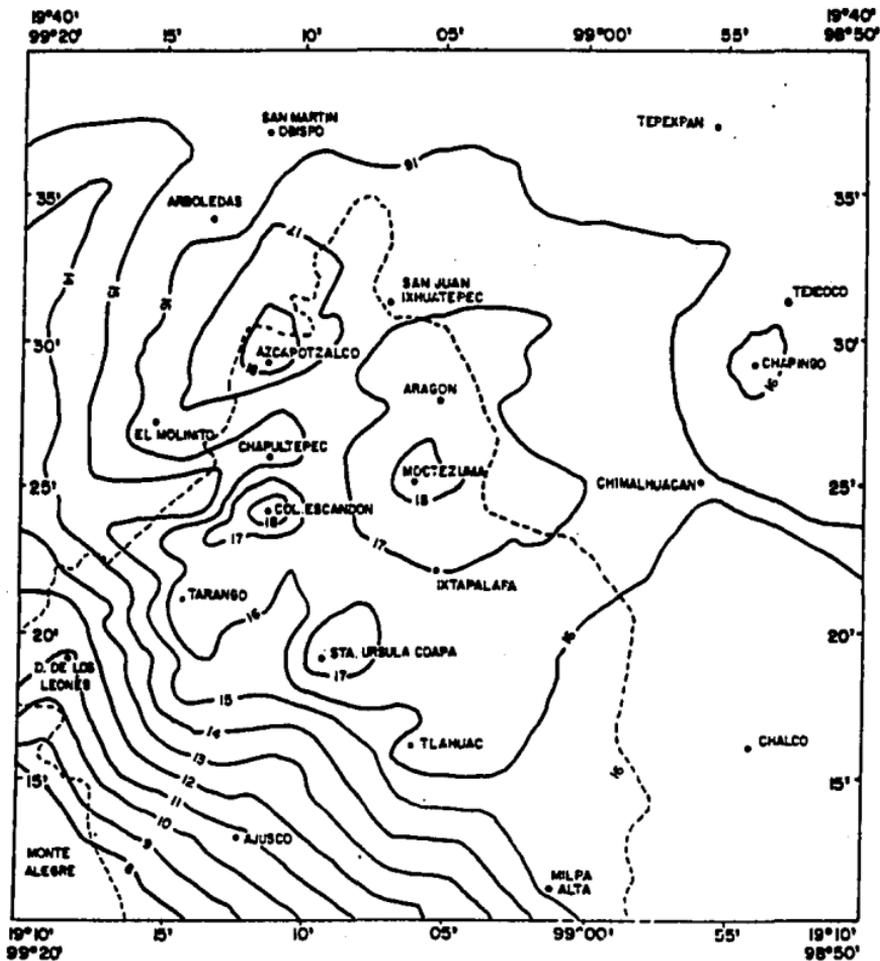
- Estación meteorológica
- Isotermas (°C)
- Límite estatal

48

ESCALA



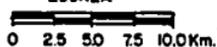
**MAPA No. 7 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DURANTE 1981-1990
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS**



SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isotermas (°C)
- - - Límite estatal

ESCALA



Análisis de la precipitación.

A continuación se realizará el análisis de los mapas de isoyetas, los cuales se elaboraron cada diez años, desde 1921 hasta 1990, ocupando para ello, el promedio de la precipitación total anual de cada estación para la década en turno.

De modo similar a como sucedió con los mapas de isoterms, las primeras 2 décadas contaron con información insuficiente para poder trazar las isoyetas.

Para el trazo de las isolíneas se seleccionaron rangos de 100 mm para la precipitación y de 1 °C para la temperatura. Además, la variabilidad espacial de la temperatura es mayor que la de la precipitación; por ello, es posible lograr una mayor confiabilidad en el trazo de las isoyetas con un menor número de estaciones; así, el mapa de la década 1941-1950 presenta ya las características de distribución de la lluvia que se esperaban.

Todos los períodos considerados comparten una característica en común, que los valores máximos de lluvia se presentan en las áreas montañosas del sur y oeste de la Ciudad de México, mientras que los menores registros de precipitación se circunscriben al valle. Es un comportamiento inverso al de las isoterms, ya que donde existen las menores temperaturas se presenta la mayor cantidad de lluvia.

Gran parte de la lluvia producida en esta región es debida a la presencia de las barreras orográficas, las masas húmedas de aire ascienden al chocar contra ellas, se enfrían adiabáticamente y condensan en forma de lluvia. A esta lluvia orográfica se agrega además la de tipo convectivo que ocurre durante la temporada lluviosa.

Precipitación total anual 1921-30.

En el mapa del decenio 1921-30 se observa que la mínima precipitación se presenta en torno a la estación Netzahualcoyotl, mientras que la lluvia máxima se encuentra hacia el suroeste del área de estudio en la estación Desierto de los Leones. La mínima es de 600 mm y la máxima es de 1300 mm, por lo que la diferencia entre ambas es de 700 mm de precipitación.

Las isoyetas máximas se localizan en las sierras del sur y del oeste de la ciudad, y corren en dirección sureste-noroeste. Dos isoyetas, las de 700 y 800 mm de precipitación siguen paralelamente la dirección de los valores máximos, pero éstas se ubican en la parte central de la zona de estudio. Lo anterior, hace que el valor mínimo de 600 mm se encuentre desplazado hacia el este-noreste en Netzahualcoyotl, Edo. de México.

Precipitación total anual 1931-40.

Para el siguiente decenio 1931-40, se presentó un incremento de 11 a 15 en el número de estaciones, con ello se logró una mejor definición de las isoyetas intermedias de 600 a 800 mm de lluvia, las cuales en su porción norte corrieron a lo largo de la Sierra de las Cruces al noroeste del mapa, para después cruzar el centro de la ciudad en dirección noroeste-sureste.

El valor mínimo es ahora de 500 mm, menor en 100 mm con respecto a la década anterior; mientras que el valor máximo de 1300 mm de precipitación se presenta al suroeste de la ciudad en el área de encuentro de las sierras de las Cruces y del Ajusco. La ubicación de ambos valores es la misma que en el período anterior, la menor lluvia en Netzahualcoyotl y la mayor en Desierto de los Leones. El rango de diferencia entre ambas es de 800 mm.

Precipitación total anual 1941-50.

Durante la década 1941-50, existe en la densidad y distribución de las isoyetas, dos cambios fundamentales que destacar: el primero relativo al cambio en la densidad, el número de isolíneas en la parte montañosa del sur y oeste de la ciudad se incrementó, en los periodos anteriores corrían a lo largo de esta zona las isoyetas de 800 a 1300 mm, ahora son dos isoyetas más las de 700 y 1400 mm de precipitación. El segundo cambio es referente a la distribución de las isolíneas, la isoyeta mínima se desplazó considerablemente hacia el noroeste, hasta la estación San Juan Ixhuatepec y la isoyeta de 600 mm se desvía del centro hacia el sureste de la ciudad.

El valor mínimo continua siendo el de 500 mm de precipitación por tercer decenio consecutivo, pero ahora el valor máximo llegó a 1400 mm, incrementándose en 100 mm con respecto al periodo anterior. La diferencia entre ambos fue de 900 mm, la mayor diferencia registrada hasta el momento.

La mayor cercanía de las isolíneas en las sierras del sur y del oeste de la ciudad, definen el origen orográfico de las lluvias en este periodo, ya que en la parte más céntrica de la ciudad el espaciamiento de las isoyetas es bastante considerable, de hecho la ciudad es atravesada principalmente por la isoyeta de 600 mm en dirección noroeste-sureste.

Precipitación total anual 1951-60.

En el mapa correspondiente al decenio 1951-60, se observa que el área con valor mínimo de 500 mm se incrementa a 600 mm de lluvia, además se desplaza ligeramente hacia el sureste pero incrementa en modo considerable su extensión; esta área de valores mínimos incluye a las estaciones Tepexpan, San Juan de Aragón y Agrícola Oriental. Los valores máximos se presentan en la zona ya conocida, siendo el mayor de ellos el de 1300 mm de precipitación,

en la estación La Venta, Cuajimalpa. Con lo anterior, se tiene un rango de diferencia de lluvia de 700 mm entre las serranías y el valle.

La presencia de una pequeña área con 800 mm de lluvia en el centro-norte de la ciudad, origina un contorno caprichoso para la isoyeta de 700 mm, la cual circunda paralela, en sus porciones norte y sur, a la línea de 600 mm.

Las isolíneas máximas disminuyen su densidad, regresan al espaciamiento que tenían en las primeras décadas; abarcan de los 800 a los 1300 mm de precipitación, se localizan en la zona elevada ya referida con anterioridad; el número de isoyetas que ocupan esta zona disminuyó en 2 con respecto al decenio anterior.

Precipitación total anual 1961-70.

Para la década 1961-70, se encontró que el valor mínimo fue de 600 mm de lluvia, es decir, no hubo cambio en relación con el decenio anterior; el área de valor mínimo se extendió principalmente hacia el noroeste pero también un poco hacia el sur. El valor máximo tuvo un considerable incremento de 200 mm de precipitación, para llegar a los 1500 mm (este valor se encontró exclusivamente en este período); este máximo se localiza en la parte suroeste, correspondiente a la zona de conjunción de las sierras de las Cruces y del Ajusco; la estación La Marquesa registró la mayor precipitación, 1576 mm, de todo el período que abarca esta investigación (1921-1990). El rango entre los valores extremos de precipitación fue de 900 mm.

La isoyeta de 700 mm, a la par con la de 600, extendió también su área de cobertura hacia el noroeste y sureste, pero en su porción central no tuvo modificaciones importantes y continuo pasando por esa parte de la ciudad en dirección noroeste-sureste.

Desapareció la pequeña porción de 800 mm de lluvia que se encontraba en el centro-norte de la ciudad. Pero permaneció como inflexión de la isoyeta de 700 mm por Chapultepec.

A partir de las estaciones Cuajimalpa y Ajusco, la variabilidad de la lluvia es mayor con el incremento de la altitud, esto se hace evidente al observar la presencia de 5 isoyetas en la zona, las que van de los 1100 a los 1500 mm de precipitación. Estas líneas representan los valores máximos para este período.

Precipitación total anual 1971-80.

En el mapa correspondiente al decenio 1971-80 se observan a primera vista cambios sustanciales en la distribución de las isoyetas. El valor mínimo continúa siendo el de 600 mm de precipitación, pero su extensión no sólo ha decrecido notoriamente sino que ha derivado en 2 pequeñas áreas; una situada en la parte noreste del área de estudio que incluye en su límite más occidental a la estación Aeropuerto y en su parte oriental a la estación Tepexpan, y otra pequeña área, localizada al sur de la primera, en cuya parte central se encuentra la estación Los Reyes y que tiene aun menor dimensión que aquélla. El valor máximo disminuyó a 1300 mm y se localiza en el lugar montañoso habitual, al suroeste de la ciudad. La diferencia entre los valores extremos de precipitación decreció hasta los 700 mm.

Las isoyetas de 700 y 800 mm cruzan la parte central del área de estudio en dirección noroeste-sureste, presentando 3 ligeras ondulaciones en su porción central y una ondulación mayor en su parte sur. Los valores máximos de 900 a 1300 mm de precipitación se encuentran ligeramente desplazados hacia el noroeste y distribuidos con menor densidad con respecto al período anterior, es decir, existe mayor espaciamento entre isoyetas.



Precipitación total anual 1981-90.

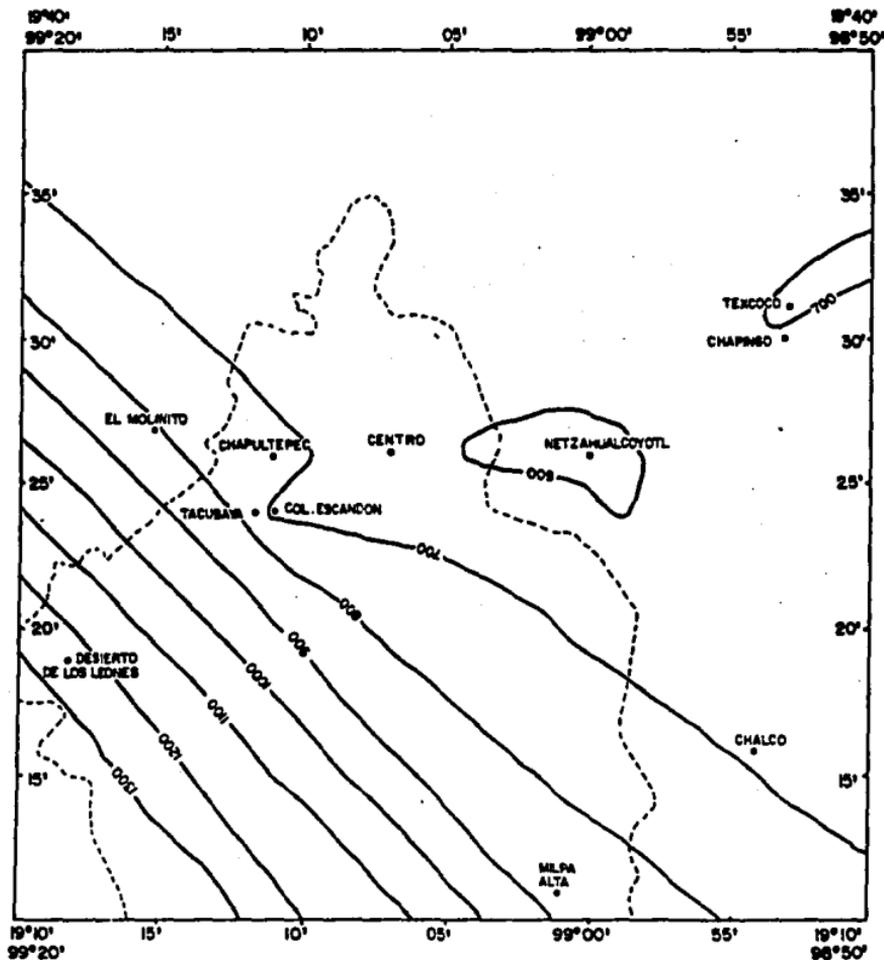
El último mapa correspondió a la década 1981-90, en el cual se observan cambios bastante pronunciados con respecto a la configuración de las isoyetas en periodos anteriores. El aspecto más general, el que se refiere a la presencia de los valores máximos en las sierras del sur y del oeste de la ciudad y de los mínimos en el valle, ése, sigue siendo aun válido. Los cambios para este periodo son notables a simple vista, sobretudo la aparición de varias áreas cerradas ó islas de menor precipitación distribuidas principalmente en el centro y este de la zona de estudio, y es precisamente en esta zona y por la presencia de las islas que, las isoyetas siguen contornos sumamente caprichosos.

