

N=4
REV.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

INFLUENCIA DEL CRECIMIENTO URBANO SOBRE
LOS PATRONES DE PRECIPITACION Y
TEMPERATURA EN EL ESTADO FEDERAL



P R E S E N T A :

GLORIA CAMACHO MARTINEZ

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

DIRECTOR DE TESIS: FELIPE GARCIA OLIVA



MEXICO, D. F.



JULIO DE 1992

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

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.

CONTENIDO

RESUMEN

	Pag.
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES.....	2
1. Cambios climáticos	2
Causas de los cambios climáticos	3
Balance energético	4
2. Clima urbano	5
Cambios térmicos	5
Cambios hidrológicos.....	8
Cambios aerodinámicos	10
Isla urbana de calor	11
Domo de polvo	12
Isla de lluvia	13
Inversión térmica.....	13
3. El clima de la Ciudad de México	16
Circulación general atmosférica	16
La cuenca de México	18
Precipitación.....	19
Temperatura	20
4. El crecimiento de la ciudad de México.....	26
Primera etapa (1900-1930).....	26
Segunda etapa (1930-1950).....	27
Tercera etapa (1950-1970).....	29
Áreas verdes	30
Contaminación atmosférica.....	31
5. Influencia del crecimiento urbano	
en el distrito Federal.....	37
Radiación solar.....	37
Temperatura.....	38
Humedad relativa	40
Precipitación	41

METODO.....	45
Area de estudio	45
División espacial	45
División temporal	47
Temperatura	48
Componentes principales	48
Análisis de datos	49
Precipitación	50
Distribución gamma	50
Análisis de datos	52
RESULTADOS.....	55
Areas verdes.....	55
Temperatura	58
Precipitación	60
DISCUSION	80
CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFIA	89

RESUMEN

A partir del hecho de que la urbanización trae consigo importantes cambios ambientales, el presente trabajo tiene como fin determinar las modificaciones que se han presentado en el clima por efecto del crecimiento de la mancha urbana, en la zona del Distrito Federal. Para ello se trabajó con los registros de trece estaciones distribuidas en la zona. Se analizaron los parámetros de temperatura media, mínima y máxima mensual, así como la precipitación mensual, este análisis se hizo en base a una división temporal y espacial de la zona de estudio, esta última en base a la cantidad de áreas verdes presentes.

La temperatura se analiza por medio de componentes principales y pruebas de comparación de Tukey, así como ANOVAS de dos factores. El análisis de la precipitación se basa en el ajuste a la distribución gamma y pruebas de comparación de un factor.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican, que tanto la temperatura como la precipitación, han tenido incrementos significativos que están relacionados con el crecimiento urbano y demográfico. En el caso de la temperatura, la mínima es la más afectada por el deterioro ambiental. En la precipitación también se presenta una tendencia a modificar el patrón de lluvias en las diferentes etapas de crecimiento urbano. La lluvia se concentra en los meses que no son típicamente húmedos en la zona cercana al centro de la ciudad. Es decir, las zonas más cercanas al centro urbano son las que presentan modificaciones más severas en su microclima, en relación a las que se localizan en la periferia. Esto indica que el deterioro ecológico introducido por el desmesurado crecimiento urbano ha modificado las condiciones climáticas del lugar.

INTRODUCCION

El creciente deterioro ecológico mundial ha traído una serie de problemas de orden tanto social, ecológico, etc. En este sentido, uno de los aspectos que más ha llamado la atención en los últimos años es el climatológico. Se ha comprobado que la atmósfera de la Tierra está sufriendo un calentamiento general, debido a la modificación en la composición atmosférica. El origen se encuentra en las actividades humanas tales como la industria, la combustión de autos, calefacciones, tala de bosques, etc.

Sin embargo este problema es más acusado a nivel local, en especial en las grandes ciudades. La concentración de la población, reducción de áreas verdes, aumento de edificaciones y asfaltos, entre otros elementos, terminan por modificar el clima local.

Uno de los factores que incide sobre el clima de manera importante es el crecimiento de la mancha urbana. La ciudad de México ha tenido varias etapas de conurbación con el Estado de México, extendiéndose con ello cada vez más el área de pavimento. Es así como surge la idea de estudiar el efecto del crecimiento de la mancha urbana sobre dos de los elementos climáticos más importantes: la temperatura y la precipitación. Teniendo como objetivo principal determinar la variación que han presentado la temperatura y la precipitación en la ciudad de México en relación al crecimiento de la mancha urbana.

ANTECEDENTES

1 CAMBIO CLIMATICO

La atmósfera terrestre no ha sido siempre como es hoy. Tanto su composición gaseosa como los contenidos de calor y humedad han cambiado desde el comienzo de la Tierra.

Los científicos, entre ellos los climatólogos, estudian los cambios del clima de la Tierra sucedidos en periodos muy prolongados, de miles y trillones de años, por el motivo de que todo progreso en el conocimiento de la historia de la Tierra, ofrece la posibilidad de explicar el comportamiento del clima actual.

Los climatólogos también estudian los cambios de clima en periodos más cortos y a escala local, debido a que se han hecho investigaciones en donde se comprueba que algunos de los cambios más recientes, son causados por las actividades del hombre. Estos cambios o alteraciones climáticas pueden provocar serios daños tanto a la flora y fauna naturales, como a la misma sociedad, ya que puede alterar el balance térmico e hidrológico, afectando con ello, la disponibilidad de agua, las cosechas, la salud, etc. Así, si llegamos a saber cómo estamos cambiando ó afectando el clima en forma destructiva, entonces se podrán tomar medidas para evitar esta destrucción.

Según la Academy of Sciences (1975), las alteraciones climáticas se pueden definir en forma diferente de acuerdo a la escala de tiempo en que se presente. De tal modo se tienen desde una concepción amplia, cuatro conceptos referidos a los cambios ó alteraciones climáticas:

Estado climático. Es definido como el promedio de un periodo completo de las variables atmosféricas e hidrosféricas en un periodo de tiempo y lugar específicos del sistema tierra-atmósfera.

Variación climática. Es definida como la diferencia entre estados climáticos. Por ejemplo, la diferencia entre meses, años, estaciones, ó décadas. La frase "cambio climático" es usada en sentido más estricto, pero en general es sinonimo de esta definición.

Anomalia climática. Esta se puede definir como la desviación de un estado climático individual, desde el promedio de un gran número de estados climáticos del mismo tipo. Por ejemplo una anomalia climática representada por un enero ó un año atípico.

Variabilidad climática. Es definida como la varianza entre un número de estados climáticos del mismo tipo, por ejemplo, mensual, estacional, anual, etc.

CAUSAS DE LOS CAMBIOS CLIMATICOS

Existen diversos factores que provocan cambios climáticos. Según Barry (1978) estos se pueden dividir en internos y externos.

Factores externos. Son aquellos procesos, que se producen fuera del sistema tierra-atmósfera. Estos tienen influencia sobre todo a escala global y son los responsables de los cambios climáticos en el pasado geológico. Entre ellos se encuentran:

- a) cambios en la radiación solar. Relacionado al ciclo de las manchas solares.
- b) Tectónica de placas. Relacionado a épocas glaciales, que parecen coincidir con la presencia de continentes en las latitudes altas septentrionales y meridionales.
- c) Orbita terrestre. En esta se consideran tres elementos que interactúan. i) la forma de la órbita elíptica, que afecta la radiación total anual recibida por la tierra. ii) La inclinación del eje terrestre, que modifica el contraste verano/invierno. iii) El periodo de perihelio, que determina el calentamiento

relativo del verano/invierno en el hemisferio respectivo.

Factores internos. Estos se dan a nivel del sistema tierra-atmósfera. Tienen influencia local y a corto plazo. Y son los responsables de las modificaciones de las características climáticas de algunas grandes ciudades del mundo.

Entre estos factores se pueden mencionar los siguientes:

- a) cambios en la composición atmosférica.
- b) cambios en el balance hidrológico.
- c) cambios en los regimenes de vientos.
- d) cambios en las propiedades de la superficie terrestre.

BALANCE ENERGETICO

De toda la radiación que llega a la Tierra, el 2% es absorbida en la estratosfera, principalmente por el ozono; el 15% es absorbida por el ozono, el vapor de agua y las nubes; el 23% de la energía es reflejada de nuevo hacia el espacio por las nubes y un 7% por la superficie terrestre. Otro 8% es difundido hacia arriba por las moléculas de aire, las gotas de agua de las nubes y las partículas de polvo. El 47% restante llega a la superficie de la Tierra en forma directa (31%) y en forma de radiación difusa (16%) (Barry y Chourley, 1978). Esta energía es indispensable para evaporar enormes cantidades de agua en las superficies oceánicas. Una cantidad pequeña pero esencial es convertida para sostener y permitir el crecimiento de los sistemas biológicos.

A su paso por la atmósfera, la radiación solar es dispersada prácticamente por todos los gases que la forman; además de la dispersión, el vapor de agua atmosférico, bióxido de carbono, ozono, oxígeno y metano absorben radiación solar selectivamente en el ultravioleta, visible y cercano al infrarrojo, absorbiendo y emitiendo también radiación térmica (Galindo, 1989).

2 EL CLIMA URBANO

El crecimiento desmesurado de las ciudades ha producido cambios sustanciales en la superficie que ocupan y en las propiedades de la atmósfera que las rodea, así como en su entorno ó medio ambiente. Estos cambios involucran la alteración de las características de absorción y dispersión de la radiación solar, así como térmicas, de humedad y aerodinámicas de la atmósfera, afectando principalmente los balances de energía e hidrológico. Por esto, el clima de una ciudad se diferencia cada vez más del clima rural que la circunda, y se le ha caracterizado precisamente como "clima urbano" (Lowry, 1966; Griffiths, 1985).

En general, los cambios ambientales generados por la construcción de grandes ciudades, que alteran las características climáticas naturales de su espacio, se clasifican como de carácter térmico, hidrológico y aerodinámico (Griffiths, 1985).

Cambios Térmicos.

En las zonas rurales la superficie está compuesta por rocas, suelo y vegetación. Debido a la porosidad y humedad del suelo, la superficie rural tiene una conductividad térmica y calor específico bajos en relación a la superficie urbana. Por ello, la cantidad de calor que puede almacenar en el día es menor. Además un alto porcentaje de radiación solar es reflejada a la atmósfera; ya que la vegetación actúa como un cobertor que protege al suelo de la radiación. En consecuencia, la energía de onda larga emitida por la tierra para calentar el aire es baja. Aunque la insolación en el campo puede ser muy alta durante el día, debido a la transparencia de su aire, la temperatura no lo es y se atenúa aún más por la evaporación. Por esta misma razón, la temperatura en la noche baja considerablemente.

La ciudad en cambio, se caracteriza por cubrir extensas áreas de pavimentos y concretos. La mayor parte de los materiales

que constituyen la ciudad son pétreos (edificios, calles, azoteas, etc.); estos conducen el calor unas tres veces más rápido que la tierra arenosa y húmeda del campo (Lowry, 1967). Esto quiere decir, que los materiales de la ciudad almacenan mayor cantidad de calor en menos tiempo.

Un aspecto muy característico de las ciudades es que forman un gran complejo de estructuras de diversas formas, tamaños y orientaciones. Las paredes de los edificios, las azoteas y calles reflejan la radiación y esta vuelve a chocar con superficies similares, altamente absorbentes. Además, cuando la radiación choca con superficies verticales, éstas no la reflejan hacia el espacio, sino al suelo; de modo que el calor permanece cerca de la superficie (Lowry, 1967).

Una característica más de las ciudades es que poseen innumerables fuentes emisoras de calor, como son las chimeneas, aparatos de aire acondicionado, estufas, calderas, fábricas, automóviles, etc. El calor desprendido por la combustión aumenta directamente la temperatura. Pero ésta no sólo desprende calor, sino también elementos que son ajenos a la composición natural de la atmósfera; ó bien aumentan considerablemente su concentración (Gribbin, 1978, Lowry, 1967).

Debido a la capacidad que tiene la atmósfera para retener el calor, los científicos dedicados a la atmósfera consideran que el aumento del CO_2 y otros gases consolidará y hará el clima más cálido (Gribbin, 1978; Griffiths, 1985; Schneider, 1989).

Entre los elementos más contaminantes que afectan el clima se encuentran el bióxido de carbono (CO_2), óxidos nitrosos (NO_x , NO) dióxido de azúfre (SO_2), los clorofluorometanos y el polvo entre otros.