Entre estas islas cabe mencionar aquéllas que corresponden al valor mínimo de 500 mm de precipitación, valor mismo que reaparece después de 3 décadas de ausencia. Existen 3 pequeñas áreas con dicho valor y otra de mayor extensión al este-sureste de la ciudad, correspondiente a las estaciones Los Reyes e Ixtapaluca. Las otras 3 áreas corresponden a las estaciones "Km 2+120", Col. Agrícola Oriental y otra más al este de Chapultepec.

El valor máximo es la isoyeta de 1300 mm de lluvia, se localiza en la zona sureste de la ciudad, aunque existe una área reducida que alcanzó los 1400 mm, por los 19°20' de latitud norte. La diferencia entre los valores extremos fue de 800 mm.

Las isoyetas de 600 y 700 mm de precipitación, atraviesan la parte central del área de estudio, aunque sus contornos son bastantes sinuosos, en una dirección norte-sur predominantemente. Por último, se presentaron 2 islas de lluvia de 800 mm en la parte centro-oeste de la ciudad, ambas cercanas a Tacubaya.

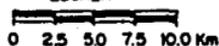
MAPA No. 8 PRECIPITACION TOTAL ANUAL DURANTE 1921-1930
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS



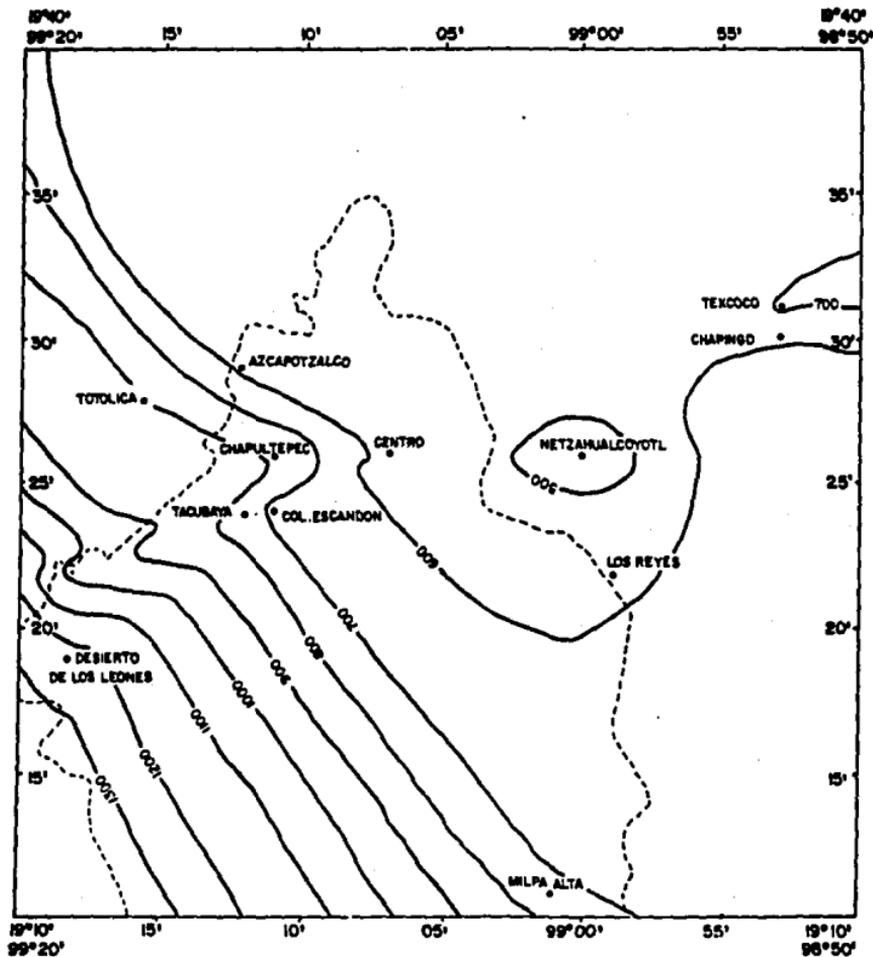
SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isoyetas (mm)
- Límite estatal

ESCALA



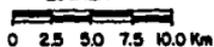
MAPA No. 9 PRECIPITACION TOTAL ANUAL DURANTE 1931-1940
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS



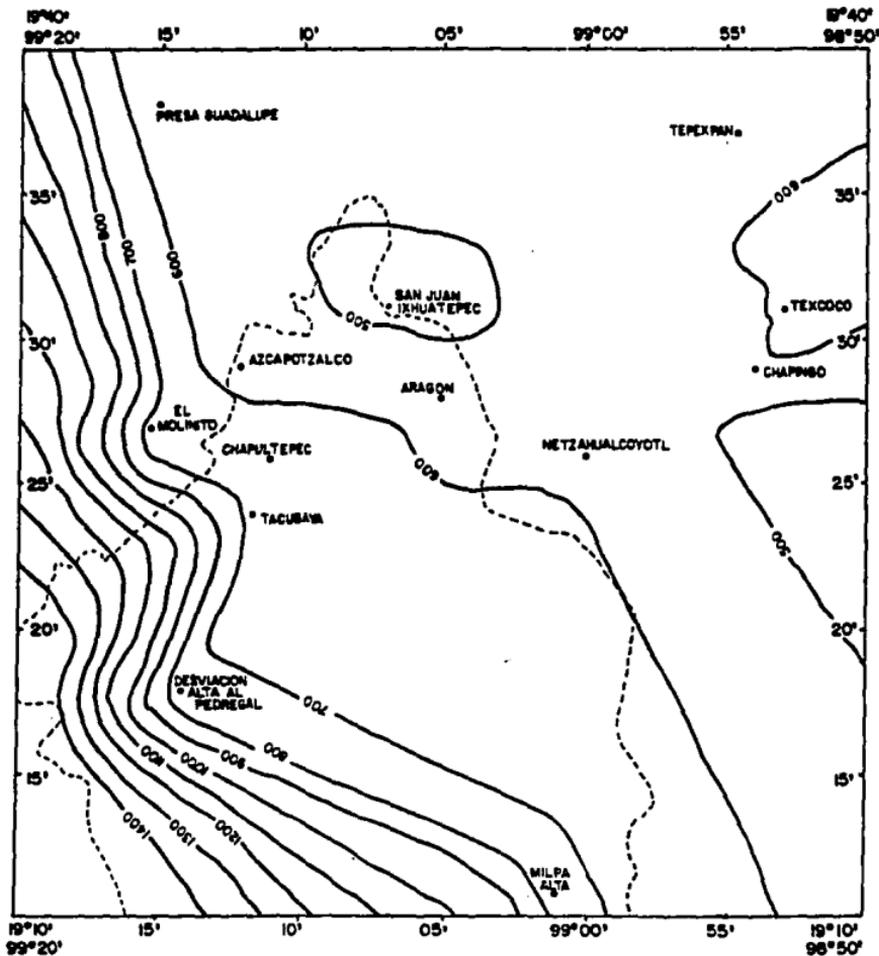
SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológico
- Isoyetas (mm)
- Límite = actual

ESCALA



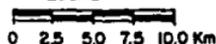
MAPA No. 10 PRECIPITACION TOTAL ANUAL DURANTE 1941-1950
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS



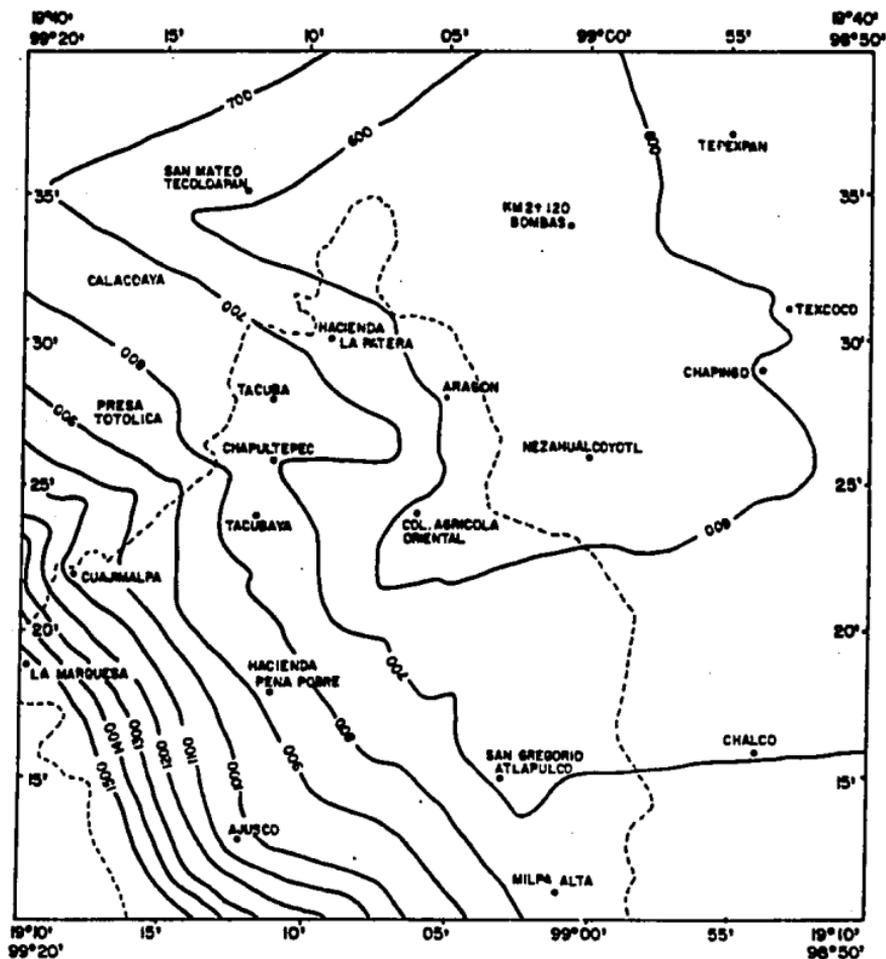
SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isoyetas (mm)
- Límite estatal

ESCALA



MAPA No. 12 PRECIPITACION TOTAL ANUAL DURANTE 1961-1970
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS

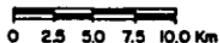


SIMBOLOGIA:

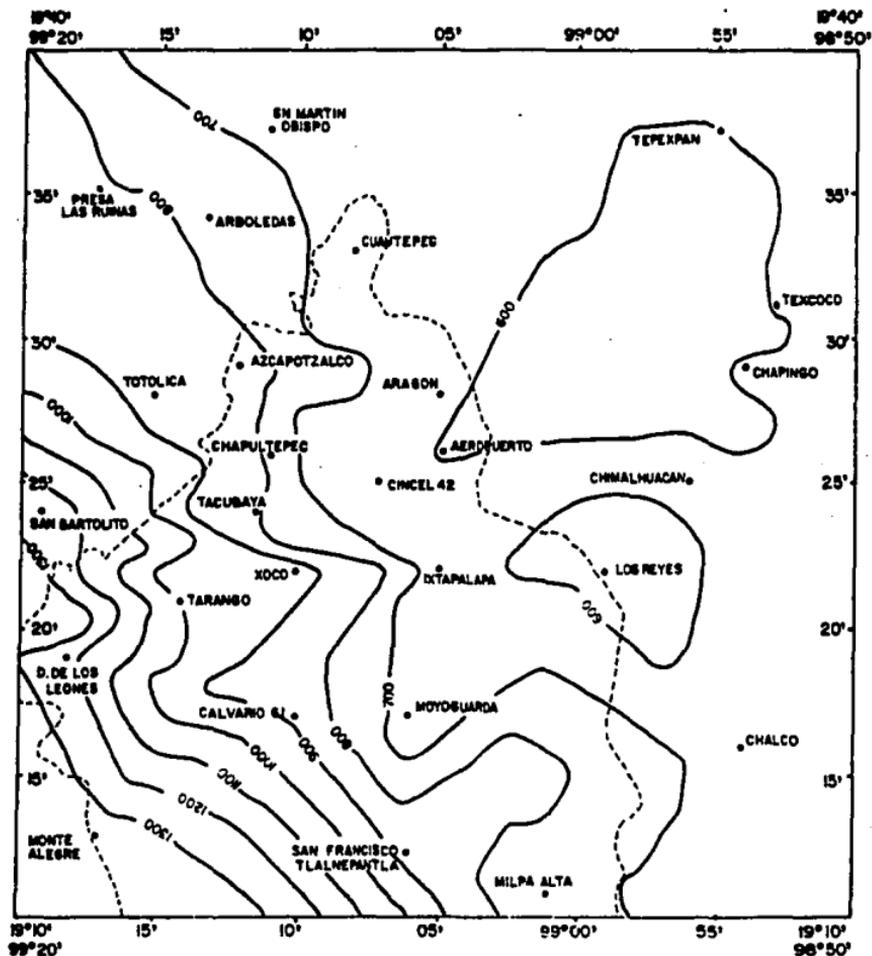
- Estación meteorológica
- Isoyetas (mm)
- Límite estatal

60

ESCALA

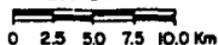


MAPA No. 13 PRECIPITACION TOTAL ANUAL DURANTE 1971- 1980
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS

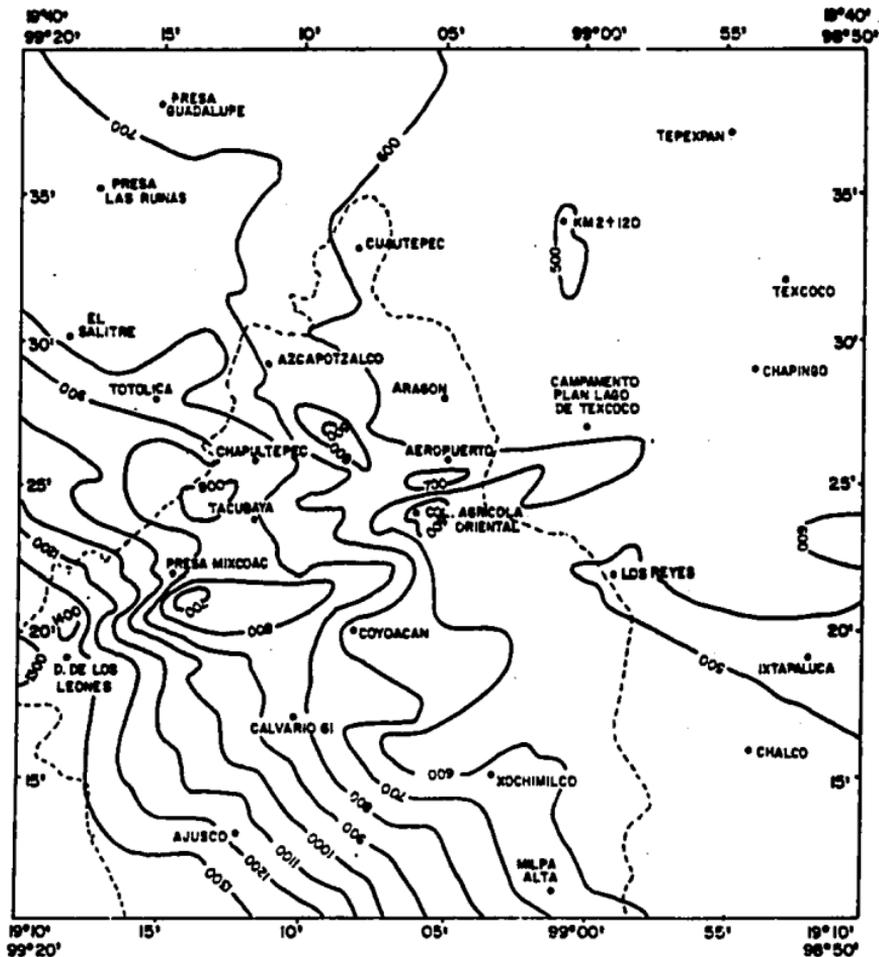


Simbología:

- Estación meteorológica
- Isoyetas (mm)
- Límite estatal



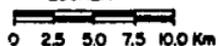
**MAPA No.14 PRECIPITACION TOTAL ANUAL DURANTE 1981 - 1990
EN LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS CONURBADOS**



SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- Isoyetas (mm)
- Límite estatal

ESCALA



Análisis del clima.

En esta parte de la investigación se estudian las principales características que presentaron los climas de la Ciudad de México y municipios conurbados de 1921 a 1990. La clasificación climática se realizó de acuerdo con el sistema de Köppen modificado por E. García para adaptarlo a las condiciones de nuestro país.

Al igual que en el mapa de isotermas, las observaciones que se hacen de las primeras dos décadas deben tomarse con reservas debido a que se cuenta con poca información que permita obtener conclusiones confiables. A partir de la década 1941-50 en que se tienen 18 estaciones ya es un poco más factible emitir juicios al respecto.

Se trabajó con estaciones del Distrito Federal y del Estado de México, pero sólo se dibujaron algunas de ellas en los mapas a través de un punto, el límite estatal se señala con una línea punteada, se utilizaron líneas negras discontinuas para indicar las isotermas en las diferentes zonas térmicas y líneas negras continuas que indican los grados de humedad, isolíneas que indican iguales valores del cociente P/T ó índice de aridez.

Para todas las estaciones y en todas las décadas se encontró que presentan un régimen de lluvias de verano, debido a que para cada una de ellas, el mes más seco del año tuvo 10 veces menor precipitación que su correspondiente mes más húmedo de la mitad caliente del año.

Climas 1921-30.

Para estudiar el primer decenio 1921- 1930, se contó con 8 estaciones climatológicas, en las que resultó para todas clima templado con régimen de lluvias de verano. En cuanto a su grado de humedad toda la zona es subhúmeda dividida en tres niveles:

- w_0 el más seco de los subhúmedos,
- w_1 el intermedio de los subhúmedos, y
- w_2 el más húmedo de los subhúmedos.

En cuanto a sus características térmicas se divide en dos tipos:

- Cb templado con verano fresco largo y
- Cb' semifrío con verano fresco largo.

En el mapa se observa que la zona de clima semifrío más subhúmedo $Cb'(w_2)(w)$ se localiza en el suroeste de la zona de estudio, mientras que la zona templada más subhúmeda $Cb(w_2)(w)$ se localiza en las Sierras del Ajusco y de las Cruces. Paralela a esta zona y en dirección hacia el noreste, o hacia el centro del Valle de México aparece la zona templada con subhúmedad intermedia $Cb(w_1)(w)$. Al noreste se observa, ocupando más del 25 % de la zona de estudio, a la zona templada menos subhúmeda $Cb(w_0)(w)$. Hay una pequeña zona de clima $Cb(w_1)(w)$ dentro de la gran zona de $Cb(w_0)(w)$ en los alrededores de la estación Texcoco donde la presencia del lago quizá ocasionó mayor humedad.

Climas 1931-40.

En el decenio 1931-1940 se observa nuevamente la presencia de los tres niveles de climas templados subhúmedos y de los dos térmicos. El comportamiento de los elementos del clima coincide en que las menores temperaturas y las mayores precipitaciones suceden en las partes más altas hacia las sierras del sur y del poniente de la zona de estudio.

Destaca la aparición de una zona $BS_1kw(w)$ de clima semiseco que abarca desde el centro de la Ciudad de México, de la estación Col. Centro hacia el este-sureste a la estación Los Reyes, Estado de México. La aparición de este nuevo clima $BS_1kw(w)$ provoca un desplazamiento hacia el sur de las zonas de clima $Cb(w_1)(w)$ y $Cb(w_0)(w)$ en el sureste de la zona de estudio.

Por lo demás no hay variación, el clima $Cb'(w_2)(w)$ que es semifrío el más subhúmedo se presenta hacia el oeste en la Sierra de las Cruces y hacia el sur en la Sierra del Ajusco. Persiste la presencia de la pequeña zona $Cb(w_1)(w)$ de Texcoco.

Es importante señalar el surgimiento del clima semiseco como uno de los fenómenos climáticos importantes de este trabajo que, como se verá más adelante, corrobora la relación entre la urbanización y el cambio a un clima BS_1 de gran parte de la región.

Climas 1941-50.

Durante la década 1941-1950 se observan nuevamente los tres niveles de humedad de los climas subhúmedos y las dos características térmicas Cb y Cb' , aunque esta última sólo en la estación Desierto de los Leones, lo que ocasiona que la isoterma de $12^\circ C$ sufra un desplazamiento hacia el suroeste reduciendo su extensión en forma importante.

Por otra parte, la zona $BS_1kw(w)$ semiseca que se detectó el decenio anterior, se extiende hacia el este y noreste de la zona de estudio en forma considerable, algo digno de mencionarse como uno de los cambios climáticos más importantes de todo el período estudiado, incluye al este la estación Chapingo y al noreste incluye la estación Tepexpan.

Como el crecimiento del área con clima $BS_1kw(w)$ se dió al este y noreste, la isolínea que divide el $Cb(w_1)(w)$ del $Cb(w_0)(w)$ se desplazó hacia el norte recuperando la posición que tuviera en la primer década estudiada. También la isolínea divisoria entre $Cb(w_2)(w)$ y $Cb(w_1)(w)$ imitó este comportamiento.

Se insiste por última vez en el comportamiento general de la presencia de mayor humedad en las partes más elevadas y clima Cb'

semifrío en las mismas altitudes. También, por tercer década consecutiva aparece el $Cb(w_1)(w)$ muy próximo al $BS_1kw(w)$ que podría corresponder al Lago de Texcoco.

Climas 1951-60.

A lo largo del decenio 1951-1960, aun se tiene la presencia de los tres tipos de templados subhúmedos, del $BS_1kw(w)$ semiseco, y en cuanto a las características térmicas, la zona es predominantemente Cb templada con verano fresco largo y sólo posee una pequeña área ubicada al suroeste con clima Cb' semifrío con verano fresco largo. La línea divisoria de las zonas térmicas se mantiene sin cambio con respecto al decenio anterior.

El área $BS_1kw(w)$ decrece principalmente lo que había avanzado hacia el este pero sigue conservando su extensión hacia el norte, debido a que la estación Chapingo ya no resultó BS_1 sino Cbw_0 , esto favoreció el crecimiento de la zona $Cb(w_0)(w)$ hacia el sur de la misma. La disposición de datos de tres estaciones nuevas: Ixtapalapa, Moyoguarda y Los Reyes, favoreció un mejor trazo de la línea divisoria entre $Cb(w_0)(w)$ y $Cb(w_1)(w)$ al sur-sureste de la zona de estudio.

Desaparece la pequeña zona con clima $Cb(w_1)(w)$ que se encontró por tres décadas consecutivas al este-noreste del área de estudio, en lo que fue el Lago de Texcoco.

Climas 1961-70.

Durante la década 1961-1970, las dos zonas térmicas no sufren modificación alguna, la zona $Cb'(w_2)(w)$ se presenta en el mismo lugar y con similar extensión, mientras que las estaciones con clima $Cb(w)(w)$ templado subhúmedo con verano fresco largo, se presentan en el resto de la zona a excepción del área que ocupa el BS_1kw .

En cuanto a las características de humedad pueden mencionarse dos cambios fundamentales: el surgimiento de una zona con clima húmedo (obsérvese que no es subhúmedo) hacia el suroeste de la zona de estudio, que corresponde a la estación Monte Alegre de la que se dispuso por primera vez de datos; eso hace pensar en la posibilidad de que este tipo de clima existiera antes pero no se contaba con los datos; el otro cambio importante es el crecimiento hacia el sureste y norte del clima BS_1kw .

La pequeña área con clima $Cb(w_1)(w)$ que se ha estado presentando en la zona de Texcoco, vuelve a manifestarse.

Climas 1971-80.

En el decenio comprendido de 1971-1980 se siguen presentando los tipos climáticos húmedo, $w_{0,1,2}$ subhúmedos y BS_1 semiseco; ocupando todos ellos similares extensiones. Pero el BS_1kw cambia sólo un poco su distribución; la pequeña área $Cb(w_1)(w)$ al noreste deja de presentarse por segunda ocasión en lo que va del estudio, debido a que el clima de la estación Texcoco se hizo más seco $Cb(w_0)(w)$.

En cuanto a los aspectos térmicos se tiene que la zona $Cb'(w_2)(w)$ presenta una similar extensión y ubicación que en décadas anteriores. Aparecen dos pequeñas áreas con temperatura media anual mayor de $18^\circ C$ pero cuyas estaciones siguen teniendo clima Cb , al igual que el resto de la zona, esto se debe a que considerando la temperatura media de los meses más frío y más caliente, se encontró que estas estaciones cumplían mejor con los parámetros de un Cb con los de un $A(C)$ que es semicálido.

El clima de la estación Monte Alegre es $Cc(m)$ semifrío húmedo con verano fresco corto, es primera vez que se tienen datos de ella, por lo que no se puede saber si este clima existía antes.

Climas 1981-90.

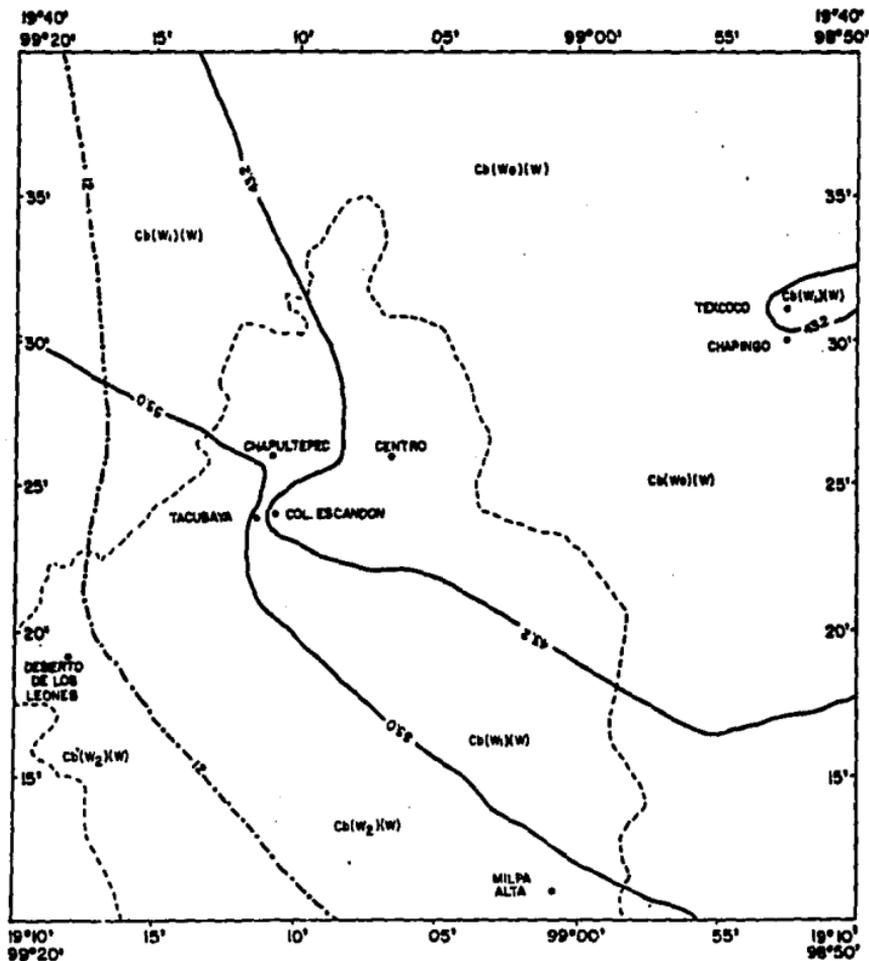
Finalmente, en la década 1981-1990 no se tienen cambios en cuanto a las características de clima semifrío, se sigue presentando la zona Cb' con semejante ubicación y extensión (dentro de esta se presenta un clima Cc en Monte Alegre). A pesar de existir tres áreas con temperatura media anual mayor de 18 °C, el resto de la zona de estudio tiene clima Cb a excepción de las zonas BS₁.

Las zonas Cb(w₀)(w), Cb(w₁)(w) y Cb(w₂)(w) sin cambios importantes, pero si es digno de mención que el BS₁kw(w), que aparecía tradicionalmente en el centro-este y noreste del valle se haya extendido considerablemente hacia el norte y este de la Ciudad de México. Este es otro de los incrementos del clima semiseco más importantes de todo el período debido a la gran conurbación de esta década. Es también importante mencionar el surgimiento de otro BS₁k'(w) al sureste correspondiendo con el desarrollo urbano de Chalco. Ambas áreas con clima semiseco se encuentran separadas por una franja con clima Cb(w₀)(w).

La ausencia de barreras orográficas al norte y este de la Ciudad de México, aunado a la presencia de adecuadas vías de comunicación (carreteras México-Pachuca y México-Puebla), han ayudado al crecimiento urbano, el cual se encuentra en estrecha relación con los climas BS₁kw(w).

Hay una pequeña zona con clima Cb(w₀)(w) dentro de la gran zona de BS₁kw(w) que corresponde a la estación Col. Moctezuma y a la isoterma de 18 °C, su presencia es un poco rara ya que a mayores temperaturas y menores precipitaciones se producen climas semisecos.