Bióxido de carbono. - Desde el advenimiento de la Revolución Industrial, el uso de petróleo y gas natural ha producido bióxido de carbono en grandes cantidades. De la cantidad que emerge de fábricas, automóviles, y otras fuentes; cerca de la mitad es

llevada a la atmósfera y la otra mitad se disuelve en el oceano y la biomasa. (Gribbin, 1978)

El CO_2 tiene efectos sobre el balance térmico. Es virtualmente transparente a la radiación solar, es decir, la absorbe. No obstante, absorbe la radiación infrarroja proveniente de la tierra. De este modo, gran parte de la energía calórica, que en condiciones naturales escaparía al espacio, es retenida en forma eficaz en la parte baja de la atmósfera por el CO_2 .

El contenido de bióxido de carbono en la atmósfera se ha estimado en 280 partes por millón por volumen (ppm/v). En los años 70's se calculó en 320 ppm/v, y las estimaciones para el año 2000 son de 390 ppm/v (Gribbin, 1978).

Los Clorofluorometanos.- son contaminantes adicionados a la atmósfera en las últimas décadas por el hombre, y tiene efectos notorios en la destrucción de la capa de ozono. Estos gases son usados como refrigerantes y aerosoles propulsores. Son extremadamente estables (no reaccionan con otros elementos), no tóxicos y persistentes en la troposfera por largos periodos de tiempo (Gribbin, 1978). Estos gases, al igual que el CO_2 , absorben la energía infrarroja proveniente de la superficie terrestre.

Los Oxidos Nitrosos. Constituyen una buena parte de los elementos producidos por la industria y las fuentes vehiculares. Estos tienen la propiedad de actuar como núcleos de condensación y núcleos de congelación (porque bajan la temperatura por debajo de 0°C), esto es, pueden iniciar la formación de nubes (Gribbin, 1978).

Los nitratos.- Así como otros compuestos oxidantes, en combinación con la humedad atmosférica ó por reacciones fotoquímicas, se transforman en contaminantes secundarios de mayor capacidad de oxidación como el ácido nítrico. Estos penetran en los tejidos foliares, durante el intercambio gaseoso

que las plantas tienen que efectuar para realizar los procesos de fotosíntesis y respiración. El resultado de esto es amarillamiento de las hojas e inflorescencia, lo que a su vez impide la producción de frutos y semillas, interrumpiendo su ciclo de vida normal y degradando la vegetación (Cruz, 1989).

El Dióxido de Azufre. - Es un elemento introducido a la atmósfera principalmente por la industria de celulosa, papel, pulpa y centrales térmicas. Una vez en la atmósfera, el dióxido de azufre se transforma en finas partículas de sulfato. Las partículas llegan muy lejos y actúan como núcleos de condensación para la formación de gotitas de nubes, dando origen a lo que se conoce como "lluvia ácida" (Schneider, 1989). Este elemento dispersa la radiación de onda corta, causando un enfriamiento en las capas altas. En cambio, impide que la radiación infrarroja escape y produce un calentamiento superficial.

Polvo. - Está integrado por partículas de suelo, producto de la deforestación; ollín, producido por la industria; y el plomo, arrojado por automóviles e industrias. Alrededor de un 90% de estos contaminantes sólidos se encuentran en forma de partículas, que son suficientemente pequeñas como para quedar suspendidas durante varios días en la atmósfera, mientras no está en movimiento (Lowry, 1987).

El polvo contenido en el aire de las ciudades es de 4 a 1000 veces mayor que el de las zonas rurales (Griffiths, 1985). Y a pesar de que colectivamente estas partículas tienden a reflejar la luz solar, reduciendo la cantidad de radiación que llega a la superficie, también impide que el calor que se genera en superficie escape al espacio (Lowry, 1987).

Cambios Hidrológicos.

En la zona rural, la lluvia cae directa o indirectamente sobre un suelo de naturaleza permeable, reduciéndose el

escurrimiento superficial. En cambio, en las ciudades el hombre cambia las condiciones de la superficie a través de calles, pavimentos, azoteas, etc. Esto aumenta el escurrimiento superficial, incluso durante las lluvias ligeras.

Griffiths (1965) menciona que si en un estacionamiento con superficie de 30 por 30m cae una lluvia de 1cm, producirá 9m³ de agua. Si el agua no se drenara, el estacionamiento se inundaría. Incluso los conductos de las azoteas conducen bastante agua al sistema de drenaje urbano. El mismo autor cita un estudio sobre la impermeabilización del suelo, el cual tuvo lugar en la ciudad de Kitmat, en Columbia Británica. Con base en observaciones de campo, se predijo que la tala de árboles y la pavimentación de las superficies conduciría a inundaciones; por esta razón, se impidió el desarrollo de actividades en la parte más baja del Valle. Y efectivamente, unos años más tarde se presentaron inundaciones que sobrepasaron a las registradas anteriormente.

En el campo, gran parte de las precipitaciones permanecen sobre la superficie ó inmediatamente debajo de ella; y está disponible para ser evaporada. En cambio, en los centros urbanos se altera el proceso de evaporación, ya que las superficies pavimentadas no retienen el agua; y la energía calorífica que habría sido utilizada para llevar a cabo el proceso se encuentra disponible para calentar el aire circundante (Lowry, 1967).

Los gases contaminantes y el polvo producido por la ciudad, también alteran el balance hidrológico. Algunas de estas partículas tienen propiedades higroscópicas, es decir, presentan cierta afinidad por el agua y forman el núcleo alrededor del cual se efectúa la condensación. A estas partículas se les conoce como núcleos de condensación ó partículas higroscópicas. Entre las principales se encuentran las partículas de sal, arcilla y partículas de hollín (García, 1983). En las zonas urbanas, esto contribuye al aumento de la precipitación. En algunas ciudades el aumento es considerable, a veces mayor de 5 a 10%.

Un estudio sobre tormentas eléctricas realizado en el área de Londres, demostró que caía 30% más de lluvia sobre la ciudad en relación a las áreas circundantes (Lowry, 1987). Esto puede ser causado por la combinación de partículas y aumento en la convección del aire, efecto conocido como "isla de calor" (Jáuregui, 1978).

Cambios Aerodinámicos.

La energía cinética del sistema tierra-atmósfera está representada por el viento. Sólo los procesos que involucran fuerzas pueden producir energía cinética. De esta forma el movimiento de la atmósfera (o el océano) a favor o en contra de la fuerza de gravedad, convierte energía potencial (representada por la temperatura) en energía cinética ó viceversa (Galindo, 1990).

En los centros urbanos, la rugosidad natural de la superficie ha sido alterada. Las numerosas estructuras de la ciudad tienen un efecto frenador sobre el viento, aumentando por tanto su turbulencia y reduciendo la cantidad de calor que arrastra consigo; ya que entonces el viento se mueve más en la vertical que en la horizontal.

Al aumentar la rugosidad, aumenta también la altura de la capa de viento afectada. En un ejemplo citado por Griffiths (1985), se demostró que la velocidad del viento alcanzó 95% de la velocidad del aire libre a 200m sobre el nivel del campo; a 300m sobre los suburbios circundantes y a 400m por encima de la ciudad.

La reducida velocidad del viento tiende a concentrar la contaminación, así como el periodo de estancamiento. A su vez, dentro de los límites que conforman la zona urbana, se produce una canalización del flujo del aire y un aumento en la turbulencia, formando remolinos. También los árboles que se encuentran a lo largo de caminos y banquetas tienen una

participación importante en la reducción de la velocidad del viento.

Todas las alteraciones a nivel energético, hidrológico y aerodinámico, que el hombre ha provocado en las ciudades en aras del desarrollo; han propiciado ciertos fenómenos muy característicos de las grandes y complejas ciudades.

Estos fenómenos son la isla de calor urbana, isla de lluvia urbana y el domo de polvo. Además otro fenómeno, que si bien no es propio de las ciudades, si es donde ha llamado la atención tanto de los habitantes en general, como de los estudiosos sobre el clima urbano; debido a los problemas que causa en la salud: la inversión térmica.

Isla urbana de calor

En la ciudad el aire normalmente tiende a ser más caliente que en la zona rural inmediata. Este efecto se llama "isla de calor urbana" (Jáuregui, 1975).

Mientras que la ciudad muestra una elevación radial centripeta de la temperatura, el entorno rural es más frío. En los límites de la ciudad se encuentra un gradiente horizontal de temperatura que puede llegar a alcanzar valores de $4^{\circ}\text{C}/\text{km}$. la diferencia entre la temperatura del aire en la zona urbana y la temperatura del entorno rural define la intensidad de la isla de calor (Galindo, 1980).

Si se trazan isotermas sobre un mapa, estas muestran las más altas temperaturas agrupadas alrededor del centro de la ciudad, apareciendo las más bajas en forma radial hacia las zonas suburbanas y el campo.

En un estudio realizado en Londres, se encontró que las temperaturas máximas medias de la ciudad, las zonas residenciales suburbanas y el campo de los alrededores eran respectivamente 14.6 , 14.2 y 14°C ; y las mínimas medias 7.3 , 6.2 y 5.4°C (Lowry, 1967). La mayor diferencia en las temperaturas mínimas se debe a

que la ciudad tiene funcionando numerosas fuentes que producen calor (fábricas, automóviles, etc.); pero sobre todo, porque la atmósfera urbana tiene una capa de gases que retienen la energía proveniente de la superficie, atenuando el enfriamiento.

Lowry (1967), destaca un estudio realizado por Murray, este investigador encontró tres pruebas de que el conjunto de las condiciones climáticas de la ciudad, tiene como causa principal a la propia ciudad y no a otras variables. La primera es que las ciudades presentan isla de calor tanto si se encuentran en zonas planas, como si se encuentran en terrenos muy accidentados. La segunda, que los registros de temperatura muestran una diferencia marcada entre los días laborables y entre los fines de semana, ya que entre semana aumenta el número de fuentes generadoras de calor. Y la tercera, que el tamaño de la isla de calor y la diferencia de temperatura entre la ciudad y el campo aumentan con la población.

Domo de polvo

Las diferencias físicas entre la ciudad y las zonas rurales que la circundan, originan una circulación local de vientos que favorece la formación del "domo de polvo". En la ciudad, el aire caliente se concentra en la zona de mayor edificación, que en general representa al centro, donde se localiza la isla de calor. A partir de que el sol empieza a calentar la superficie, el aire asciende en el centro de la ciudad. Sube, y se desplaza hacia las afueras y es reemplazado por el aire que sigue fluyendo del centro. De esta forma se establece una circulación local del viento, la cual se debilita hacia la tarde, ya que la diferencia de temperatura entre la ciudad y el campo es menor. Al ponerse el sol, la diferencia de las temperaturas es nuevamente más acusada y el ciclo local del viento se revigoriza (Lowry, 1967).

El aire de la ciudad contiene una gran cantidad de contaminantes. Las partículas de mayor dimensión, con un diámetro mayor a 5 μm , se precipitan muy pronto y permanecen en la ciudad.

Las de menor tamaño quedan suspendidas en el aire y son fácilmente transportables por el viento a las afueras de la ciudad. Además participan en los procesos de condensación (Griffiths, 1983). Es así como se forma el domo de polvo en la ciudad; la parte central corresponde al centro de la ciudad y tiene el mayor espesor. El grosor del domo disminuye conforme se encuentra más lejos de la ciudad.

Isla de lluvia.

Una de las características meteorológicas locales inducidas por la presencia de la ciudad, es el aumento de lluvia que se registra en el área urbana en relación con las áreas rurales vecinas. En estudios hechos en ciudades de latitudes templadas, se ha observado que los máximos de lluvia urbana ocurren, generalmente, durante el verano y están asociados al paso de frentes calientes ó estacionarios (Jauregui, 1975). Los cuales conducen a una intensificación de la actividad convectiva en el área urbana.

Las características que introducen cambios en la cantidad de lluvia precipitada dentro del área urbana son como ya se mencionaron:

1) El aire de la ciudad contiene gran cantidad de núcleos de condensación y congelación. 2) Debido a la rugosidad de la superficie urbana, aumenta la turbulencia del aire. 3) El aumento de la temperatura en la ciudad facilita la convección térmica, que puede dar lugar a lluvias de tipo convectivo.