MAPA No. 15 CLIMAS DE LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS
CONURBADOS DURANTE 1921-1930

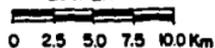


SIMBOLOGIA:

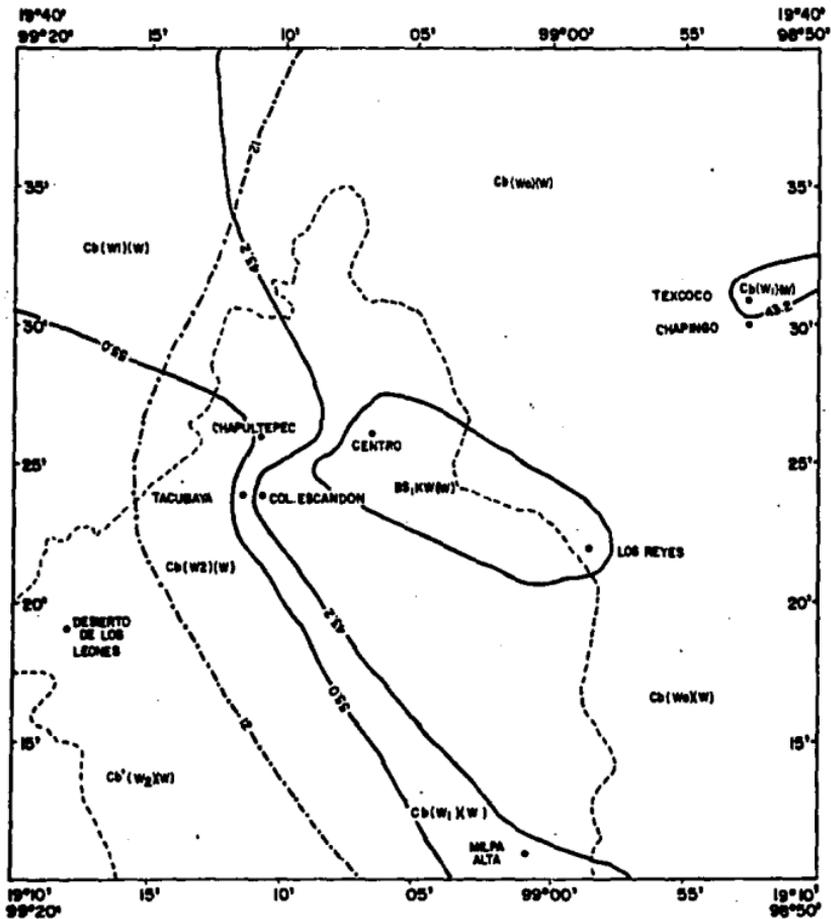
- Estación meteorológica
- Isotermas (°C)
- Índice de aridez (P/T)
- Límite estatal

69

ESCALA



MAPA No. 16 CLIMAS DE LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS
CONRIBUADOS DURANTE 1931-1940

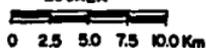


SIMBOLOGIA:

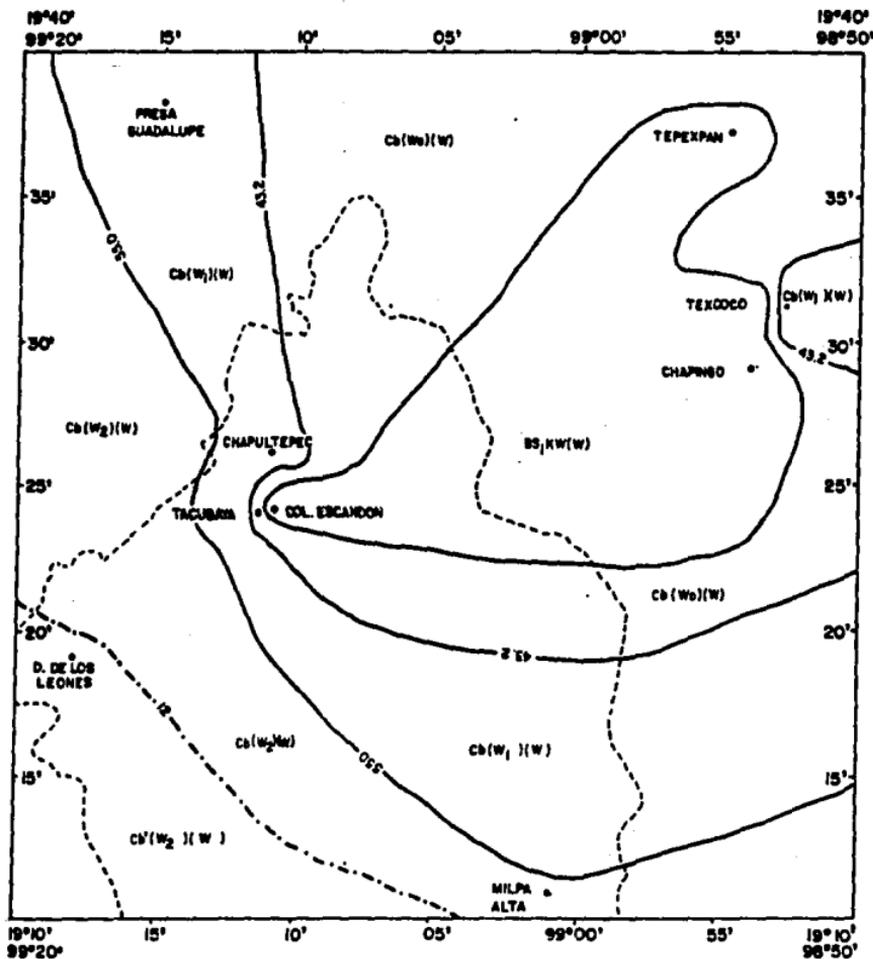
- Estación meteorológica
- isotermas (°C)
- índice de aridez (P/T)
- Límite estacional

70

ESCALA



MAPA No. 17 CLIMAS DE LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS
CONURBADOS DURANTE 1941-1950

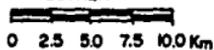


Simbología:

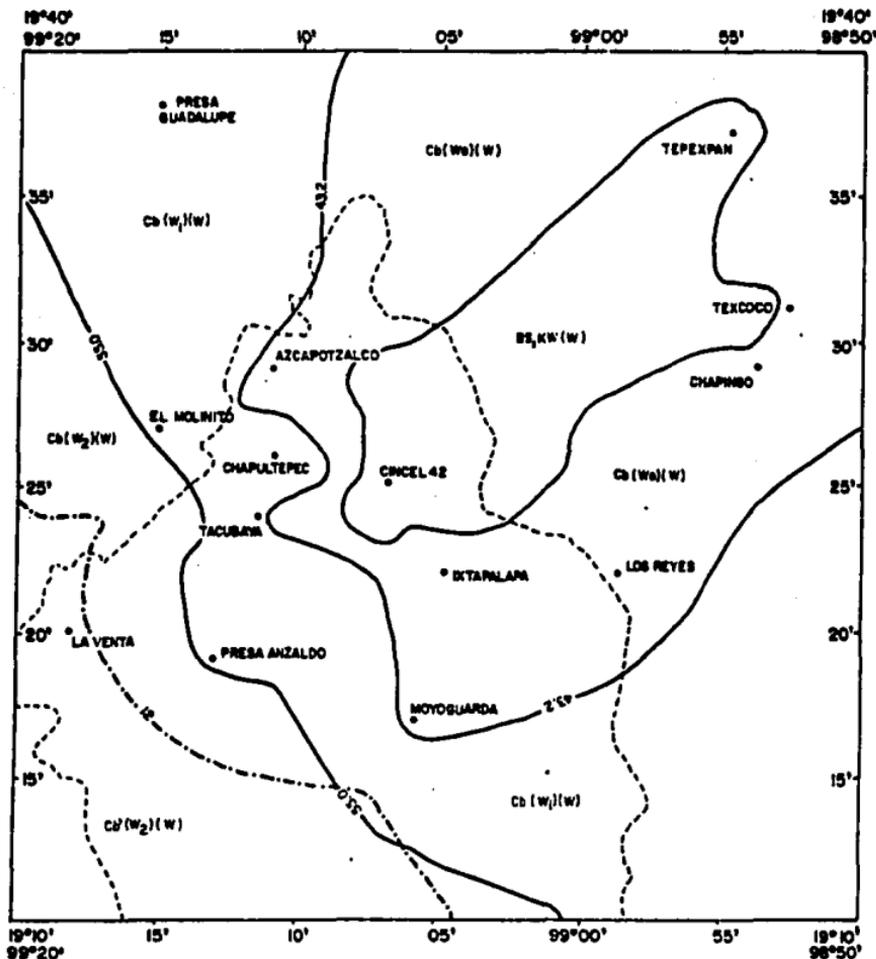
- Estación meteorológico
- Isotermas (°C)
- Índice de aridez (P/T)
- Límite estival

71

ESCALA



MAPA No. 18 CLIMAS DE LA CIUDAD DE MEXICO Y MUNICIPIOS
CONURBADOS DURANTE 1951-1960

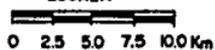


SIMBOLOGIA:

- Estación meteorológica
- isotermos (°C)
- índice de aridez (P/T)
- Límite estatal

72

ESCALA



Análisis estadístico de estaciones características.

Con los valores anuales de temperatura media y precipitación total se realizaron gráficas para varias estaciones de la zona de estudio. Las estaciones seleccionadas se localizaron tanto en la zona céntrica urbana de la ciudad como en los suburbios del derredor e incluso en zonas rurales (aunque estas últimas se encuentran inmersas en poblados que han tenido un considerable crecimiento en años recientes).

El objetivo de plasmar los datos de lluvia y temperatura de algunas estaciones características de la zona de estudio fue el de verificar que el resultado obtenido mediante los mapas de climas corresponde con la tendencia climática de la estación.

Las estaciones elegidas fueron: Col. Escandón, Tepexpan, Chapingo, Morelos 77 (Ixtapalapa), Texcoco, Chapultepec, La Venta, Presa Guadalupe, El Molinito y Tacubaya. Estas fueron seleccionadas en base a su distribución geográfica en el área de estudio, por sus diferentes climas y sus períodos de datos mayores de 30 años.

Las gráficas de temperatura y precipitación mostraban en su forma original una gran variabilidad por lo que fue necesario utilizar el método estadístico de promedios móviles para alisar un poco las gráficas y así poder interpretarlas con mayor facilidad (Rascón, 1970).

El método de los promedios móviles consiste en tomar pequeños fragmentos de una larga serie de tiempo y realizar el promedio aritmético de cada porción. En este caso se realizaron promedios cada 5 años (promedios móviles de orden 5), la manera como se toman los datos es escalonada, es decir, se toman los datos del número 1 al número 5 y se obtiene su promedio, después del número 2 al número 6 y se obtiene el promedio, después del 3 al 7 y se obtiene su promedio y así sucesivamente (Rascón, 1970). El valor

promedio corresponde al punto medio de cada grupo de datos para fines de graficación, es decir, el promedio del 1 al 5 corresponde al 3, el promedio del 2 al 6 corresponde al 4, el promedio del 3 al 7 corresponde al 5 ,etc.

Además, al grupo de 10 estaciones seleccionadas para el análisis estadístico de la temperatura y la precipitación se les aplicó el análisis de regresión simple para determinar la tendencia de los datos.

De los valores calculados para cada estación destacan el de la correlación y el de la pendiente. La correlación nos indica la asociación entre la variable dependiente (temperatura o precipitación) y la independiente (el tiempo). Sus valores van del -1 al 1 y existe menor relación entre ellos mientras más se acercan al cero. La pendiente indica la rapidez del cambio de la variable dependiente (temperatura o precipitación) en función de la variable independiente (tiempo).

La correlación encontrada para la temperatura media mensual de las 10 estaciones analizadas es positiva para 7 de ellas y negativa para el resto. Las estaciones que reportan la mejor correlación positiva son: El Molinito 0.84, Chapingo 0.71, Tacubaya 0.68, Morelos 77 0.56 y Col. Escandón 0.45.

Con respecto a la pendiente de la temperatura media anual, de las 10 estaciones seleccionadas 9 de ellas tuvieron una pendiente positiva y el resto negativa, esto significa que la mayoría de las estaciones presentan una tendencia hacia el incremento de la temperatura. Lo cual coincide con los resultados obtenidos a través de los mapas.

Algunas de las estaciones con pendientes positivas son: Chapingo 0.051, El Molinito 0.046, Morelos 77 0.027. Estos valores de pendiente nos indican que en las 9 estaciones la temperatura se está incrementando muy lentamente dada la variabilidad de la

misma. Y las pendientes negativas encontradas son tan pequeñas que la temperatura se mantiene casi constante a lo largo del periodo.

La correlación encontrada para la precipitación total mensual de las 10 estaciones analizadas es positiva para 4 de ellas y negativa para las 6 restantes. Las estaciones que reportan la mejor correlación positiva son: La Venta 0.30, Col. Escandón 0.28, El Molinito 0.26. Mientras que las que tuvieron la mejor correlación negativa son: Presa Guadalupe -0.12, Morelos 77 -0.13, Chapingo -0.22 y Texcoco -0.44.

Con relación a la pendiente de la precipitación total anual hubo resultados similares a los de la correlación en cuanto al número de estaciones, es decir, 4 de ellas tuvieron pendientes positivas y 6 negativas. Esto significa que existen estaciones que presentan una tendencia hacia el incremento de la lluvia y ligeramente en mayor número hacia un decremento de la misma.

A diferencia de lo que ocurrió con las pendientes de la temperatura, las de la precipitación tienen valores mayores porque la variabilidad de la lluvia es aun mayor. Las estaciones que reportan las pendientes positivas mas marcadas son: La Venta 5.9, El Molinito 3.8 y Col. Escandón 2.5. Mientras que las negativas son: Presa Guadalupe -1.4, Morelos 77 -1.4, Chapingo -2.2 y Texcoco -3.8.

Col. Escandón.

Es una estación urbana de la zona centro de la ciudad, que tiene datos de temperatura y precipitación cuyos periodos van de 1925 a 1970 y de 1931 a 1987, respectivamente. Es una de las estaciones que reportan periodos largos de datos (45 de temperatura y 56 de precipitación).

La estación Col. Escandón posee un clima $Cb(w_0)(w)$, el menos subhúmedo de los templados, para casi todas las décadas desde 1921

hasta 1990, a excepción del decenio 1941-50, donde su clima fue $BS_1kw(w)$, semiseco.

La presencia de este clima semiseco observado en la Col. Escandón en los 40's corresponde exactamente con el mínimo de precipitación más importante de la gráfica y con uno de los máximos de temperatura, el segundo en importancia. Esta estación presenta una tendencia hacia el aumento moderado de la temperatura; mientras que la precipitación parece haberse incrementado ligeramente durante todo el período, pero en los últimos 20 años (1967-87) la lluvia ha decrecido.

Tepexpan.

Es una estación rural ubicada en el noreste que reporta datos de temperatura y precipitación que van de 1952 a 1988, es decir, 36 años de datos.

La estación Tepexpan reportó un clima semiseco $BS_1kw(w)$ para los años 1941-60, después su clima se tornó más húmedo y fresco, de 1961 a 1980 fue un templado subhúmedo (el más seco de los subhúmedos) $Cb(w_0)$; pero en la última década 1981-90 vuelve a ser semiseco $BS_1kw(w)$.

Sus gráficas de temperatura y lluvia nos muestran un comportamiento estable, no existen incrementos importantes de ninguno de dichos elementos climáticos. El período de dos décadas con clima $Cb(w_0)$ coincide con un período que contiene los dos máximos de precipitación más importantes.

Chapingo.

Estación rural ubicada al nornoreste, que reporta datos de 1952 a 1990 de temperatura y lluvia, 38 años de datos. En ella han predominado los climas $Cb(w_0)$ templado el menos subhúmedo, sin

embargo, en las décadas 1941-50 y 1981-90 se han presentado climas semisecos $BS_1kw(w)$.

Analizando las gráficas se observa que la precipitación no ha tenido grandes variaciones en los últimos 40 años, mostrando en ese mismo periodo una ligera tendencia a la disminución de la lluvia.

Algo distinto sucede con la temperatura, la cual muestra un incremento brusco de 2.1 °C en los últimos 25 años. El clima $BS_1kw(w)$ de la última década se debe a que se presentaron los valores más elevados de temperatura y la menor cantidad de lluvia.

Morelos 77 (Ixtapalapa).

Es una estación urbana ubicada en la zona céntrica de la ciudad, de ella se tienen datos de 1956 a 1985, un total de 30 años de datos. En Ixtapalapa han existido climas semisecos $BS_1kw(w)$ y climas templados los menos subhúmedos $Cb(w_0)(w)$ en forma alternada; de 1951 a 1960 fue templado subhúmedo, en la siguiente década fue semiseco, en 1971-80 nuevamente es templado subhúmedo, para ser en el último decenio semiseco de nueva cuenta.

Las gráficas de temperatura y precipitación correspondientes a esta estación, muestran un comportamiento estable. La tendencia de la temperatura es hacia un incremento moderado, mientras que la lluvia se comporta en forma estable. Ixtapalapa presenta los valores de temperatura más elevados de la zona (superiores a 16 °C).

Texcoco.

Es una estación rural ubicada al noreste, actualmente es un poblado importante pero aun puede considerársele como rural. Su periodo de años va de 1922 a 1989, son 67 años de datos, es una de las estaciones de más largo periodo.

A lo largo de 7 décadas, el clima de la estación Texcoco se ha ido haciendo cada vez más seco. De 1921 a 1950 tuvo un clima templado de subhúmedad intermedia $Cb(w_1)(w)$. En las siguientes 3 décadas, de 1951 a 1980 el clima fue templado el menos subhúmedo $Cb(w_0)(w)$ y posteriormente se hizo más seco aun en 1981-90, decenio donde el clima fue $BS_1kw(w)$.

Al analizar las gráficas de temperatura y precipitación de Texcoco se observa un continuo decremento de la lluvia durante los 70 años de datos que explica porque su clima se ha ido haciendo cada vez más seco. La disminución de la lluvia es considerable y si la transformación de un clima subhúmedo a uno semiseco ha sido paulatino, se debe también a que la temperatura ha tenido periodos largos y constantes de ascenso y descenso que le han permitido permanecer variable entre un rango reducido de valores, algo semejante a la estabilidad.

Chapultepec.

Es un estación urbana situada en la zona centro de la ciudad, que tiene la particularidad de corresponder al área verde de mayor extensión. Esta estación reporta 32 años de datos, de 1931 a 1963. Casi en la totalidad de las 7 décadas (1921-90) consideradas en esta tesis, el clima de Chapultepec fue templado subhúmedo (el intermedio de los subhúmedos) $Cb(w_1)(w)$; pero en el último decenio 1981-90 el clima fue ligeramente más húmedo, templado subhúmedo (el más húmedo de los subhúmedos) $Cb(w_2)(w)$.

Las gráficas muestran mínimos importantes para cada elemento climático. De 1951 a 1960 desciende bruscamente la temperatura, mientras que la lluvia había ya disminuido de igual forma en 1941-50, sin embargo, tales cambios no fueron suficientes para provocar un cambio en el clima. La estabilidad del clima de Chapultepec se debe a la presencia reguladora y moderadora del bosque.

La Venta.

Es una estación suburbana ubicada al oeste, en el área más elevada de la Sierra de las Cruces por lo que podría considerársele también como rural. Reporta datos de 1948 a 1985, 37 años de datos.

Durante 4 décadas, la estación La Venta ha reportado un sólo clima, el semifrío, con verano fresco largo, el más subhúmedo $Cb'(w_2)(w)$. Su estabilidad climática se debe al predominio del factor relieve que impone sus características por encima de otros factores, como la urbanización, por ejemplo. Además la altitud de la zona determina que sea el clima más húmedo de los subhúmedos por la mayor abundancia de lluvias en este lugar y semifrío por el descenso de la temperatura con el incremento de la altura.

Al observar las gráficas, notamos una ligera tendencia de ambos elementos climáticos a incrementarse, su comportamiento muestra una regular variabilidad tanto de la temperatura como de la precipitación. Además, obsérvese que es la única estación con diferente escala en y.

Presa Guadalupe.

Es una estación rural localizada al noroeste, en la parte baja de las laderas de la Sierra de las Cruces, su periodo de años comprende de 1952-89, es decir, 37 años de datos.

El clima que Presa Guadalupe ha presentado durante 5 décadas ha sido el mismo, templado subhúmedo (el intermedio de los subhúmedos) $Cb(w_1)(w)$, su caso es similar al de la estación La Venta, la uniforme influencia del relieve determina la estabilidad del clima, ya que los factores socioeconómicos aun no han provocado algún efecto sobre el clima de esta estación.

Las gráficas de ambos elementos climáticos muestran una ligera tendencia hacia el decrecimiento.

El Molinito.

Es una estación suburbana que se localiza en el municipio de Naucalpan, en las inmediaciones de la Sierra de las Cruces. En este lugar el desarrollo industrial y urbano ha sido considerable. El período de años que comprende es de 1952-89, es decir, un total de 37 años de datos.

El clima que ha presentado la estación El Molinito durante las primeras 3 décadas 1951-80, ha sido templado subhúmedo (el intermedio de los subhúmedos) $Cb(w_1)(w)$, mientras que en 1981-90 el clima fue ligeramente más húmedo, templado subhúmedo (el más húmedo de los subhúmedos) $Cb(w_2)(w)$. Aunque, en las dos últimas décadas el clima de esta estación estuvo muy cerca del límite entre los climas subhúmedos w_2 y w_1 .

Al observar las gráficas, se nota una tendencia moderada al incremento de los dos elementos climáticos en cuestión. El comportamiento de sus gráficas es ligeramente variable.

Tacubaya.

Es una estación urbana, la más antigua del país y sede del Servicio Meteorológico Nacional, en ella se reúnen los datos de todas las estaciones existentes. Su período de años es el más largo que cualquier otra estación, pero en este caso sólo se consideraron los años que van de 1900 a 1988, es decir, sólo este siglo para fines de comparación gráfica con las demás estaciones.

La estación Tacubaya nos muestra en los mapas climáticos que de 1921 a 1990 sólo una década, la de 1941-50 tiene clima templado subhúmedo (el más seco de los subhúmedos) $Cb(w_0)(w)$,

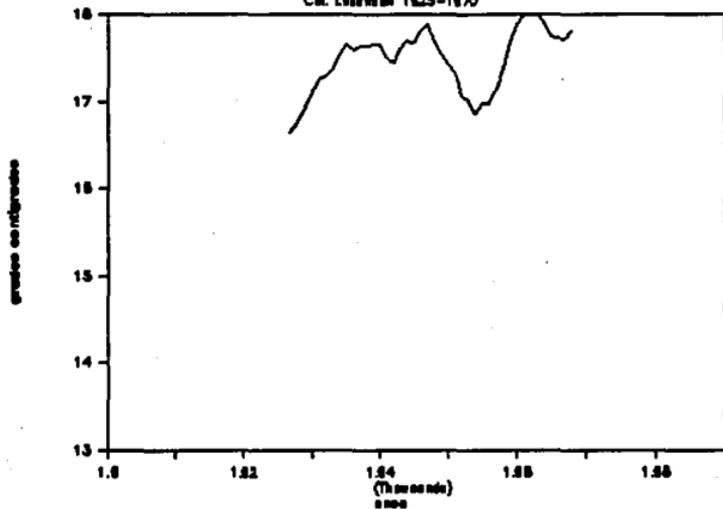
mientras que en los 6 decenios restantes el clima ha sido templado subhúmedo (el intermedio de los subhúmedos) $Cb(w_1)(w)$.

Sin embargo, en los mapas de climas puede observarse que la franja con clima $Cb(w_1)(w)$ se estrecha al máximo precisamente en la zona correspondiente a Tacubaya, lo cual significa que esta estación podría corresponder a cualquiera de los 3 climas templados subhúmedos.

En las gráficas puede observarse que tanto la temperatura como la precipitación presentan tendencia al incremento. El incremento es un poco más marcado para la lluvia y moderado para la temperatura. Ambos elementos presentan un comportamiento cíclico cada 30 o 40 años. Es precisamente la mayor estabilidad de la temperatura lo que ha hecho que Tacubaya presente un clima $Cb(w_1)(w)$ en su mayoría.