Inversión térmica

Las inversiones térmicas no son propias de la ciudad. Se presentan en diversos lugares de la superficie, sobre todo en invierno, cuando la nubosidad es mínima y la circulación del aire lenta. En general se presentan por las noches y terminan por la mañana siguiente, cuando el sol calienta la superficie.

Bajo condiciones normales en la troposfera, la temperatura

disminuye al aumentar la altitud. Aunque esta disminución no es uniforme, ya que varía con la hora del día, la estación del año, la humedad y la situación del lugar, el promedio mundial es de 0.65°C por cada 100m de aumento en altitud y se le conoce como gradiente de temperatura. (García, 1983)

El aire es más caliente cerca de la superficie, ya que absorbe la energía proveniente de ésta. También por diferencia de presión; es decir, a mayor altitud, la masa de aire ocupa mayor volumen, se expande y se enfría. En cambio cuando una masa de aire desciende, se comprime y ocurre el proceso contrario. Cuando las capas de aire no coinciden con ésta característica, se dice que hay inversión térmica. Es decir, cuando una capa de aire tiene una temperatura mayor que la capa sobre la cual descansa (García, 1983).

Durante el verano, el sol calienta el suelo y la capa inmediata de aire. Como esta se encuentra sobrecalentada por estar cerca de la superficie, se expande y sube por medio de corrientes ascendentes. En cambio, durante el invierno las temperaturas bajas, la circulación lenta del aire y la escasa humedad, favorecen el escape del calor hacia las capas superiores de la atmósfera. La capa de aire inmediata a la superficie sufre un rápido enfriamiento; de modo que las capas superiores se encuentran más cálidas. Esto da lugar a la inversión térmica del aire. La capa fría de aire no puede ascender, porque es más pesada. De esta forma la circulación del aire se interrumpe, desaparece la turbulencia y los movimientos verticales del aire.

Durante la mañana siguiente, el sol nuevamente empieza a calentar la superficie, y por ende, la capa baja de aire. Este se volverá más ligero y subirá por medio de corrientes verticales, que a su vez darán inicio a la circulación local del viento. Entonces se rompe la inversión térmica, es decir, las capas superiores volverán a ser más frías. Este rompimiento ocurre en general cerca del medio día, cuando la incidencia de los rayos solares sobre la superficie es más pequeño y el calentamiento

más efectivo.

La preocupación que este fenómeno ha generado en los habitantes de las ciudades, es porque se ha dado una información a niveles masivos, sobre algunos efectos que puede causar en la salud. El problema radica en que la atmósfera de las ciudades tiene una gran cantidad de gases y partículas contaminantes. Debido a que durante la inversión el aire no puede ascender, los contaminantes permanecen cerca de la superficie y son inhalados constantemente por los habitantes. Esto provoca daños sobre todo a las vías respiratorias. Al romperse la inversión, los contaminantes se elevan y la ciudad se despeja.

Cuando más bajo se encuentre el nivel de la capa de inversión, más fácilmente se romperá por la mañana. En los casos de inversión más severos, ésta comienza cerca de los 400 m sobre la superficie. Sin embargo, la mayoría inicia cerca de los 200 m sobre el nivel del suelo y las inversiones leves a menos de 100 m (Ezcurra, 1990).

EL CLIMA DE LA CIUDAD DE MEXICO

La situación geográfica de la Ciudad de México, hace que tanto la Cuenca en general, como la Ciudad en particular, estén afectados por una circulación atmosférica que permite definir dos aspectos: por una lado, la época fría y seca del año, y por otra, la época cálida y húmeda. La Ciudad de México también tiene otro aspecto importante, que es el tipo de precipitación.

CIRCULACION GENERAL ATMOSFERICA

En términos de la circulación general de la atmósfera, la República Mexicana se encuentra dentro de la zona tropical y subtropical del hemisferio norte. De modo que la parte sur se ve afectada por los vientos alisios, así como por ciclones tropicales; y la parte norte se encuentra dentro de la faja subtropical de alta presión (García, 1966). A lo largo de la cual se encuentran los anticiclones oceánicos del Atlántico norte y Pacífico norte, así como los vientos del Oeste, y las masas de aire polar que proceden de latitudes altas.

Vientos del Oeste.

Durante la época fría del año, la faja subtropical de alta presión, así como la zona de los vientos alisios, se desplazan hacia el sur; dominando los vientos del oeste en el norte y la porción central del país (García, 1966). Debido a la altitud de la Altiplanicie Mexicana y las montañas que la rodean, tiene contacto con la base de la zona de vientos del oeste, que son características de latitudes medias.

Estos vientos proceden de una de las dos corrientes en que se bifurcan los vientos descendentes subtropicales y tienen una dirección SW-NE. Son menos húmedos que los alisios, e imprimen la sequedad que caracteriza al clima durante el invierno en la mayor parte del país.

Ciclones Extratropicales.

En las latitudes subtropicales, tienen lugar ciclones extratropicales, que se originan al sur de Canadá y norte de los EE.UU y se intensifican al este de las montañas Rocallosas. El anticiclón se desplaza al noreste y es empujado hacia el sur. (Jáuregui, 1975). Cuando el aire frío continental se encuentra con la masa de aire marítimo, relativamente más cálido y húmedo, se forma un frente que forma un amplio arco. Este frente abarca desde las costas de Texas, hasta las costas del Atlántico. A partir de aquí, el frente inicia un recorrido en el que barre las costas del Golfo de México (Jáuregui, 1975). De esta forma se producen lluvias de tipo frontal en toda la vertiente del Golfo, excepto en el sureste, incrementando su porcentaje de lluvia invernal.

Mientras las características de las masas convergentes (de aire polar continental y aire marítimo cálido) son más acusadas, la intensificación del frente será mayor. Cuando la intensidad de estos frentes es considerable, alcanzan a llegar a la zona del centro del país, influyendo en el clima de toda la cuenca de México. Generalmente, esta influencia produce descensos en la temperatura y aumento en la precipitación (Jáuregui, 1975; García, 1980).

Vientos alisios.

Durante el verano, la zona subtropical de alta presión se desplaza hacia el norte, y con ella la zona de baja presión ecuatorial. Los vientos del oeste ceden terreno a los vientos alisios (con dirección NE-SW), que aumentan su intensidad, latitud y altura. Por lo cual, prácticamente todo el país queda bajo la influencia de los vientos alisios.

Los vientos alisios son la otra rama de las corrientes descendentes subtropicales, y emigran hacia el sur. El contenido de humedad de estos vientos depende de la superficie que atraviesan. Si ésta es el mar, son vientos húmedos; si atraviesan

el continente son vientos secos. Por otro lado si estos vientos se ven obligados a ascender sobre una montaña, se enfrían y condensan el vapor de agua, produciendo lluvias. Si descienden sobre la ladera de sotavento, se calientan por compresión y son secos. Los vientos alisios atraviesan el Golfo de México, por lo cual tienen un alto contenido de humedad y producen lluvias copiosas en la mayor parte del país (Jáuregui, 1975).

Ciclones tropicales.

Durante el verano y parte del otoño, se originan en el Mar las Antillas y en el oceano Pacifico, centros de baja presión que dan origen a tempestades giratorias llamadas ciclones tropicales. Estos son menos extensos que los ciclones extratropicales, pero más intensos (Jáuregui, 1975). Su mayor frecuencia es en septiembre. Debido a que muchas de sus trayectorias corren paralelas a las costas del país, o se internan en el continente, inciden sobre el clima de la Ciudad de México, sobre todo en la precipitación, ya producen abundantes lluvias que llegan a durar varios días.

LA CUENCA DE MÉXICO

La Ciudad de México se encuentra ubicada en la parte suroeste de la Cuenca de México. Y dado que ésta presenta características muy particulares (sobre todo en el aspecto topográfico) tiene influencia directa sobre la climatología de la Ciudad.

La cuenca de México es una unidad hidrológica cerrada, pero actualmente está drenada en forma artificial, y cuenta con aproximadamente 7000 km². Su parte más baja es una planicie lacustre con una elevación de 2240 m.s.n.m. La Cuenca se encuentra rodeada en tres de sus lados por una serie de sierras volcánicas de más de 3500 m de altitud. La Sierra del Ajusco hacia el sur, la Sierra Nevada al este y la Sierra de las Cruces

al oeste. Hacia el norte se encuentra limitada por sierras de menor altitud como la de Tepozotlán, Patlachique, Sta. Catarina, etc. Los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl, (los más altos de la Cuenca) tienen una altitud de 5465 y 5230 m.s.n.m respectivamente (figura 1).

Según el sistema de Koeppen, la Cuenca de México tiene dos climas. CW (templado con lluvias en verano) en la porción sur y poniente, desde la planicie hasta la región montañosa del parteaguas, y donde se incluye la Ciudad de México. Y BS (seco estepario) en la zona centro, noroeste y norte (figura 2). Sin embargo, de acuerdo con la modificación de este sistema hecha por García (1966), el clima BS se encuentra también en algunas zonas del Distrito Federal.

Precipitación

La sucesión de sierras que rodean a la Ciudad de México determinan el tipo de precipitación que ahí tienen lugar. Escencialmente son de dos tipos: orográfica y convectiva.

Precipitación orográfica. Durante el verano, el aire marítimo procedente del Golfo de México, llega al continente cargado de humedad. Cuando choca con el sistema de montañas que rodea la Cuenca de México, se ve forzado a ascender y se enfría adiabáticamente, produciendo nubes de precipitación copiosa (García, 1963).

Precipitación convectiva. Este tipo de lluvia resulta del enfriamiento adiabático del aire, que asciende debido al calentamiento de la superficie sobre la que descansa. De este ascenso por convección se originan nubes cúmulus ó cumulonimbus, que pueden alcanzar varios kilómetros de altura y la precipitación que producen es muy abundante. Se presenta durante la estación calurosa del año (que también es la estación húmeda) y durante las horas más calidas del día; pues es cuando la

superficie alcanza el mayor calentamiento y facilita la convección del aire (Jáuregui, 1971). Estas lluvias no abarcan grandes extensiones, ya que las nubes que la producen aunque son de gran altura, sólo cubren extensiones relativamente pequeñas, y producen aguaceros intensos de corta duración.

Dentro de la Cuenca de México, se puede observar un gradiente en la cantidad de lluvia. Cerca de 700 mm en la base de las montañas que limitan la Cuenca. Las zonas más secas son la porción noreste, que tiene de 400 a 500 mm al año, y la porción central con menos de 600 mm. La cantidad de precipitación aumenta sobre las laderas montañosas. Las partes más lluviosas son la cresta de la Sierra de las Cruces y del Ajusco, con más de 1500 mm año; y las laderas de la Sierra Nevada, con alrededor de 1200 mm (García, 1966; Ezcurra, 1960). Debido a que el Distrito Federal se encuentra ubicado al suroeste de la Cuenca y está cercano a la Sierra del Ajusco; la parte sur es la zona con más abundancia de lluvias. En cambio, la zona norte presentan lluvias escasas. Y en la zona del Distrito Federal, dominan las lluvias de tipo convectivo (figura 3a).

Temperatura

Debido a que la topografía de la Cuenca de México es muy variada, los climas que en ella se presentan van desde templados a muy fríos.

De acuerdo con García (1966), a medida que aumenta la altitud de las montañas que rodean la Cuenca de México, la temperatura disminuye en una proporción media de 0.49°C por cada 100 m. En las partes más elevadas de las sierras de las Cruces y del Ajusco, la temperatura baja hasta unos 5 ó 6°C ; y en las partes más altas de la Sierra Nevada, la temperatura media anual desciende a menos de -2°C .

La isoterma anual de 15°C se localiza en las partes bajas de las sierras que rodean la Ciudad de México y está relacionada con

la isolinéa de 2300 m. La Ciudad de México presenta temperaturas medias anuales que varían de 16 a 17°C, es decir, que son las más altas de la cuenca (figura 3b).

García (1966) define cinco zonas térmicas para la Cuenca de México:

1) Zona Templada. con temperatura media anual entre 12 y 18°C, que comprende el lecho de la Cuenca y las laderas de las montañas que la rodean hasta una altitud de 2900m aproximadamente.