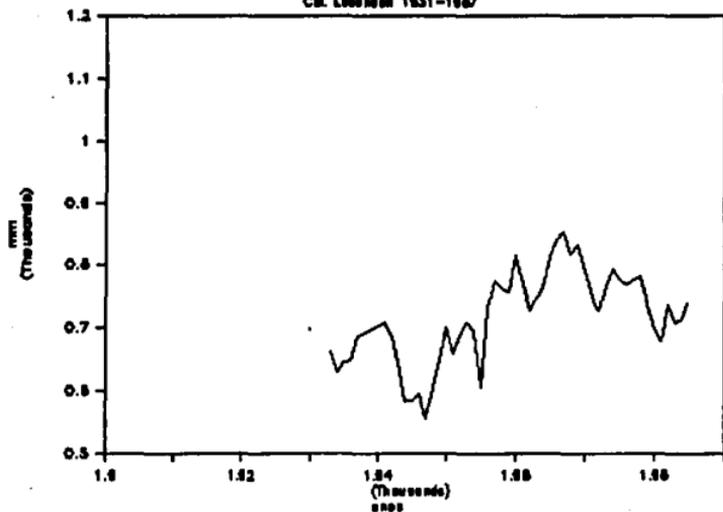
Temperatura media anual

Cal. Ecuador 1925-1970



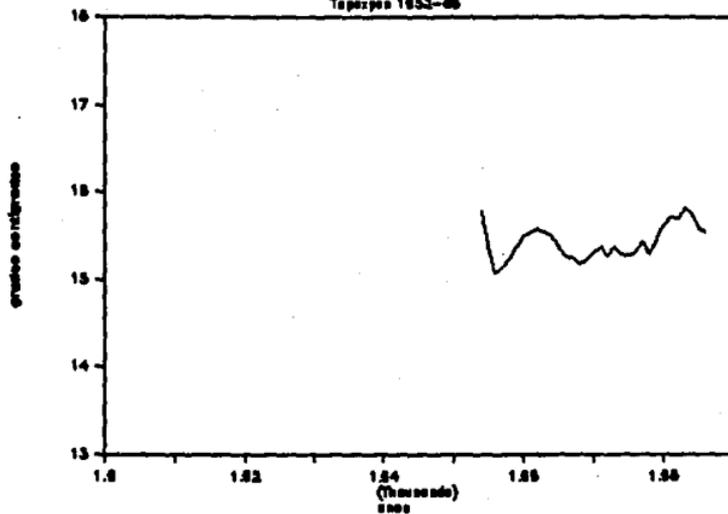
Precipitacion total anual

Cal. Ecuador 1931-1967



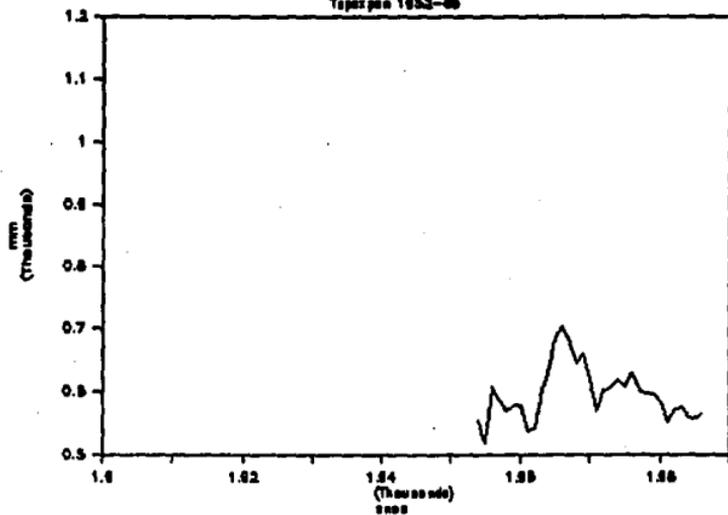
Temperatura media anual

Tapex por 1952-86



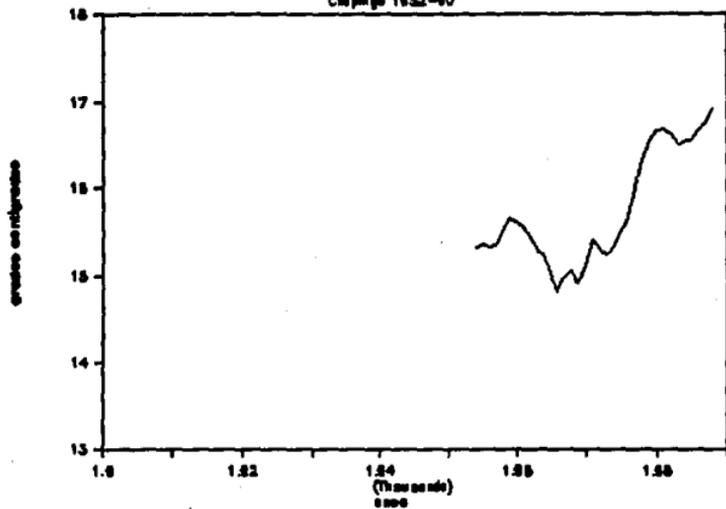
precipitacion total anual

Tapex por 1952-86



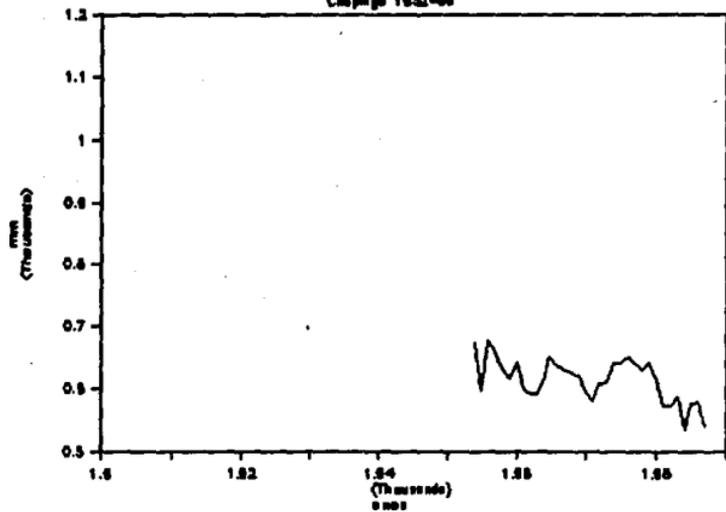
Temperatura media anual

Chapingo 1952-60



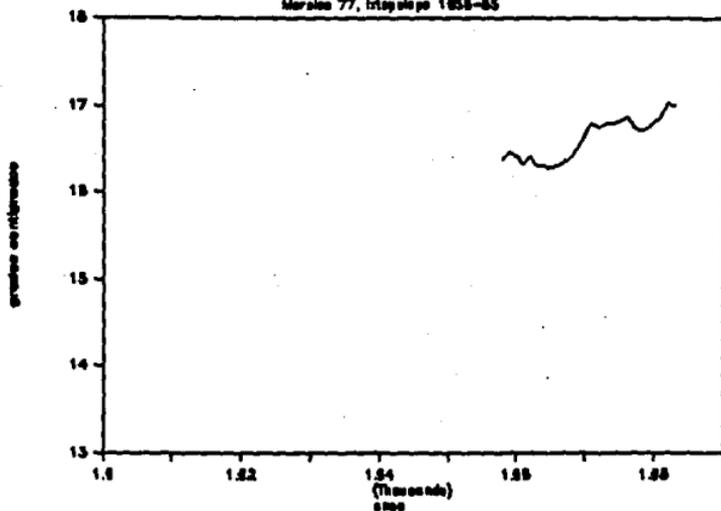
Precipitación total anual

Chapingo 1952-60



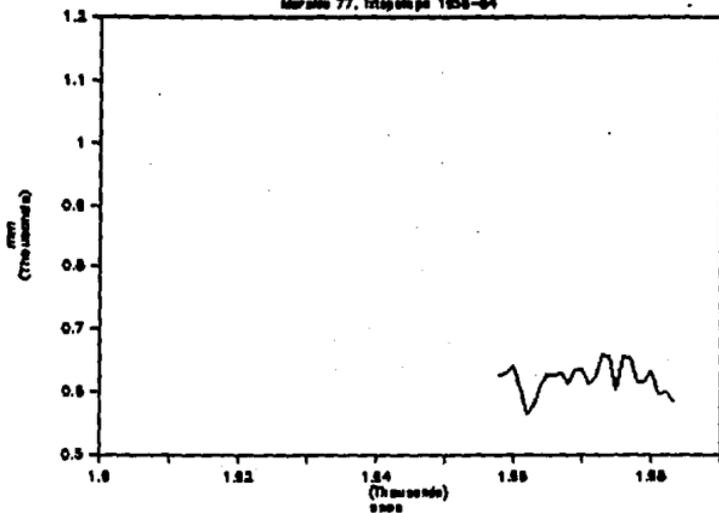
Temperatura media anual

Marake 77, Islagala pa 1955-65



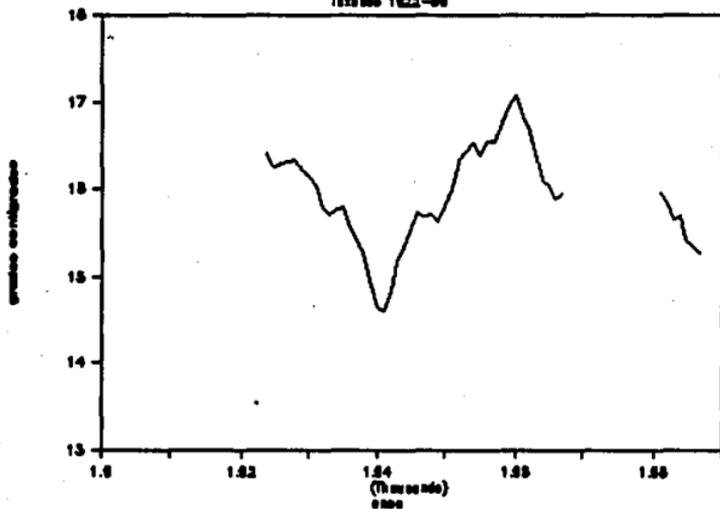
Precipitacion total anual

Marake 77, Islagala pa 1955-64



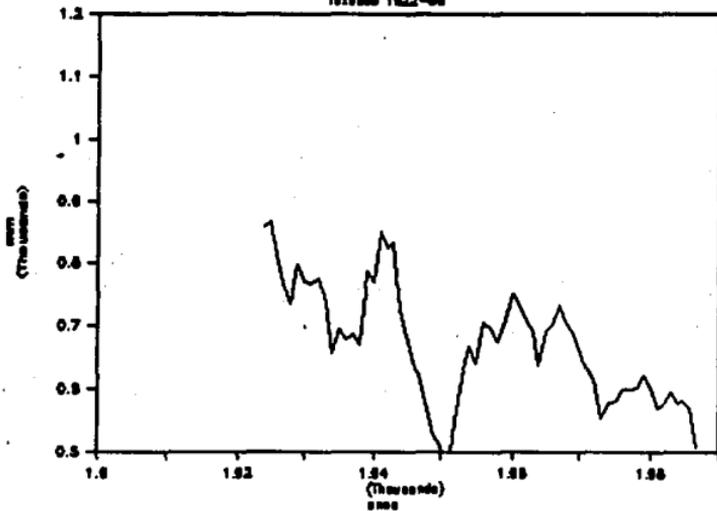
Temperatura media anual

Torreón 1923-66



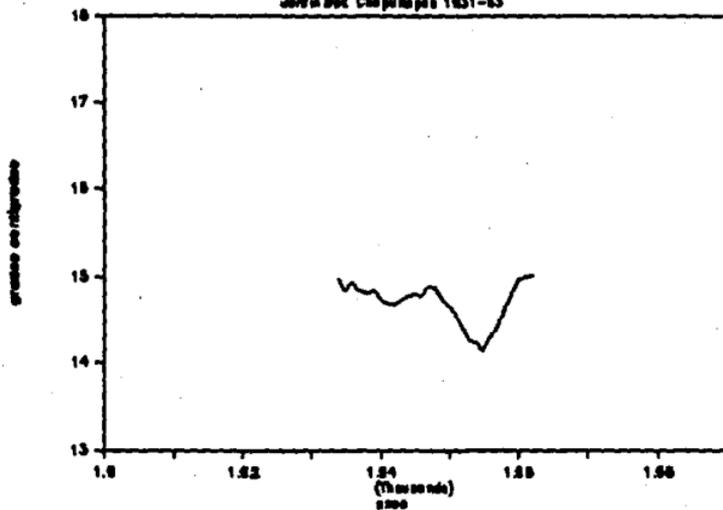
Precipitación total anual

Torreón 1923-66



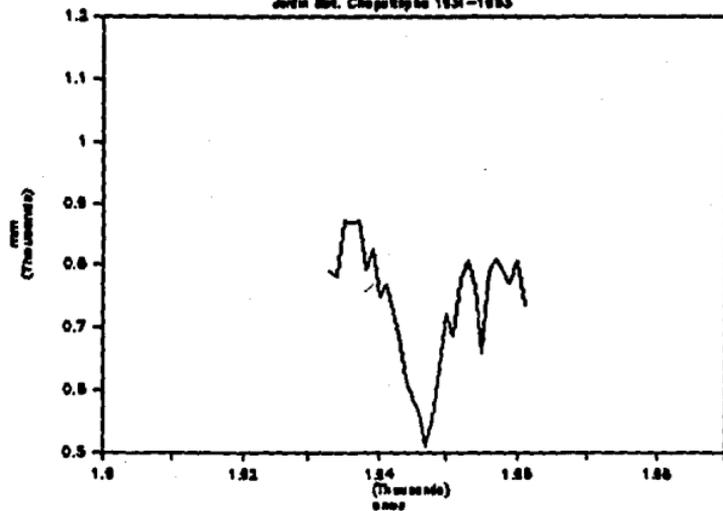
Temperatura media anual

Jardín Bot. Chapultepec 1951-55



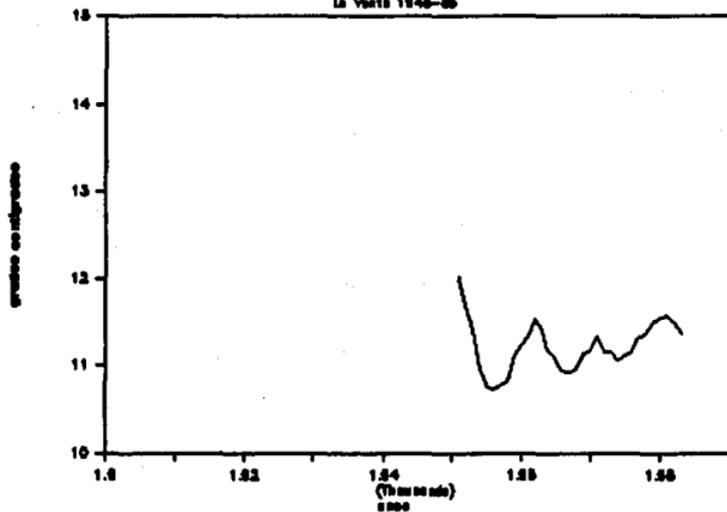
Precipitación total anual

Jardín Bot. Chapultepec 1951-1955



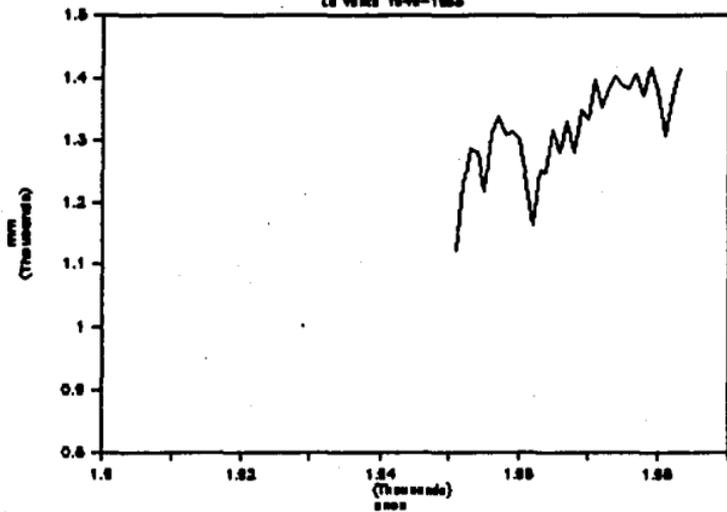
Temperatura media anual

La Yunta 1948-85



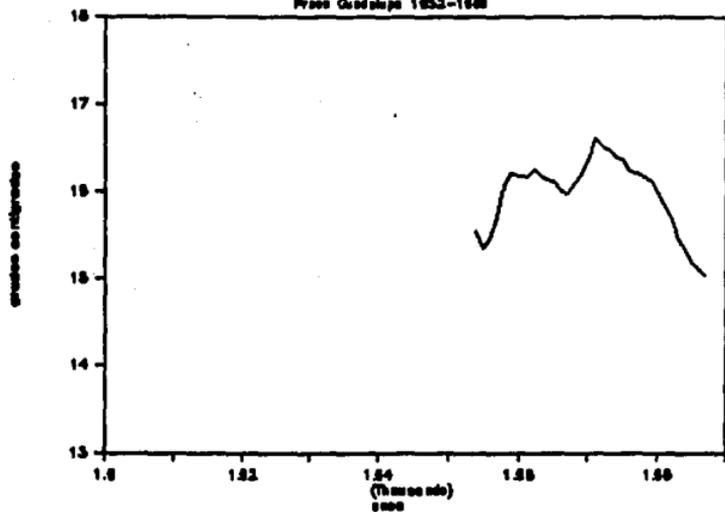
Precipitación total anual

La Yunta 1948-1985



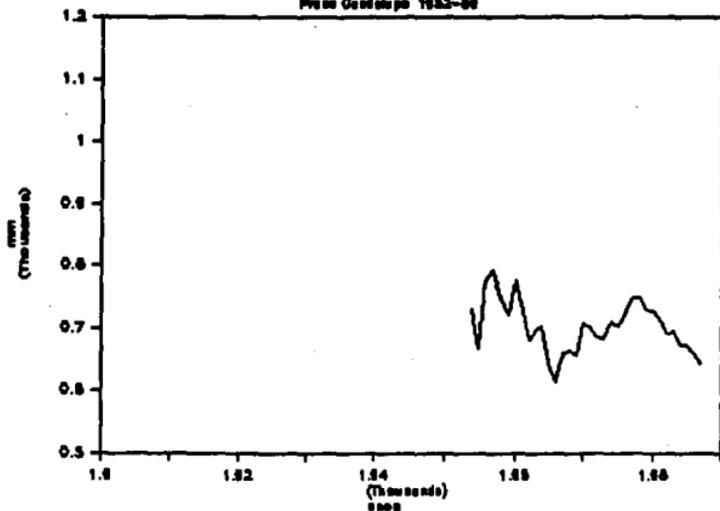
Temperatura media anual

Para Quedala 1953-1968



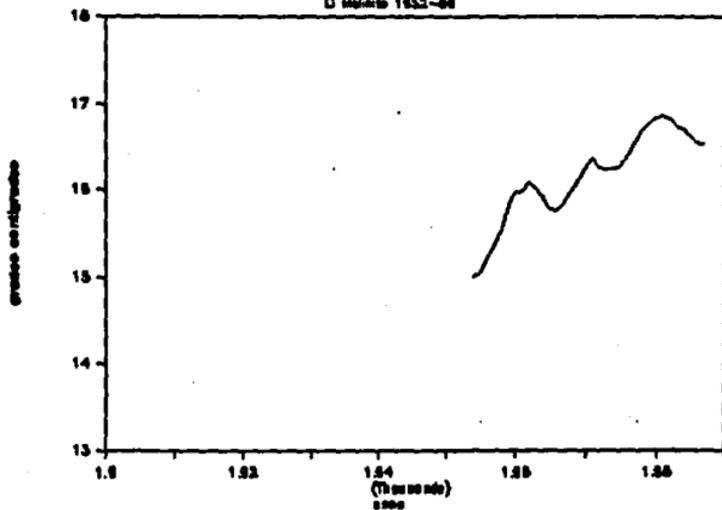
Precipitacion total anual

Para Quedala 1953-68



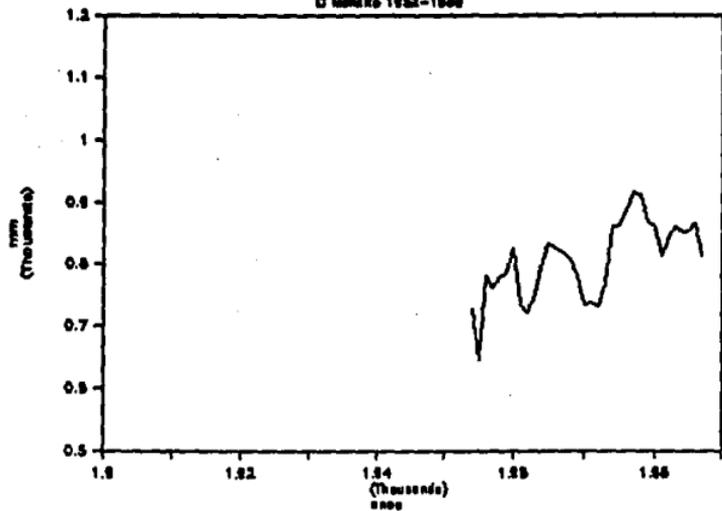
Temperatura media anual

□ México 1933-66



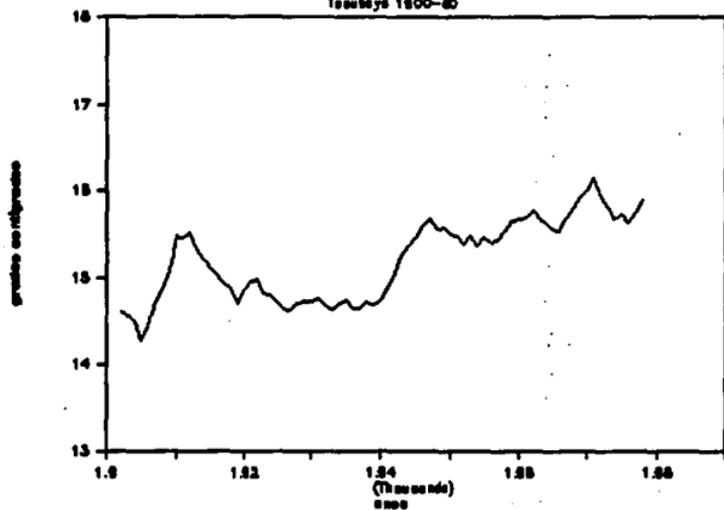
Precipitación total anual

□ México 1933-1966



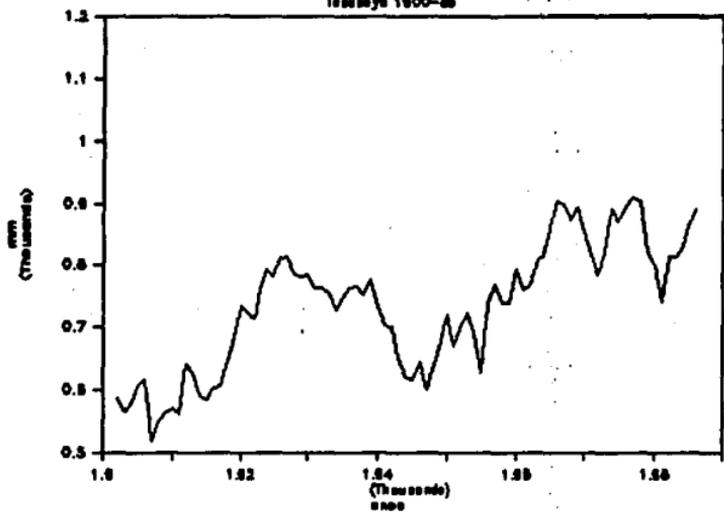
Temperatura media anual

Taukeya 1900-80



Precipitacion total anual

Taukeya 1900-80



Como se vió en el capítulo anterior, los mapas de isotermas, isoyetas y climas presentan grandes modificaciones en la configuración de sus líneas, en la distribución de sus valores y en la extensión, forma y localización de las áreas con un clima en particular o con cierta cantidad de temperatura o precipitación.

Durante las primeras dos décadas se dispuso de poca información porque era reducido el número de estaciones, esto no sólo dificultó el dibujo de los mapas, sino que hizo más difícil el análisis de los mismos y la obtención de conclusiones. Sin embargo, se tomaron estos mapas como punto de partida y se consideraron como el reflejo de la situación climática de aquel entonces, aunque no se tiene la certeza de que así haya sido, además no se cuenta con información anterior que pueda proporcionarnos alguna ayuda.

Temperatura.

Para conocer cuál fue el incremento total de la temperatura media anual durante todo el período estudiado en el área de estudio, basta con observar que la mayor temperatura encontrada para el decenio 1921-1930 fue de 16 °C, mientras que en la última década estudiada 1981-1990 tuvo una temperatura de 18 °C. Se puede entonces concluir que el incremento total de temperatura fue de 2 °C en promedio a lo largo de las 7 décadas.

Durante todo el período estudiado, las temperaturas máximas se manifestaron siempre a través de islas de calor y asociadas al área urbana. En 1921-1930 se encontró una isla de calor de 16 °C en el centro de la Ciudad de México, contenida dentro de una isla de calor de 15 °C de mayor extensión. Durante las tres décadas siguientes, de 1931 a 1960 se presentó una isla de calor de 17 °C, incluida dentro de la isla de 16 °C que para entonces contaba ya

con una mayor cobertura geográfica. Para 1961-1970 se encontraron dos islas de calor de 17 °C contenidas también en la isla de 16 °C. Finalmente, en las dos últimas décadas, la isla de calor de 16 °C continuo incrementando su área y también aumentaron el número e intensidad de islas de calor que contenía, de 3 a 4 islas de calor entre 17 y 18 °C, localizadas todas ellas, como se dijo anteriormente, en emplazamientos urbano-industriales.

A guisa de ejemplo, la isla de calor de 16 °C encontrada en la primer década tuvo aproximadamente una extensión del 3 % del total de la superficie de la zona de estudio. Para 1981-90 esta isla de calor ocupaba cerca del 35 % de la misma superficie. De esta manera, se llega a la conclusión de que no sólo hubo un incremento total y absoluto de 2 °C de temperatura, sino que, hubo también un incremento relativo, tal vez más importante que el anterior, que pudo ser observado a través de un análisis geográfico espacial y que representa en términos energéticos, una modificación climática considerable. Por lo anterior, no sólo es importante evaluar el incremento de la intensidad de la temperatura en la isla de calor sino también evaluar el incremento espacial de las islas.

Continuando ahora con el comportamiento de las temperaturas mínimas de todo el período en el área de estudio, como es sabido, a medida que se asciende en altura, disminuye la temperatura, a esto se le llama gradiente térmico vertical. Las temperaturas mínimas se presentaron al oeste y suroeste de la zona de estudio por la existencia de las Sierras de las Cruces y del Ajusco respectivamente.

Observando las temperaturas mínimas de los decenios 1921-1930 de 12 °C y 1981-1990 de 8 °C (localizadas ambas al suroeste del área de estudio), podría llegar a pensarse que hubo un decremento de 4 °C de temperatura en esta zona. Pero la situación es diferente, durante las primeras cinco décadas la temperatura mínima estuvo entre 10 y 12 °C, localizadas estas isoterms casi

siempre en la misma zona; mientras que en las últimas dos décadas se tienen temperaturas mínimas de 8 a 10 °C, pero cabe hacer notar que en estos últimos 20 años se contó con información de una estación nueva en Monte Alegre, Contreras.

Si se observa la ubicación de las isotermas de 10 a 12 °C a lo largo de todas las décadas, se puede notar que corren casi siempre por los mismos lugares, eso significa que su posición no ha variado mucho en ese tiempo. Por lo tanto, puede suponerse que las isotermas de 8 a 10 °C no están presentes en la mayoría de los mapas debido a la ausencia de estaciones que proporcionarían datos para completar el trazo de las isoclinas. Nótese que es la Monte Alegre la que permite el trazo de las isotermas de 8 a 10 °C en las últimas dos décadas.

El efecto del crecimiento urbano y del incremento del área con mayor temperatura sobre el área con la menor temperatura ha sido que esta última fue comprimida en dirección de las sierras del oeste y suroeste, lo cual comienza a ser más notorio a partir de la década 1951-1960, en este decenio el cambio es un poco brusco, pero en los periodos posteriores tiende a estabilizarse.

A excepción de las zonas noroeste, oeste y suroeste, el resto del área de estudio ha sufrido modificaciones en cuanto a la distribución de las isotermas. Dichas modificaciones han sido más marcadas principalmente en la zona centro, este, norte, noreste y sureste en el mismo orden de importancia.

A partir del decenio 1941-1950 comienza ya, a ser muy extensa la zona con temperaturas mayores a 15 °C, este hecho coincide con el inicio del desarrollo de la industrialización en la Ciudad de México durante el gobierno de Avila Camacho.

En el mapa de isotermas de la década 1941-1950 se muestra, en forma incipiente, lo que será el inicio de una zona de frescura que penetra en la de mayor temperatura y que corresponde a la

estación Chapultepec. Obsérvese cómo en el decenio mencionado la influencia del bosque de Chapultepec produce un inflexión de las isotermas de 12 a 15 °C (véase indentación fría en Jáuregui 1971). Para 1951-60 la frescura del área verde de Chapultepec penetra en forma de lengua hacia la zona con valores mayores de 16 °C, afectando marcadamente a las isotermas de 12 a 16 °C. Para el siguiente decenio, llega incluso a ser la causa de que se formen 2 islas de calor de 17 °C al interponerse entre ambas. Este último fenómeno ha perdurado en las siguientes dos décadas, consolidándose como un hecho climático importante, que totaliza desde sus orígenes hasta su estado actual una permanencia de 50 años. Lo anterior nos permite concluir que es de suma importancia en las urbes, la presencia de áreas verdes que proporcionen frescura, oxígeno, esparcimiento y hermosura al paisaje.

La década de 1961-1970, con sus dos islas de calor de 17 °C ubicadas en el centro de la Ciudad de México, marca el inicio de la presencia plural de las islas de calor de un mismo valor de temperatura. Anteriormente, ya se había contado con la presencia de dos islas de calor con diferencia de 1 °C de temperatura entre cada una de ellas, esto sucedió durante las primeras 4 décadas del período estudiado. Para el decenio 1971-1980 se encontraron 6 islas de calor, 3 de 17 °C y 3 de 18 °C. En la última década, fueron 4 islas de calor de 17 °C y 3 de 18 °C.

Obsérvese que sólo hasta la década 1971-1980 aparecen los valores máximos de 18 °C después de 50 años de no existir en la zona. Tanto la aparición de los valores máximos de 18 °C, como la existencia plural de islas de calor con un mismo valor de temperatura pueden ser interpretadas como un momento de crisis ambiental en el cual se ha roto un supuesto equilibrio entre áreas verdes y zonas urbanas.

Precipitación.

Así como en el análisis del parámetro temperatura, se encontró que el cambio fundamental era el incremento de la temperatura máxima promedio de 2 °C para todo el periodo y la formación de islas de calor múltiples; de igual forma también, se pretende destacar como cambio climático principal a el incremento de la superficie con precipitaciones menores a los 600 mm.

En el caso de la precipitación, no puede hablarse de un decremento absoluto de la misma ya que en 3 de las décadas estudiadas se encontraron valores mínimos de 500 mm y en 4 décadas hubo valores mínimos de 600 mm. Lo importante de destacar en este rubro es el comportamiento de la isoyeta de 600 mm.

En los mapas de isoyetas se pueden observar áreas completamente cerradas que son similares en su forma a las islas de calor. A estas áreas se les llama islas de lluvia, pero a diferencia de las islas de calor que encerraban áreas de mayor temperatura, éstas engloban áreas de menor precipitación (podría llamárseles islas de sequía ó aridez). Un ejemplo similar en el caso de la temperatura es el hallazgo de una isla de frío por parte de Jáuregui (1987) en un estudio climático de ciudades de valles interiores del país y ciudades costeras.

El desarrollo espacial de estas islas de sequía es diferente al de las islas de calor. Estas últimas se extendieron paulatinamente e incrementaron sus valores concéntricamente a partir del centro de la ciudad, llegando a tener incluso varios núcleos. En cambio, las islas de sequía no siempre se manifestaron como tales; por ejemplo, la isoyeta de 600 mm forma una isla de sequía en la década 1921-1930, pero durante los siguientes dos decenios 1931-1940 y 1941-1950 se presentó como área abierta, en las siguientes 3 décadas se muestra nuevamente como isla de sequía y finalmente se presenta de nueva cuenta como área abierta en 1981-1990.

En los casos en los que la isoyeta de 600 mm se ha manifestado en forma de área abierta es cuando ha logrado una mayor cobertura, logrando su valor máximo de extensión en el decenio 1981-1990, en el que alcanza a cubrir cerca del 50 % del área de estudio, aunque también en las décadas 1931-1950 abarca cerca del 40 % de la superficie estudiada. En contraparte, cuando la isoyeta de 600 mm se presenta como isla de lluvia, tiene menores coberturas, siendo su mínima expresión en la década 1921-1930 con menos del 3 % de cobertura espacial y su valor máximo en 1961-1970 con un 25 % de superficie aproximadamente.

Sólo hasta el último decenio se presenta una cantidad considerable de islas de sequía, 8 islas, cuyos valores se circunscriben al rango de 500 a 800 mm de precipitación. Anteriormente, el número mayor de islas de sequía había sido de dos en las décadas 1951-1960 y 1971-1980; por lo que, la presencia de las ocho islas de sequía puede ser considerado como un fenómeno climático sin precedentes.

Los valores máximos de precipitación se presentan al oeste y suroeste y corresponden a las mayores altitudes, a las sierras de las Cruces y del Ajusco respectivamente. En 5 de las 7 décadas estudiadas el valor máximo fue de 1300 mm y en las dos restantes fue de 1400 y 1500 mm. Las isoyetas máximas se localizaron siempre en el mismo sentido que las sierras y no sufrieron modificaciones importantes. Sólo sufrieron cierta compresión en las décadas de 1941 a 1970 originada por la presencia de los máximos valores de precipitación en todo el período. Otra modificación de relativa importancia se presenta en el decenio 1981-1990 cuando aparecen tres islas de sequía, 2 de 800 mm de precipitación y otra más de 700 mm, en la franja pluviométrica que va de los 800 a los 900 mm de precipitación. Ya las isoyetas de 800 y 900 mm del decenio anterior mostraban cierta inflexión como anticipando este comportamiento en esa zona.

Los cambios más marcados en cuanto a la distribución de las isoyetas comienzan a ser observados en la década 1951-1960, lo cual sucede con un decenio de posterioridad con respecto al inicio de los cambios drásticos de temperatura ocurridos en 1941-1950. Por vez primera aparecen dos islas de sequía, una grande de 600 mm y otra muy pequeña de 800 mm de precipitación. La isoyeta de 700 mm, por su parte, sigue el contorno de la isla de 800 mm. Se puede concluir que el desarrollo urbano afecta a las características térmicas de una zona más pronto que a las de humedad.

La presencia de las zonas más secas, aquéllas con precipitaciones menores a los 600 mm, se mantuvo casi siempre desplazada hacia el norte y noreste de la zona de estudio y se extendió hacia el sureste en la última década. Todo ello indica que para el caso de la precipitación, la influencia de la urbanización se mostró desplazada no sólo temporalmente, como se dijo en el párrafo anterior, sino también espacialmente.