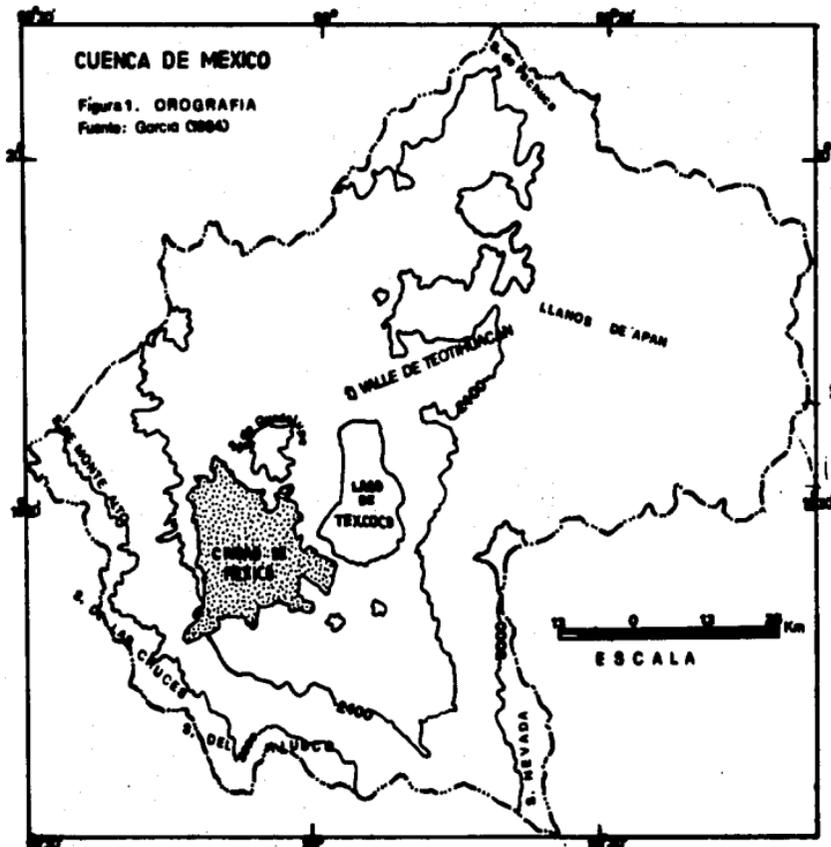
2) Zona fría. Con temperatura media anual entre 5 y 12°C. Abarca las laderas montañosas de altitud comprendida entre 2800 y 4000m de las sierras de las Cruces, del Ajusco y la S. Nevada, así como algunos cerros del NE, su límite superior coincide con el de la vegetación arbórea.

3) Zona fría, con temperatura media anual entre -2 y 5°C. Comprende la porción de las pendientes montañosas de la S. Nevada con altitudes entre 4000 y 5272m.

4) Zona muy fría, con temperatura media anual inferior a -2°C. Este tipo de clima sólo se encuentra sobre las partes más elevadas del Popocatepetl e Iztaccihuatl.

CUENCA DE MEXICO

Figura 1. DROGRAFIA
Fuente: Garcia (1984)



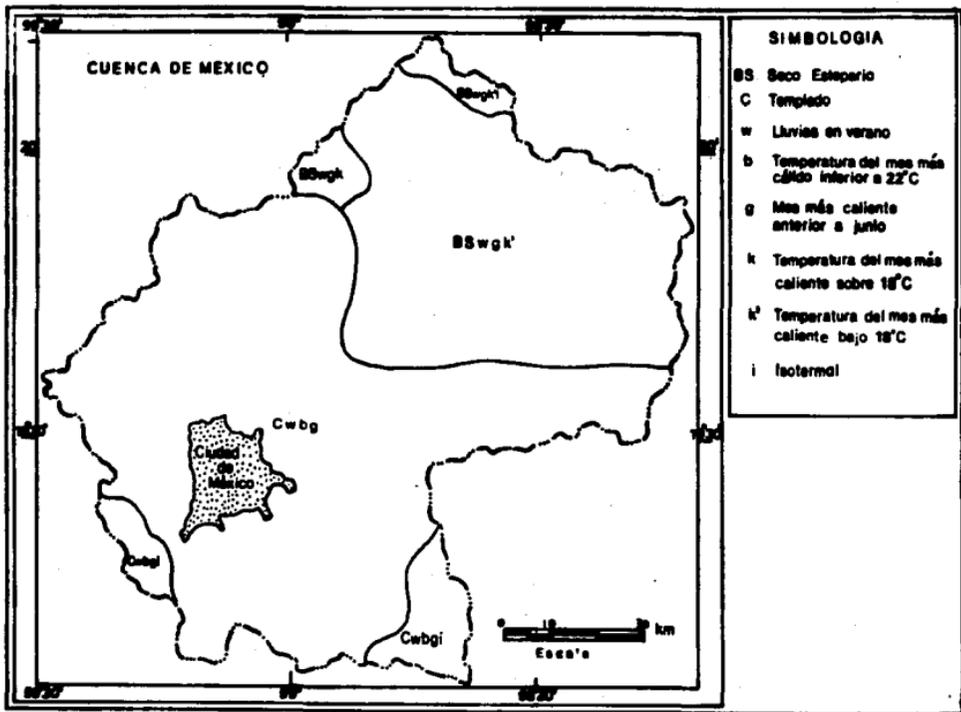


Figura 2. Climas según Köppen
Fuente: D.D.F (1984)

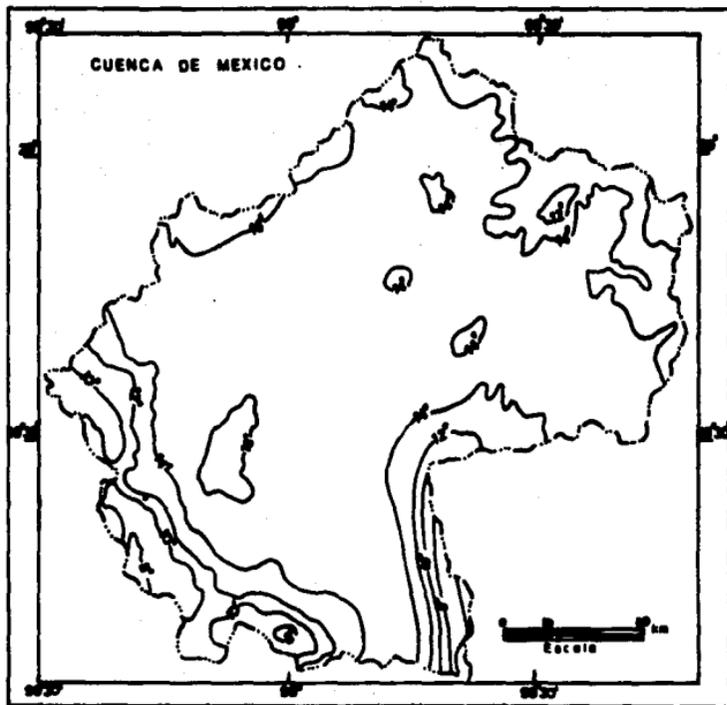


Figura 3a. Isotermas medias anuales (°C)

Fuente DDF

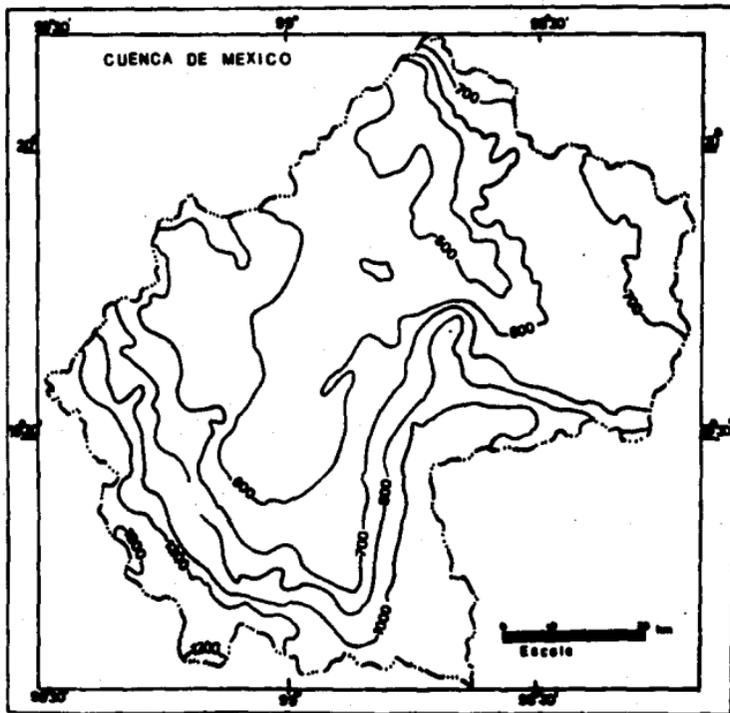


Figura 8b. Isoyetas medias anuales (mm)
Fuente: D.D.F. (1984)

4

EL CRECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

Dentro de los países más poblados del mundo, México ha registrado a partir de la segunda mitad de este siglo, una de las tasas de crecimiento de la población urbana más elevadas. Este crecimiento acelerado de la población en los centros urbanos trajo como consecuencia un fuerte proceso de urbanización y el deterioro ecológico.

El crecimiento de la Ciudad de México a través de su historia, ilustra muy bien el proceso de transformación radical de las características del medio ambiente que le ha servido de emplazamiento y del que la ha rodeado.

La Ciudad de México fue el principal centro económico y político desde la época colonial. Pero es a partir de 1940, que esta ciudad comienza un fuerte crecimiento y expansión física. Su población pasó de 1'670,314 habitantes en 1940 a 13'384,371 habitantes en 1980 (Ibarra, 1986); y en la actualidad rebasa los 19 millones (Ezcurra, 1990). La superficie del Área urbana pasó de 117 km² en 1940 a más de 1000 km² en 1980. Las unidades industriales establecidas en el centro aumentaron de 3 180 en 1930 a 34 543 tan sólo hasta 1978 (Ibarra, 1986).

En general, el crecimiento de la Ciudad de México se puede dividir en cuatro etapas: la primera que abarca de 1900 a 1930; la segunda de 1930 a 1950; la tercera que va de 1950 a 1970 y la última que corresponde al período de 1970 a 1986. (Unikel, 1971; Delgado, 1986).

Durante la primera etapa, se conformó la ciudad central, que se caracteriza por una concentración de actividades administrativas, comerciales y recreativas. Por lo que hay un despliegue de la Ciudad sobre la periferia en el Distrito Federal. La Ciudad inicia un fuerte crecimiento y tiene lugar la primera modificación de los límites administrativos.

Hacia 1929, se llevó a cabo la primera reestructuración

política de la Cd. de México. La delimitación de la ciudad, hasta entonces circunscrita a lo que hoy ocupa la Delegación Cuahutémoc fué ampliada a tres municipalidades vecinas: la Delegación Miguel Hidalgo, Delegación Benito Juárez y la Delegación Venustiano Carranza. Estas cuatro delegaciones formaron el Departamento del Distrito Federal (Delgado, 1988) (figura 4).

El área urbana se triplicó de 2700 a más de 9000 ha. Se conurbaron Tacuba, Azcapotzalco, Tacubaya, San Angel, La Villa e Iztacalco, de modo que el área ocupada crece más rápido que la población, que pasó de 300 mil a más de 1 millón de habitantes (Delgado, 1988). No obstante el área urbana de la ciudad, se circunscribió a los límites que marcaba la Ciudad de México. Para 1930 el 98% de la población del área urbana de la Ciudad de México residía dentro de los límites de la Ciudad, y el 2% fuera de los límites. (Unikel, 1971)

La segunda etapa (1930-1950) se inició con un fuerte crecimiento demográfico y espacial de la ciudad (Delgado, 1988). Aunque otros autores consideran que el crecimiento acelerado se inició a partir de la década de 1940, precisamente cuando se inicia el proceso de fuerte industrialización (Ibarra, 1988; López, 1989). Durante esta etapa, y en especial de 1940 a 1950, se inició en forma definitiva la desconcentración de la población del centro de la ciudad hacia la periferia, básicamente hacia el sur y sureste (Unikel, 1971). También empieza una industrialización intensiva en la parte norte del D.F. La conurbación al interior del D.F. se amplía a las delegaciones Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Alvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa e Iztacalco, hasta llegar a los límites con el Estado de México (Delgado, 1988) (figura 4).

De 1940 a 1980 la ciudad alcanzó un crecimiento demográfico sin precedentes, uno de los mayores registrados: 5.9% (López, 1989). La Ciudad casi triplicó su área de 9000 a 24000 ha y la población de 1 a 3 millones de habitantes. Pero a pesar de la notable expansión física, el área urbana de la ciudad ocupó

hasta 1950 casi exclusivamente territorio del Distrito Federal. La influencia directa de la ciudad era de cerca de 20 km, empleando el automóvil como medio de comunicación. (Delgado, 1988) (figura 5).

La tercera etapa (1950-1970), se define tomando en consideración que durante los años 50's el área urbana de la ciudad rebasó los límites del Distrito Federal; y durante los 60's penetró en forma definitiva en el Estado de México, tanto física como demográficamente (Unikel, 1971).

Esta etapa presenta dos partes; la primera que va de 1950 a 1960. En ella se registró principalmente una expansión industrial en los municipios de Naucalpan, Ecatepec y Tlanepantla; y en menor escala un crecimiento demográfico, que en términos absolutos sólo fue de 87 000 a 309 000 habitantes. La segunda parte abarca de 1960 a 1970. Se caracterizó porque el crecimiento poblacional, tanto de área urbana como a nivel de municipios alcanzó tasas muy elevadas en el Estado de México (Unikel, 1971). Esta oleada expansiva se produce por la ampliación industrial en el norte hacia Tlanepantla y Ecatepec; por el inicio del proceso de expulsión de población y de cambios de uso del suelo en las áreas centrales, que se transforma en otros más rentables, como los comerciales y de servicios; por la construcción del periférico hacia el sur del Distrito Federal, que impulsa la conurbación de Tlalpan, Xochimilco y Magdalena Contreras y por la ocupación inicialmente habitacional de sectores acomodados en Naucalpan, y de sectores proletarios en el extremo geográfico, es decir, Ciudad Nezahualcoyótl (Delgado, 1988; López, 1989).

En 1960, la Zona Metropolitana de la ciudad, incluía a los municipios de Naucalpan, Tlanepantla, Ecatepec y Chimalhuacán del Estado de México y a todo el Distrito Federal, excepto las delegaciones de Milpa Alta y Tláhuac.

Los municipios que para 1970 se consideran integrados a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México son Cuautitlán, La Paz, Huixquilucan, Tuititlán, Coacalco, Chimalhuacán y Nezahualcoyótl.

Este último, creado a partir del 10. de Enero de 1964, se formó con partes de los municipios de Chimalhuacán y Texcoco. Sin embargo, su conformación necesitó la modificación de los límites de estos municipios y de los de Ecatepec, La Paz y Atenco (Unikel, 1971).

Así, con el abastecimiento de agua, luz, y otras actividades económicas, la metropolización de los municipios del Estado de México, contiguos al Distrito Federal es un hecho y quedan totalmente integrados a la Ciudad.

Entre 1960 y 1970, el crecimiento de la población alcanzó una tasa anual de las más altas, 5.7% correspondiendo un 33% al crecimiento natural, un 2.2% a la inmigración y un 64% a la expansión física (población rural que se incorpora al área urbana sin cambiar de sitio) (López, 1990). La Ciudad nuevamente se triplica, pasando de 29 mil a casi 69 mil ha. y su población de los 3 millones, alcanza los 8.5 millones de habitantes. (Delgado, 1988) (figura 5). En 1970, en la zona correspondiente al Estado de México, se ubicaban 1'782, 588 habitantes, que correspondían al 22% de la población metropolitana de la Ciudad de México. (López, 1990).

Esta etapa es fundamental en la conformación de la dimensión metropolitana, ya que el proceso se desborda hacia el Estado de México.

Cuarta etapa (1970-1985). Una vez que se sobrepasaron los límites del Distrito Federal, el crecimiento fue expansivo. Se implantó el área industrial de Izcalli-Tultitlán, lo cual, aunado a la prohibición de fraccionamientos en el Distrito Federal, provocó que se conurbaran 12 municipios más. Además, se creó jurídicamente un nuevo municipio, el de Izcalli. De esta forma se amplió la influencia de la ciudad a unos 30 km del centro; y 21 municipios más se colocaron en proceso de conurbación. (Delgado, 1988).

En términos de la expansión física, el área urbana continúa creciendo, aunque disminuye en términos relativos, aumenta de 69

mil a 120 mil ha. y la población de 8.5 millones al principio del periodo, llega a cerca de 18 millones a fines del periodo y para 1990 rebasa los 19 millones. (Delgado, 1988; Ezcurrea, 1990) (figura 5).

Según Delgado (1988), actualmente el crecimiento de la Ciudad se da por conurbaciones. Es decir, se están integrando a la ciudad municipios con un crecimiento demográfico elevado y que han tenido implantación industrial en sus áreas. Además, se encuentran ubicados sobre los ejes de carreteras que comunican a la Ciudad con las diferentes regiones, lo que los hace particularmente sensibles al impacto del crecimiento radial del área urbana. Entre estos municipios se encuentran los de Texcoco, Tultepec, Tezoyuca, Chiconcuac, Acolman, Teotihuacan, San Martín de las Pirámides, etc.

AREAS VERDES

Los incrementos demográficos, el crecimiento industrial, la expansión física de la mancha urbana, aunado a la carencia de marcos apropiados en los que se consideren criterios ecológicos para la planeación física y socioeconómica, han traído serias repercusiones en el deterioro del hábitat urbano. Se han producido impactos negativos sobre la salud de la población, sobre el orden de la estructura de la ciudad y sobre el estado de los recursos.

El crecimiento de la mancha urbana estimado a partir de fotografías aéreas del año 1953 y 1980, es de 5.2% anual. En 1953 el área urbana de la Ciudad de México cubría 240 km², el 8% de la Cuenca de México. Para 1980 el área urbana ocupaba 980 km², es decir, el 33% de la Cuenca. Por otro lado, gran parte de las edificaciones se han hecho sobre suelos agrícolas ó de alto valor productivo. Más de 500 mil ha. de suelos aptos para la agricultura se han perdido en los últimos 30 años (Ezcurrea, 1990).

El crecimiento expansivo y desordenado de la Ciudad de

México en zonas con vocación agrícola ó forestal, han generado en el área urbana serias incongruencias en el uso y aprovechamiento del suelo, como es el desequilibrio entre los espacios verdes y zonas construidas (figura 6). Actualmente, la Ciudad de México cuenta en general, con aproximadamente 2.5 m² de áreas verdes por habitante y aunque existen algunos sectores acomodados que cuentan hasta con 10 m² por habitante, la mayoría tienen mucho menos; como Azcapotzalco, que con una población de alrededor de 700 mil habitantes, tiene sólo 0.9 m² de áreas verdes por habitante; mientras que la OMS señala como norma mínima 9.0 m² por habitante (Ezcurra, 1990; Corona, 1989).

Se estima que en la época prehispánica los bosques representaban el 54% del total del área de la Cuenca de México. Los desmontes con fines agrícolas, el pastoreo desordenado, los incendios forestales, las plagas, la tala inmoderada y la urbanización creciente, provocaron el deterioro y la reducción de estos bosques a solamente el 14.6%. Esto ha conllevado a la erosión de suelos. En la actualidad la Cuenca de México presenta los siguientes grados de erosión: 380 mil ha. con poca o nula erosión; 120 mil ha calificadas de erosión moderada; 157,794 ha de fuerte erosión y 120 mil ha. de muy fuerte erosión (aflojamiento de la roca madre); las restantes 136 mil ha. corresponden a zonas urbanas y lacustres (Ibarra, 1986).

CONTAMINACION DEL AIRE

En la Ciudad de México se han registrado en las últimas décadas, niveles muy altos de contaminación. Este problema adquiere mayor importancia durante el invierno, cuando hay mayor ocurrencia de inversiones térmicas.

La SEDUE ha estimado que la contaminación por automóviles es responsable del 96% de todos los contaminantes atmosféricos sobre la ciudad. Según el DDF (1984), los vehículos automotores - de los cuales el 82% son particulares- denominados como fuentes móviles, arrojan 4.5 millones de toneladas de partículas tóxicas

anuales. De estas, 10,000 toneladas son de bióxido de azúfre; 48,000 toneladas de óxido de nitrógeno; 3.8 millones de toneladas de monóxido de carbono; 375,000 toneladas de hidrocarburos y 233,000 toneladas de otros tóxicos.

En cuanto a las fuentes fijas, el DDF estimó que existían alrededor de 130,000 establecimientos industriales en el área urbanizada de la Ciudad de México, de las cuales, aproximadamente 30,000 se ubican en el norte y noreste del D.F. Estas fuentes emiten 728,000 toneladas de partículas tóxicas al año, de las cuales 383,000 toneladas son de bióxido de azúfre, 91,000 toneladas de óxido de nitrógeno, 114,000 toneladas de monóxido de carbono y 130,000 toneladas de hidrocarburos (figura 7).

Las fuentes naturales, como tolvaneras, son originadas por lo que el DDF estima que son 22 000 ha erosionadas y que aportan 308,000 t anuales de partículas de polvo contaminadas.

La contaminación por partículas sólidas totales, es mayor hacia el centro-este de la ciudad, y la contaminación por bióxido de azúfre es mayor hacia el noroeste, donde se ubican la mayor parte de las industrias (Escrura, 1990; DDF, 1984).

El ozono tiene una concentración media de 0.15 ppm (300 mg/m^3), la cual es suficientemente alta para producir daño significativo en la mayor parte de las especies vegetales. La lluvia también es contaminada por las concentraciones altas de azúfre y nitrógeno en el aire. En la actualidad el pH promedio del agua de lluvia sobre la Ciudad de México es de aproximadamente 5.5, pero continuamente se registran valores de alrededor de 3.0 (Escrura, 1990).

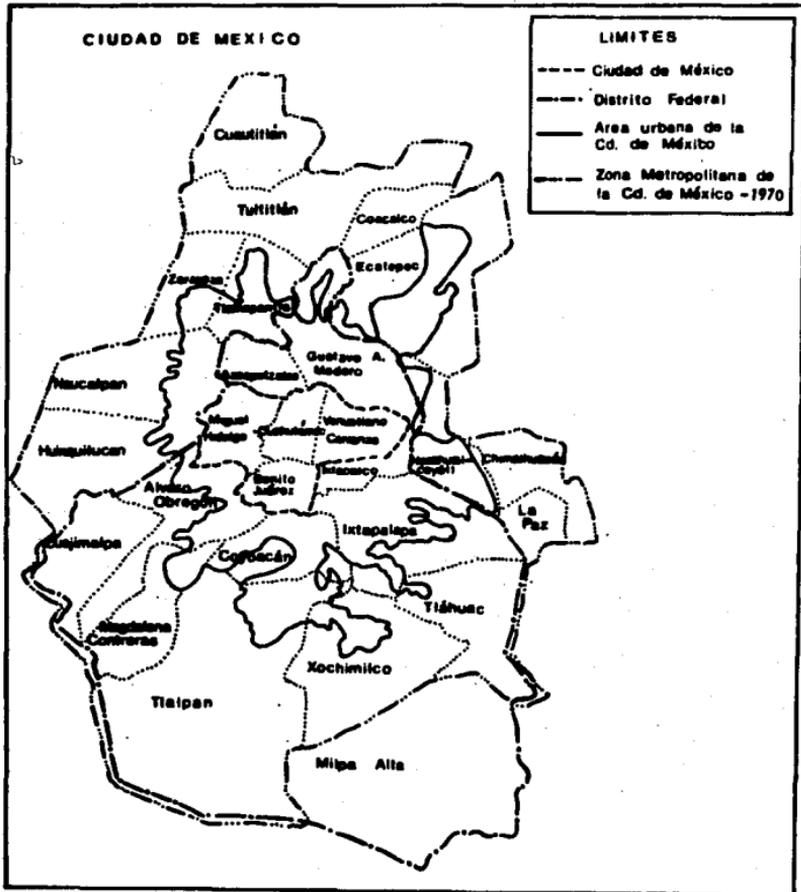


Figura 4. Crecimiento de la Ciudad de México.

Fuente: Unikel (1971)

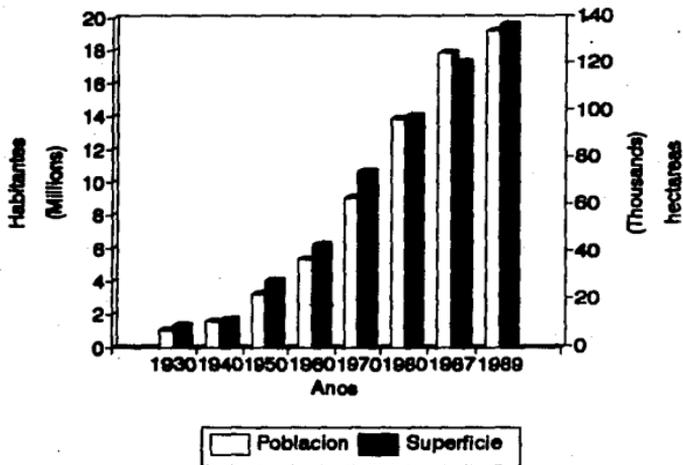


Figura 5. Crecimiento de la población y la superficie urbana en la Ciudad de México

Fuente: Delgado, 1988

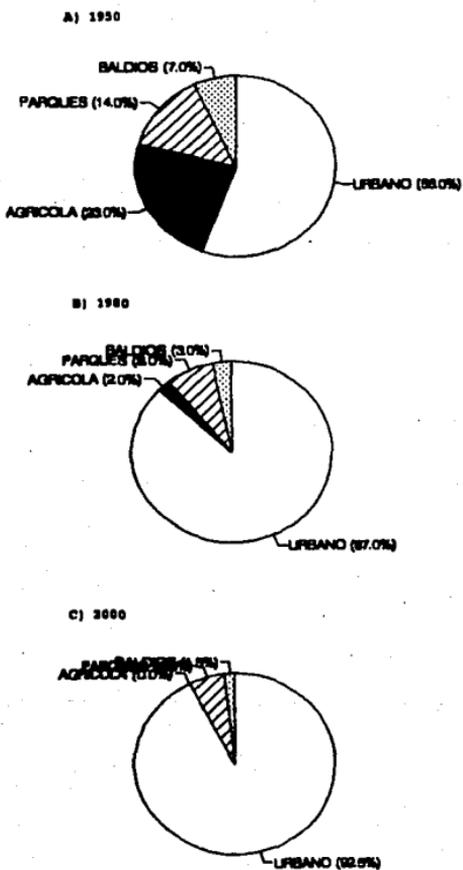


Figura 6. Evolución de la distribución del uso del suelo en la Ciudad de México.

Fuente: Ecurra, 1990

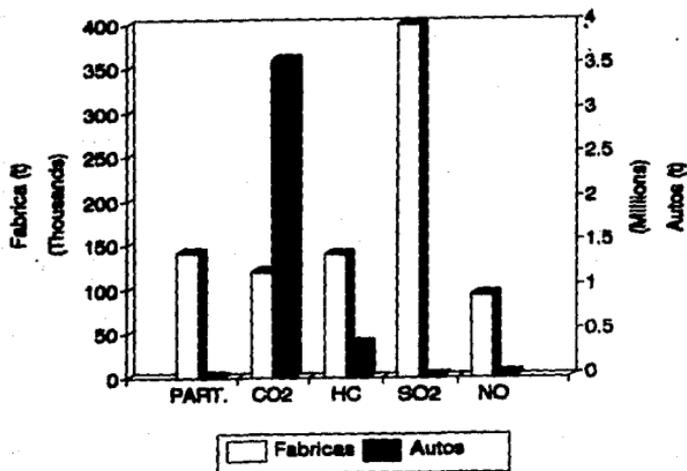


Figura 7. Contaminantes arrojados en el D.F. (toneladas/año)
Fuente: Ecurra, 1990

INFLUENCIA DEL CRECIMIENTO URBANO. EN EL CLIMA DEL DISTRITO FEDERAL

El establecimiento de ciudades, ha dado origen a espacios en que se organizan las actividades de grupos sociales y en el que concurren el medio natural y las estructuras creadas. A estos espacios se les conoce como "hábitat urbano". En este ámbito, la sociedad, como sujeto y elemento de un sistema geográfico regional, interactúa con la naturaleza a través de mecanismos de cambio en el uso del suelo y en el consumo de recursos, a través de un proceso dinámico que debería tender al equilibrio (Barceñas, 1984). Sin embargo, la gran concentración geográfica y expansión de las ciudades han producido cambios sustanciales sobre uno u otros de los elementos de los ecosistemas urbanos.

Uno de los elementos que sin duda ha presentado cambios notables es el clima. Estos cambios, se han registrado en numerosos parámetros climáticos como son la precipitación, la temperatura, radiación solar etc.

Radiación solar directa

La radiación solar es uno de los regímenes inicialmente perturbados por la transformación del entorno en la ciudad.

En un estudio realizado por Galindo (1980), se observa que durante el periodo correspondiente a 1957-1962 se manifiestan ya de forma evidente, descensos significativos en la radiación solar directa, comparada con una serie de datos que va de 1911 a 1928. (Figura 8). Esto a consecuencia de la creciente sobrecarga de contaminantes de origen antropogénico. Los rasgos más notorios que se observan son: disminución de la intensidad de radiación en los meses de la época seca (octubre-diciembre); en la época húmeda, los meses de abril a septiembre son los más afectados, y junio registra la menor intensidad de la radiación (debido también a una mayor cantidad de humedad atmosférica, que refleja

la radiación). En el periodo de 1975-1985, la tendencia a la disminución en la intensidad ha continuado en todos los meses.

TEMPERATURA

Temperatura máxima.

Jáuregui (1971), encontró que en general, las temperaturas máximas en la ciudad no difieren considerablemente de las que se registran en la periferia. Esto se debe a que gran parte de la radiación solar que llega a la Tierra, es interceptada por el domo de polvo de la ciudad, con lo cual, reduce la insolación, es decir, la cantidad de energía que llega a superficie y que es la que al ser reflejada calienta el aire. Inclusive, Jáuregui advierte una reducción de las temperaturas máximas hacia el centro de la ciudad. No obstante, Olave (1976) encontró que la diferencia de las temperaturas máximas entre la ciudad y la zona rural que rodea a la urbana, es suficiente para formar una isla de calor, que en su estudio quedó situada al norte de la ciudad. Con la diferencia, de que en el periodo anterior a 1960 se localizó al noreste; y durante el segundo, que cubre de 1960 a 1973, se localizó al noroeste.

Temperatura mínima

En oposición al comportamiento de las temperaturas máximas, las temperaturas mínimas en la ciudad sí registran una diferencia notable (Jáuregui, 1971; Olave 1976). La influencia de la urbanización sobre estas temperaturas es muy grande, ya que las mínimas más altas se encuentran en el centro de la ciudad. Esto se debe a que las zonas más despejadas -con menos contaminación- pierden más rápidamente el calor durante la noche, ya que el calor que irradia la superficie escapa al espacio libremente. En cambio, en el centro de la ciudad, la contaminación permanece durante la noche y ésta evita el escape del calor al espacio. En consecuencia, la temperatura baja

considerablemente durante la noche en la periferia y la diferencia de temperaturas en ambas zonas es más pronunciada. De hecho también se forma una "isla de calor", donde las isotermas más altas se encuentran en el centro.

A fines del siglo pasado las temperaturas mínimas descendían considerablemente. En promedio eran inferiores a 0°C de noviembre a enero, ya que debido a la transparencia del aire, las pérdidas de calor por radiación nocturna eran mayores (Jáuregui, 1971). A partir de la década de los sesenta, la elevación de las temperaturas mínimas ha sido tan marcada en el centro de la ciudad, que en ella ya no se registran heladas (temperaturas bajo cero); en tanto que en la periferia rural tienen una frecuencia de 40 a 60 días al año (Olave, 1976).

Temperatura media

Olave (1976), encontró que las temperaturas medias en el área de estudio forman una isla de calor. La temperatura es mayor en la ciudad y disminuye hacia la periferia. Para el periodo 1960-1973, esta "isla de calor" se divide en tres porciones, siendo la más alta la que se encuentra propiamente en el centro de la ciudad.

Por otro lado, la autora encontró que en general, el valor de las isotermas ha aumentado después de 1960, por influencia de la ciudad. Además de que la isoterma de 16.5°C ha extendido su área en el mismo periodo.

Según Gómez (1989), la temperatura de la Ciudad de México ha aumentado en general de la siguiente forma: de 1921 a 1940, se mantuvo en un promedio anual de 14.7°C ; de 1941 a 1950 aumentó a 15.4°C ; de 1951 a 1960, pasó a 15.5°C ; de 1961 a 1970 alcanzó los 15.8°C y en los años siguientes se ha calculado que llega a los 17°C . Como se observa, a partir de 1940, año en que se considera que inicia la industrialización en la ciudad, así como su fuerte expansión física, la temperatura inicia un incremento constante.

Variación de la temperatura.

De todo lo anterior, se puede concluir que la variación de la amplitud térmica en la ciudad se ha reducido con respecto a épocas anteriores, debido al constante crecimiento de la ciudad. Ahora la amplitud térmica es, en la época de lluvias (cuando hay mayor humedad) de 12 a 15°C y durante la época seca (con menor humedad atmosférica) de 17° a 20°C. Mientras que a fines de los sesentas nunca fue menor de 20°C en la época húmeda y en la seca subía hasta 28°C (Jáuregui, 1971). Es decir, que el clima dentro del área urbana del Distrito Federal se ha vuelto menos extremo, principalmente debido a la atmósfera contaminada ó "domo de polvo".

Isla de calor

En cuanto a la isla de calor que presenta la ciudad, está tiene su máximo entre las 4 y las 6 de la mañana. Decae abruptamente, alcanzando su mínimo alrededor de las 8 de la mañana. A la puesta del sol, alrededor de las seis de la tarde, la diferencia de temperaturas empieza a tener un incremento, ya que en la periferia el enfriamiento se acentúa durante la noche y la madrugada (Galindo 1980). Esto denota claramente que durante el día, las temperaturas (máximas) no difieren mucho. Por lo cual se asegura que la isla de calor es sobre todo un fenómeno nocturno (figura 9)

Humedad relativa

Ya se ha explicado que las ciudades son áreas secas en relación con las rurales. Jáuregui (1971), midió mediante recorridos, la humedad relativa en el área urbana de la Ciudad de México. Los resultados obtenidos coinciden con la teoría. Se encontraron diferencias hasta del 25% entre el área urbana urbana y las zonas rurales inmediatas.

Precipitación

En el estudio realizado por Olave (1976), se analiza el comportamiento de la precipitación anterior y posterior a 1960 en la Cuenca de México. Encontró que en ambos periodos, la precipitación está determinada por el efecto de altitud. Sin embargo, para el segundo periodo, se registra un aumento de lluvia cerca de la Ciudad.

Como ya se mencionó, las nubes derivadas de la convección térmica, producen aguaceros de gran intensidad. En la Cuenca de México, Maderrey (1981) observa que las intensidades máximas de lluvia se realizan a manera de células relacionadas con efectos orográficos y térmicos. En este sentido localizó uno de los valores más altos en la intensidad de lluvia hacia el oeste de la Cuenca, al cual lo relaciona directamente con la influencia que ejerce la Ciudad de México.

Isla de lluvia.

En un estudio muy detallado sobre la "isla de lluvia" en la Ciudad de México (Jáuregui, 1974), se demostró que la convección térmica generada por la "isla de calor urbana", y la turbulencia debida al aumento de la rugosidad de la superficie urbana, juegan un papel más importante que la contaminación (núcleos de condensación y congelación) en el desencadenamiento de las tormentas urbanas (figura 10).

Jáuregui encontró que a diferencia de algunas ciudades inglesas, en la Ciudad de México la mayor frecuencia de lluvias no es a fines de la semana (cuando la carga de contaminantes es mayor), sino que llueve más de domingo a martes. La explicación es que durante estos días, la atmósfera está más despejada y la superficie urbana tiene mayor calentamiento. De este modo el contraste térmico ciudad/campo se intensifica, facilitando los movimientos convectivos y la formación de cúmulus.

Al hacer la comparación entre la precipitación anual de

algunas estaciones urbanas y otras rurales, advierte que a partir de los años cincuentas, las estaciones urbanas presentan una tendencia creciente bastante acentuada. Lo cual está relacionado con el incremento en los valores de la "isla de calor" y de la turbulencia. Según Gómez (1980), esta elevada oscilación térmica provoca un aumento de las tormentas eléctricas, que han aumentado de 10 a 30 anuales. Las granizadas también se han incrementado de 4 a 6 al año.

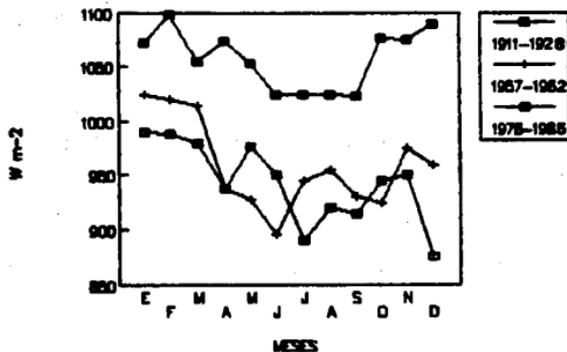


Figura 8. Radiación solar directa máxima absoluta entre los 10 y los 14 horas 1911-1928 Tacubaya; 1957-1962 y 1976-1985 Ciudad Universitaria. (Galindo, 1999)

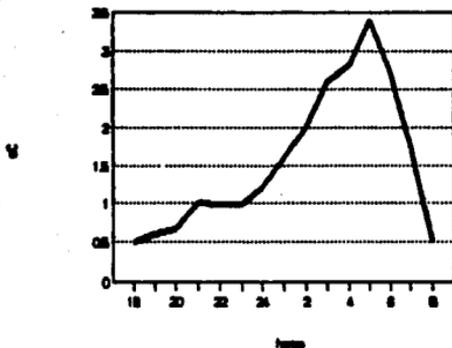


Figura 9. Intensidad de la isla de calor urbana. (Galindo, 1989)

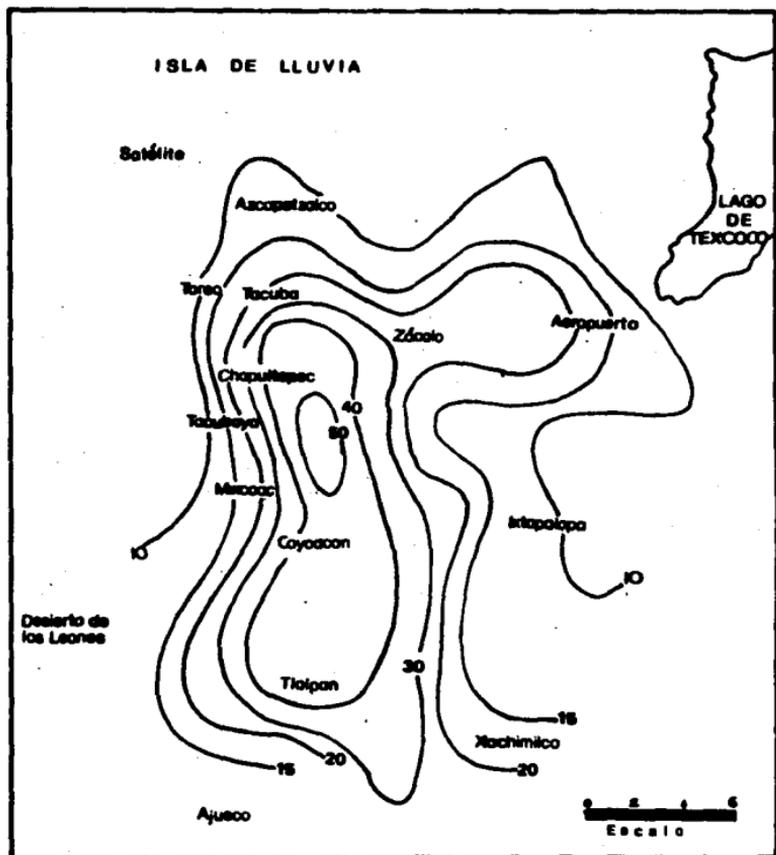


Figura 10. Distribución de la precipitación (mm/24h) el 13 de Octubre de 1971
Fuente: Jauregui, 1974

II METODO

AREA DE ESTUDIO

Este trabajo se realizó con los registros de 13 estaciones ubicadas dentro del Distrito Federal (Tabla 1 y figura 11). Los parámetros analizados fueron: temperatura media mensual, temperatura mínima extrema mensual, temperatura máxima extrema mensual y precipitación mensual.

El criterio para la elección de las estaciones fue, por un lado, el número de años de registro. Así, se eligieron las estaciones con más de veinte años continuos de registros, con el fin de obtener resultados más representativos y además de hacer un análisis temporal lo más amplio posible. Por otro lado se utilizó un criterio espacial. La elección se hizo de manera que las estaciones abarcaran no sólo el centro, sino también las áreas alejadas de la ciudad hacia todos los puntos. Todo ello, con el fin de analizar la influencia espacial.

Para llevar a cabo el análisis de los datos, se realizó una división espacial y temporal del conjunto de estaciones.

División espacial.

La división espacial se logró mediante un análisis de las áreas verdes localizadas dentro del área de estudio (figura 11). En virtud de que mientras menor es la cantidad de áreas verdes que rodea una estación, mayor será la superficie de pavimento. Este análisis consistió en medir la distancia a la que se encuentran las áreas verdes a partir de cada una de las estaciones, y obtener el valor medio para cada estación. A las áreas verdes se les asignó la categoría de pequeñas, medianas y grandes, de acuerdo a la proporción que guardan entre sí. Los resultados de esto se plasmaron en una gráfica para cada categoría, con los valores medios de cada estación y su error estándar. Los valores se ajustaron a una distribución de Ji

cuadrada. Realizando para ello, una tabla de contingencia 3x4 (Infante; Zárate, 1988). Donde los renglones representan las tres zonas y las columnas los rangos de distancia de las áreas verdes a partir de cada estación.

Dado que una celda localizada en el renglón i -ésimo y la columna j -ésima tiene una probabilidad p_{ij} tal que

$$P_{ij} = P_i \cdot P_j$$

la hipótesis a probar fue

- H_0 $p_{ij} = p_i p_j$, para toda i y toda j
 H_a $p_{ij} \neq p_i p_j$, al menos para una celda

El valor esperado para E_{ij} es $E_{ij} = \frac{n_i n_j}{n}$

es decir, que para obtener el valor esperado en una celda basta multiplicar el total de su hilera por el total de su columna y dividirlo entre el tamaño de la muestra.

la estadística de prueba es

$$\chi^2_o = \sum_i \sum_j \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

con grados de libertad $gl = (r-1)(c-1)$

La regla de decisión para la prueba es

rechazar H_0 si $\chi^2_o \geq \chi^2_{\alpha}$

En base a las frecuencias de los rangos de distancia para cada zona, se graficaron los residuales ajustados (Everitt,



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFIA

1977).

$$r = \frac{O-E}{E} \quad \text{donde:}$$

r = residual, O = valor observado y E = valor esperado

Tabla 1. Estaciones climatológicas del Distrito Federal.

Estación	Latitud	Longitud	altura
	N	W	msnm
Anzaldo, Presa CANZO	19°10'	99°13'	2400
Azcapotzalco (AZC)	19°20'	99°11'	2277
Cinzel (CIN)	19°25'	99°07'	2240
Colonia del Valle (CV)	19°23'	99°10'	2280
J. B. Chapultepec (CHA)	19°25'	99°11'	2240
El Guarda (EG)	19°08'	99°11'	2810
Ixtapalapa (IZT)	19°22'	99°08'	2240
Km 8+250 G. Canal (GC)	19°30'	99°11'	2280
Mixcoac, Presa CMIX	19°22'	99°14'	2240
Moyoguarda (MOY)	19°17'	99°08'	2240
Peña Pobre, Hda. (PP)	19°18'	99°11'	2300
San Gregorio (SG)	19°15'	99°03'	2200
Milpa Alta (MA)	19°11'	99°01'	2420
Tacubaya (SMN) CTAC	19°24'	99°12'	2300
La Venta (LV)	19°20'	99°18'	2400

División temporal.

La división temporal se hizo de acuerdo al crecimiento del número de habitantes y el crecimiento de la superficie urbana en la ciudad. De esta forma se obtuvieron cuatro etapas importantes para el análisis de datos: (1) antes de 1940; (2) 1940-1950, el principio de esta etapa se considera como el inicio de un crecimiento continuo industrial. (3) 1951-1970, durante este

lapso, la población de la ciudad alcanzó una altísima tasa de crecimiento, y los límites físicos de la ciudad se desbordaron rápidamente hacia el Estado de México, además la inmigración inició un incremento continuo. (4) 1971-1985, la metropolización de la ciudad alcanza límites muy grandes.

TEMPERATURA

Componentes Principales

El análisis de componentes principales es una técnica de análisis multivariado, que apoya la tarea de categorizar un conjunto de "n" casos, calificados en función de "m" variables evaluadas, todas ellas en forma simultánea. El principio general en que se funda la aplicación del análisis de componentes principales, establece la posibilidad de que las "m" variables evaluadas presenten cierta dependencia entre sí. Es decir, la existencia de una correlación importante entre las variables de estudio.

El análisis de componentes principales está estructurado para reducir la información de la totalidad de las variables originales, hasta obtener sólo algunos indicadores que conjunten la mayor parte de esa información original. Tales indicadores que agrupan la mayoría de la información aportada por numerosas variables, se denominan "componentes principales" del conjunto de las "m" variables originales. De este modo, al tener por ejemplo 20 variables, será posible reducir la información de éstas a sólo dos o tres componentes principales, que englobarán la mayor parte de la información original, facilitando en gran manera el análisis (García de León, 1988; Cole, 1978).

El procedimiento de cálculo para determinar la magnitud de los componentes puede resumirse como sigue:

a. Debe encontrarse el determinante de la matriz de varianza-covarianza.

b. Deben encontrarse las "n" raíces de su ecuación polinomial característica.

c. deben resolverse los "n" conjuntos de ecuaciones simultáneas. Este procedimiento requiere de trabajar con álgebra matricial. Por lo que ante la complejidad matemática que ello implica, este análisis se realizó a través de métodos automatizados programados. En este trabajo se utilizó el programa ORDEN (Ezcurra, 1980), escrito en pascal para ser corrido en computadoras IBM o compatibles.

Análisis de datos.

El análisis de componentes principales se planteó con la finalidad de categorizar u ordenar las estaciones climatológicas a partir de sus datos de temperatura; para establecer semejanzas o diferencias entre ellas, a nivel espacial y temporal. Para ello se analizaron series de temperatura anual y mensuales en base a las cuales se generaron varias matrices, y a partir de estas se analizaron los datos. Estas matrices fueron de temperatura media anual, temperatura media de enero y temperatura media de julio; de temperatura mínima extrema de enero y julio y por último de temperatura máxima extrema de enero y julio. Cada una de ellas con 13 columnas (estaciones) y 21 renglones (años) a partir de 1960 y hasta 1985. El análisis de componentes principales se realizó no transformando los datos (no centrado y no estandarizado).

La ordenación de las estaciones y años que resulta del análisis de componentes principales, se presenta al graficar los dos primeros componentes, que explican la mayor proporción de la variación en los datos. Los componentes se graficaron tanto para las estaciones como para los años.

Análisis zonal

Con el fin de analizar los datos de acuerdo a la división temporal (4 etapas) y espacial (3 zonas), se realizó un análisis de varianza de dos factores para saber si las diferencias entre zonas por un lado y etapas de años por otro, son significativas. Para ello se hizo una matriz que contiene las series mensuales totales para la estación representativa de cada zona: Tacubaya (zona I), Gran Canal (zona II) y La Venta (zona III). Esta matriz incluyó el factor tiempo (división por etapas) y el factor zona. Posteriormente para ver si las medias zonales representaban diferencias significativas, se utilizó la prueba de Tukey (Montgomery, 1984). Los resultados se plasmaron en gráficos para cada parámetro.

Análisis temporal

Se analizó también cada estación por separado, mediante un análisis de varianza de una vía para las series mensuales de temperatura mínima extrema, temperatura máxima extrema y temperatura media. Cada estación correspondiendo a cada una de las zonas. Posteriormente, se analizaron los promedios obtenidos por medio de una prueba de Tukey (Montgomery, 1984), con el fin de determinar si las etapas difieren entre sí.

PRECIPITACION

Con el fin de determinar la variación espacial de la precipitación, se hizo un ajuste a la distribución probabilística Gamma, de los patrones de lluvia.

Distribución Gamma.

Quando se miden variables estadísticas acotadas a cero y la frecuencia de valores bajos en la variable es alta, como en el caso de la precipitación (sobre todo en zonas áridas), ya que esta nunca presenta valores por debajo de cero, la distribución

de los datos se hace fuertemente sesgada. Debido a esto, la media aritmética mensual de lluvia e índices derivados tienen, muy poco significado y se vuelven inadecuados para caracterizar la precipitación. Además no dan una idea significativa de las probabilidades de lluvias, ya que no corresponden a una distribución normal (Mosiffo & García, 1981; Ezcurrea & Rodríguez, 1984).

Debido a las propiedades de la precipitación en zonas áridas y semiáridas se ha propuesto el uso de la distribución Gamma en el análisis de datos de precipitación (García *et al.*, 1973). Esta es una distribución continua, sesgada positivamente y acotada al cero. Aun en zonas de lluvia abundante, el uso de esta distribución ha tenido buenos resultados (García *et al.*, 1973; Mosiffo & García, 1981; García-Oliva *et al.*, 1981). Así, en base al ajuste de la distribución Gamma se proponen los estadísticos derivados de ésta como índices más aceptables de pluviosidad. Además el ajuste en sí mismo permite establecer las probabilidades de ocurrencia de determinados eventos lluviosos (Valiente, 1981).

Mientras en una distribución simétrica sin límites, la media siempre coincide con el valor más frecuente ó moda, en las distribuciones con límite cero hay un incremento en la proporción entre la media y la moda tan grande, como la media de la distribución toma valores bajos (cercaos o iguales a cero). Para una varianza dada, las variables con límite cero tienden a mostrar una función de dispersión simétrica, en forma de campana, para medias altas; y una distribución altamente sesgada en forma de J invertida para medias bajas (Ezcurrea, 1984).

La distribución probabilística Gamma es una función de probabilidades sesgada positivamente y cuya función es:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}$$

para valores de x mayores ó iguales a cero, y donde γ es el parámetro que define la forma de la distribución, y β es el parámetro que ajusta la escala. Para valores de x menores ó iguales a cero $f(x) = 0$

Análisis de datos

Por cada estación se analizaron series mensuales y series totales de precipitación. Estas series se ajustaron a la distribución Gamma. Las series se analizaron en el programa GAMMAI (Valiente, 1990), escrito en Turbo Pascal para máquinas IBM o compatibles. Para cada uno de los ajustes, se hizo una prueba de G de bondad de ajuste. El resultado del ajuste no fue significativo y se muestra en tres gráficas, que corresponden a la estación representativa de cada zona.

Patrones de lluvia.

De los ajustes de las series mensuales de precipitación, se graficaron los valores de la media, moda y la probabilidad de la media mensual para cada mes en cada una de las estaciones, con el fin de mostrar los niveles de variación al interior de cada mes. Los niveles de variación en cada una de las distribuciones es mayor conforme la media y la moda se encuentran más separadas.

A partir de los ajustes mensuales a la distribución Gamma, se calcularon y graficaron las probabilidades de ocurrencia de 25, 75, 200 y 300 mm de lluvia para todos los meses de cada estación.

En base a los mismos ajustes a la distribución Gamma, se calcularon los valores de γ , que es el parámetro que define las formas de las distribuciones. Se hizo una matriz con los valores γ , integrando los doce meses de cada estación y se analizaron por componentes principales, con el fin de ver la variación entre estaciones, así como la variación mensual. El análisis se hizo

sin transformar los datos (no centrado, no estandarizado). El resultado de la ordenación de los meses y las estaciones se presenta al graficar el primero y segundo componente, que explican la mayor proporción de la variación en los datos.

Análisis temporal.

Para el análisis temporal de la precipitación, se trabajó con la estación representativa de cada zona (la de mayor registro). Al igual que en el caso de la temperatura, las series se dividieron en periodos de años, de acuerdo a la división antes determinada. Se analizaron los datos de las series anuales, por medio de un ANDEVA de una vía, con el fin de conocer las diferencias significativas en la cantidad de precipitación, entre las etapas de cada estación. El resultado se presenta mediante una gráfica que contiene la diferencia significativa de los promedios obtenidos por medio de una prueba de Tukey para cada estación.

Con el fin de mostrar el patrón de lluvias para cada periodo en cada estación, y así evidenciar las posibles diferencias que se han presentado a través del tiempo; se realizaron gráficos que muestran el incremento o decremento en la cantidad de lluvia, es decir, la diferencia de precipitación entre periodos (DP). En base a la diferencia que existe entre el promedio mensual del periodo (X_p) y el valor que se presenta con más frecuencia en las series mensuales, es decir, la moda (μ), de tal manera que

$$DP = X_p - \mu$$

Por último, se realizaron las gráficas de precipitación total anual para cada una de las estaciones para observar el comportamiento general a través de los años.

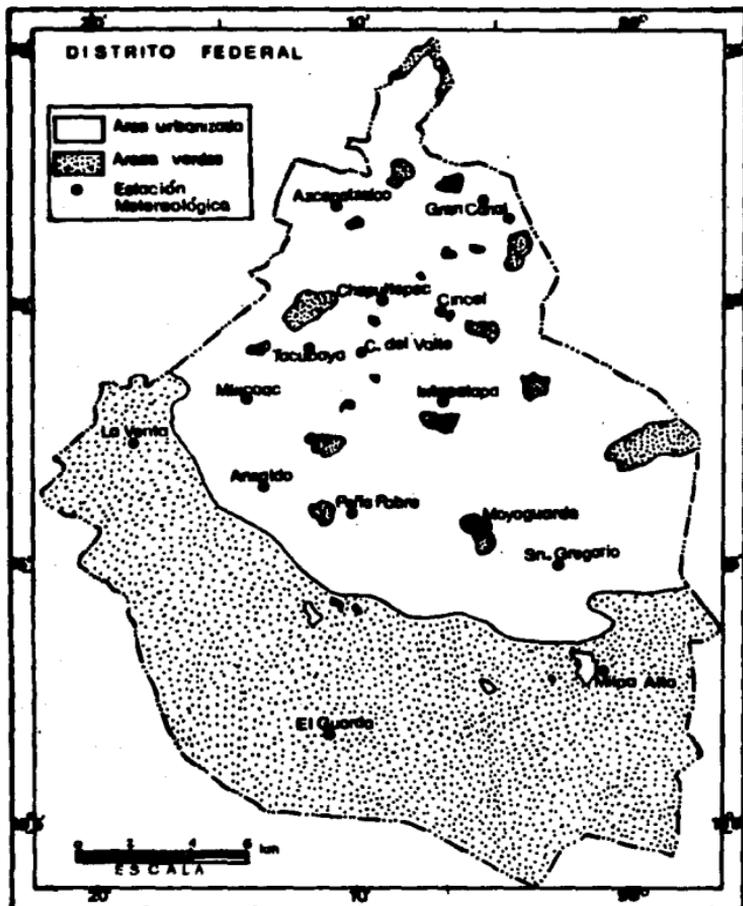


Figura 11. Áreas verdes en el Distrito Federal
 Fuente: S.C.T (1989)

III RESULTADOS

AREAS VERDES

En el análisis de las áreas verdes dentro del Distrito Federal, las gráficas de áreas verdes pequeñas y medianas dió como resultado una clara definición de tres zonas, conformadas por grupos específicos de estaciones que están muy bien relacionados con su situación geográfica.

El primer grupo comprendió las estaciones más cercanas al centro de la ciudad, es decir, Tacubaya, Iztapalapa, Cíncel, Chapultepec, y Colonia del Valle. El segundo grupo estuvo conformado por aquellas estaciones que se localizan a los alrededores del centro de la ciudad: Anzaldo, Azcapotzalco, Gran Canal, P. Mixcoac, Peña Pobre y Moyoguarda. Al tercer grupo lo formaron las estaciones que se encuentran en la periferia sur del Distrito Federal, y algunas cuentan con las altitudes mayores a 2400 m, estas son San Gregorio, Milpa Alta, La Venta y El Guarda (figura 12 y figura 13).

En el análisis de las áreas verdes grandes, en cambio, no se formaron grupos concretos, esto se debe a la gran variación que presentan las estaciones con respecto a las áreas verdes grandes, ya que por un lado se encuentran muy cercanas, pero por otro hay áreas grandes muy alejadas en dirección E-W. Así, apartir de estos resultados, queda conformada la división espacial, que comprende tres zonas en forma de anillos concéntricos.

Los ajustes de las frecuencias de rangos de distancia de las áreas verdes a la distribución de Ji cuadrada fueron significativos, con una $p < 0.001$. Los resultados de los residuales ajustados para cada categoría y rango se presentan en la figura 14. La zona I tiene abundancia de áreas verdes reducidas y escasez de áreas verdes grandes. La zona II también presenta

abundancia de áreas verdes pequeñas, mientras que las áreas medianas se encuentran a una distancia media, y también presenta escasez de áreas grandes. La zona III tiene escasez de áreas pequeñas cercanas, mientras que las áreas verdes grandes se encuentran a distancias tanto muy cercanas como muy alejadas.

TEMPERATURA

Del análisis de componentes principales de todas las matrices de temperatura, solamente la matriz de temperatura media anual y la matriz de temperatura mensual del mes más frío (Enero), presentaron una ordenación de las estaciones consistente con la ubicación de las mismas, de acuerdo a las tres zonas determinadas.

Del análisis de la matriz de la temperatura media anual, se obtuvo que el primer componente explicó el 99.9% de la varianza. Por tanto, considerando sólo este componente la ordenación de las estaciones presenta un gradiente que va de mayor a menor temperatura, siendo El Guarda y La Venta las estaciones con temperatura media más baja; y Cincel, Iztapalapa, Gran Canal y Azcapotzalco los de mayor temperatura. Las dos últimas estaciones se encuentran dentro de la zona II al norte del Distrito Federal, donde la temperatura es mayor (figura 15a).

De este mismo análisis, la ordenación de los años presentó también un gradiente de menor a mayor temperatura. Los primeros dos componentes ordenaron los años más recientes con temperatura mayor y los más antiguos con temperatura menor, con respecto a los recientes (figura 15b).

En el análisis de la matriz de temperatura media de enero, el primer componente explicó el 99.9% de la varianza. La ordenación de las estaciones es similar a la matriz de temperatura media anual, presentando a las estaciones en forma gradual de menor a mayor temperatura. El Guarda y La Venta se

encuentran en el extremo izquierdo, y Cincel en el extremo derecho (figura 16a).

La ordenación de los años, de acuerdo al primer componente presentó un gradiente de menor a mayor, la mayor parte de los años situados en la parte izquierda son inferiores a 73, mientras que los situados en el lado derecho son superiores a 74 con respecto al componente 1 (figura 16b).

Análisis factorial

De acuerdo a los análisis de varianza factoriales zona-tiempo las diferencias entre zonas fueron significativas, tanto para la temperatura media, mínima y máxima. Sin embargo, las diferencias por tiempo sólo fueron significativas para el caso de la temperatura mínima (tabla 2).

tabla 2. Nivel de significancia (p) y coeficiente de determinación (R^2) de los análisis de varianza factoriales de temperatura media, mínima y máxima.

		zona	tiempo	interacción	total
Mínima	p	<0.0001	<0.0001	0.0451	
	R^2	76.6%	18.3%	3.6%	98.5%
Media	p	<0.0001	0.5674	0.3325	
	R^2	98.3%	0.77%	1.5%	98.6%
Máxima	p	<0.0001	0.5676	0.6009	
	R^2	97.4%	0.6%	0.78%	98.8%

Efecto zona.

En los ANOVAS de una vía se encontraron diferencias

significativas entre zonas, para la temperatura media ($p < 0.0001$), para temperatura mínima ($p < 0.0001$) y para temperatura máxima ($p < 0.0001$).

Con la prueba de Tukey ($p = 0.05$) se encontró que las tres zonas tienen diferencias significativas, siendo la zona I la que tiene promedios mayores (figura 17a). Para las temperaturas mínimas se encontró el mismo patrón (figura 17b). En cambio, en las temperaturas máximas, la zona III es significativamente diferente a la zona I y II, pero estas últimas no presentan diferencias (figura 17c).

Efecto tiempo

El análisis de varianza de una vía para comparar grupos de años, mostró una F calculada significativa. Para la zona I y II, la diferencias en la temperatura media son significativas con una $p < 0.0001$, pero en la zona tres es más significativa la variación hacia dentro de