Sólo la última década, 1981-1990, nos muestra 7 islas de sequía, que coinciden exactamente con las áreas más urbanizadas de la Ciudad de México, cuya presencia aparece brusca e inesperadamente.

Es oportuno remarcar el hecho de que de las 8 islas de sequía, sólo una nos muestra una pequeña área con incremento en la altura de la precipitación registrada, se trata de la diminuta isla de 700 mm localizada justo en el centro de la zona de estudio. Las restantes 7 islas de sequía registran siempre precipitaciones de menor altura que las correspondientes a las franjas pluviométricas que las contienen. Entre las isoyetas de 600 y 700 mm se encuentra una isla de sequía de 600 mm que contiene en su interior otra de 500 mm; y entre las isoyetas de 800 y 900 mm se presenta una isla de 800 mm, en cuyo interior existe otra de 700 mm.

El comportamiento de la lluvia antes descrito es difícil de interpretar. La influencia que la ciudad ejerce sobre la lluvia es variada y compleja. Entre los diversos factores que intervienen en la ocurrencia de las lluvias se encuentran la cantidad, magnitud, composición y disposición de las edificaciones que favorecen la desigual absorción y reflexión de calor y la producción de innumerables turbulencias en los vientos superficiales. La contaminación también contribuye a generar más calor y partículas en suspensión. Se concluye que estos factores dan lugar al comportamiento irregular de la lluvia en la última década de 1981-1990.

La distribución de las isoyetas es heterogénea, a diferencia de la homogeneidad que mostró la distribución de las isotermas cuya evolución fue gradual y siempre en un mismo sentido. En cambio, las isoyetas se manifestaron a veces como islas, a veces como áreas abiertas hasta llegar a ser en forma repentina un área con numerosas islas que dan una idea de algo caótico. Sugieren también que se ha llegado a un rompimiento de cierto equilibrio entre el desarrollo urbano y el régimen natural de la lluvia, que se ha alcanzado una etapa de crisis entre la ciudad y el medio ambiente.

En resumen, en las primeras tres décadas la precipitación tiene un comportamiento "esperado", es decir, lluvias más abundantes en las partes más altas de la zona y más escasas en las partes bajas, en el valle. En el decenio 1951-1960 inician las anomalías con la presencia de una isla de lluvia de 600 mm de gran tamaño y otra muy pequeña de 800 mm de precipitación. En 1961-1970 se incrementa la superficie con lluvias menores a los 700 y 600 mm, es decir, aumentaron las áreas secas. Para 1971-1980, las áreas secas con precipitación menor a 700 mm pierden un poco de superficie, esta fué una década ligeramente más húmeda. Finalmente, en el último decenio, recuperan las áreas secas la

superficie perdida y ganan un poco más, sin embargo, lo más destacable de estos últimos 10 años es el gran número de islas de sequía que indican irregularidad y caos.

Climas.

En el área de estudio existen básicamente sólo dos grandes grupos de clima: el templado C y el semiseco BS_1 . En la primera década 1921-1930 del estudio predominaron totalmente los climas C templados, pero a partir del segundo decenio en adelante fueron ganando terreno los climas BS_1 semisecos hasta llegar a cubrir casi el 30 % del área de estudio en su parte noreste en el decenio 1981-1990. Para todas las estaciones y durante todas las décadas, el régimen de lluvias fue de verano.

Las características de humedad de la zona de estudio nos muestran, de mejor manera, cómo se fueron dando los cambios climáticos durante el período estudiado. Por ello, antes de mencionar con más detalle dichos cambios, es conveniente decir que los climas C templados fueron casi en su totalidad subhúmedos, divididos en 3 grados: los más secos w_0 , los intermedios w_1 y los más húmedos w_2 .

En el primer decenio, en 1921-1930, aparecen sólo climas C templados subhúmedos. El clima $Cb(w_2)(w)$, el más húmedo de los subhúmedos, se localiza en las partes más elevadas de la zona de estudio, en la Sierra de las Cruces al oeste y en la Sierra del Ajusco al suroeste. El clima $Cb(w_1)(w)$, el intermedio de los subhúmedos, se localiza en la zona de piedemonte, en la zona de transición entre las sierras y el valle, localizado en el noroeste, centro y sureste del área de estudio. Por último, el clima $Cb(w_0)(w)$, el más seco de los subhúmedos, se localiza en el valle, en las partes centro, norte, noreste y este de la zona de estudio.

En los decenios siguientes, el cambio climático fundamental es el origen y desarrollo de zonas con clima BS₁ semiseco. Por su parte, los climas Cb(w₂)(w) y Cb(w₁)(w) se conservaron, a lo largo de todo el estudio, casi siempre localizados en la misma zona y distribuidos de semejante manera, estos climas no presentaron modificaciones importantes. Caso contrario el de la zona con clima Cb(w₀)(w), la cual fue perdiendo paulatinamente superficie en favor de los climas BS₁.

En términos generales, los climas encontrados fueron los que se esperaban, los más frescos y húmedos hacia las partes más altas y los más cálidos y secos hacia el valle. Pero el clima BS₁ semiseco ha ido poco a poco robándole terreno al Cb(w₀)(w), el más seco de los subhúmedos, que es el principal cambio climático encontrado. Es un cambio que indica una desertificación en la zona que afecta el bienestar de la población de la ciudad.

En el decenio 1931-1940, aparece por vez primera una pequeña área en el centro de la zona de estudio con clima BS₁ semiseco, debido a que hubo una gran extensión de la superficie que ocupa precipitaciones menores a los 600 mm, y también debido a el surgimiento de una isla de calor de 17 °C en el centro de la ciudad. La combinación del aumento del área donde llueve menos y de temperaturas elevadas dió lugar al surgimiento del clima semiseco.

Se observa que ha existido una correlación muy estrecha entre la isoyeta de 600 mm y las áreas con clima BS₁ semiseco durante el período de estudio. Esta correlación se ha manifestado tanto en el tamaño del área que ocupa la zona de precipitaciones menores a 600 mm y los climas BS₁; como en el hecho de que comparte casi siempre las mismas localizaciones. Como ejemplo, se puede mencionar la máxima extensión que alcanza el clima semiseco en 1981-1990, presente en las partes norte, noreste, este, centro y sureste del

área de estudio; extensión que corresponde con la forma de área abierta que presentó la isoyeta de 600 mm y que abarca las partes norte, noreste, centro, este y sureste de la zona de estudio.

Es evidente que fue necesaria la conjunción del incremento de la temperatura en la zona de estudio y de la disminución de la precipitación para que se diera el cambio climático. Sin embargo, la correlación existente entre la disminución de la lluvia y el cambio de clima templado subhúmedo a clima semiseco sugiere un papel más decisivo de este elemento. En 1981-1990, al sureste de la zona de estudio, un aumento de la temperatura y una disminución de la lluvia, hace surgir un clima BS₁ en Chalco, asociado al desarrollo urbano acelerado de esta zona en últimos años.

El crecimiento constante de la superficie con clima BS₁ semiseco a lo largo de 6 décadas permite calificar este acontecimiento como un cambio climático y descarta la posibilidad de considerarlo como una variabilidad.

Este cambio climático ha confirmado definitivamente la influencia que tiene el desarrollo urbano en los elementos del clima. Los cambios no se manifiestan en una forma repentina e instantánea, sino que son procesos graduales que llevan tiempo.

En el último inciso del capítulo anterior, se obtuvieron resultados estadísticos de las estaciones meteorológicas más representativas de los diferentes tipos de climas, que además cuentan con información meteorológica mayor a 30 años. De estos resultados, podemos afirmar categóricamente, que existen cambios climáticos importantes en la ZMCM y que debido a la alteración que ha sufrido el medio ambiente del Valle de México, los patrones del comportamiento de por lo menos temperatura, precipitación y viento (aunque no sería aventurado mencionar humedad relativa y radiación solar), han sufrido cambios importantes, y que pueden llegar a ser

irreversibles, ya que la mayoría de estas estaciones presentan tendencias, las cuales en periodos de mediano tiempo llegarán a afectar más drásticamente en intensidad y espacio a la ZMCM.

Limitaciones.

Esta investigación presenta limitaciones metodológicas para responder a la interrogante de la diferencia en tiempo en la aparición de los efectos de la influencia de la urbanización en el clima de un lugar. Sería preciso acortar el periodo de 10 años a la mitad y observar atentamente los nuevos resultados para precisar en que orden y con cuánta diferencia de tiempo se modifican la temperatura, la precipitación y los climas.

El periodo de 10 años de estudio, dadas las circunstancias anteriores, es una limitación metodológica porque enmascara fenómenos y comportamientos. Utilizar periodos de 5 años podría proporcionar más información acerca del desfaseamiento en la aparición de los efectos de la urbanización en la temperatura, el clima y la precipitación.

B I B L I O G R A F I A

- AGUSTIN, J. Tragicomedia mexicana 1: la vida en México de 1940 a 1970. México, 1991. pp. 67-117.
- ALVAREZ C., E. Condiciones de temperatura y precipitación en el SW del D.F. México, UNAM, 1992. Tesis Licenciatura.
- BRAVO A., H. Cinco conclusiones sobre el problema de la contaminación en la Ciudad de México. México, Comisión Nacional de Ecología, 1986.
- CAMACHO M., G. Influencia del crecimiento urbano en los patrones de precipitación y temperatura en el D.F. México, UNAM, 1992. Tesis Licenciatura.
- CRUZ N., F. "Tendencias climáticas en la Cd. de México". Anuario de Geografía. Año XVI México, UNAM, 1976.
- FERNANDEZ C., F. Historia de la Cd. de México: orden y uso de sus espacios. México, UNAM, 1992. Tesis Maestría.
- GARCIA, E. Apuntes de climatología. México, 1983. 1a.ed. 1967. 153 p.
- GARCIA, E. Los climas del Valle de México. México, Colegio de post-graduados de Chapingo, Esc. Nal. de Agric., 1968.
- GARCIA, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México, 1988. 1a. ed. 1964.
- GARCIA, E. y VIDAL, R. "Ha disminuido la lluvia en los últimos años". Memorias VIII Congreso Nal. de Geografía. Tomo I. Toluca, Méx., 1981. pp. 138-147

- GARCIA, E. y VIDAL, R. "La tendencia de la precipitación en la parte central de México en los últimos 50 años". *Biótica*. Vol.6 No. 1. México, INIREB, 1981. pp. 103-115
- GODINEZ, L. "Datos mensuales de temperatura media y de precipitación total de estaciones del D.F. y del Edo. de México comprendidos entre 1921-75". Comunicación personal. México, UNAM, Inst. de Geog., 1993.
- GOMEZ R., J.C. Anomalías térmicas en la Ciudad de México y zona metropolitana. Comunicación personal. México, UNAM Fac. Filosofía, División de Estudios de Posgrado, 1993.
- GRIFFITHS, J. F. *Climatología Aplicada*. México, Publicaciones Cultural, 1985. 154 p.
- JAUREGUI O, E. "Efectos del clima urbano sobre los niveles de contaminantes en la Ciudad de México". *Geografía y desarrollo*. México, Vol. 1, núm. 2, 1988. pp. 37-44.
- JAUREGUI O., E. "Las investigaciones sobre clima urbano y contaminación del aire en la Rep. Fed. de Alemania." *Boletín del Instituto de Geografía de la U.N.A.M. México*, núm.5, 1974. pp. 71-90
- JAUREGUI O., E. "La isla de lluvia de la Ciudad de México". *Recursos hidráulicos*. Vol. III. No. 2. 1974 pp. 138-151.
- JAUREGUI O., E. *Mesomicroclima de la Ciudad de México*. México, UNAM, 1971. 87 p.
- JAUREGUI O., E. "Las tolveneras de la Cd. de México". *Ing. Hidráulica en México*. Vol. 14. No. 2. pp. 60-66

- JAUREGUI O., E. "Urban heat island development in medium and large urban areas in Mexico" Rev. Erkunde. Vol. 41, 1987.
- JAUREGUI O., E. "Las zonas climáticas de la Ciudad de México". Boletín del Inst. de Geografía. Vol.VI. México, UNAM, 1975. pp. 47-58.
- KATZMAN, I. Arquitectura del siglo XIX en México. México, UNAM, Centro de Inves. Arq., 1973.
- LAMB, H. H. Climate: present, past and future. London, Methuen, 1977. Vol. 2.
- LEYVA, A. Comunicación personal. México, UNAM, Inst. de Geofísica, Observatorio de Radiación Solar, 1994.
- LOMBARDO, S. "El códice Xólotl: fundación de México-Tenochtitlán". Atlas de la Ciudad de México. Colegio de México, 1988. pp. 45-47
- LOMBARDO, S. "México-Tenochtitlan en 1519". Atlas de la Ciudad de México. Colegio de México, 1988. pp. 47-50
- LOWRY, W.P. "The climate of cities". Scientific American. Vol. 217, No. 2, Agosto de 1967, pp. 15-23
- MADEREY, L.E. "Intensidad de la precipitación en el Valle de México". Bol. del Inst. de Geog. No, 10. México, UNAM, 1980. pp. 7-54.
- MESSMACHER, M. La Ciudad de México, sus problemas, pasado, presente y futuro. D.D.F. 1980
- MESSMACHER, M. México, megalópolis. México, SEP (foro 2000), 1987.

- MUMFORD, L. La ciudad en la historia. Buenos Aires, 1966.
- OLIVERA L., G. Control del crecimiento urbano de la ZMCM. Tesis de licenciatura, UNAM, 1989.
- ORGANIZACION Meteorológica Mundial. "El clima, la urbanización y el hombre". Programa Mundial sobre el clima. 16 págs. sin año.
- QUIJANO, A. "Dependencia, cambio social y urbanización". Rev. Mex. de Sociología. Año XXX, Vol.3, Jul-Sep 1968.
- RASCON Ch., O. A. Introducción a la estadística descriptiva. Vol. II. México, UNAM, 1970. 385 p.
- RUBI S., E. Cambios en la temperatura y en la precipitación de la Ciudad de México de 1961 a 1980. México, UNAM, 1991. Tesis Licenciatura.
- SCOTT, I. Urban and spatial development in Mexico City. John Hopkins University, Baltimore-London, 1982.
- SERVICIO Meteorológico Nacional. "Datos mensuales de temperatura media y precipitación total de 46 estaciones del D.F. y de 34 estaciones del Edo. de México. Períodos comprendidos entre 1975 y 1990". Comunicación personal. México, SARH, SMN, Depto. de informac. climatológica, 1993.
- S.P.P. Carta topográfica. 1:250 000, Méx., Tlax., D.F., Pue., Hgo., Mor., Cd. de Méx. Clave E14-2, compil. de cartas 1: 50 000 de la Direcc.Gral. de Geog. del Territ. Nacional de 1973-1981. 6a. reimp. 1991.



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFÍA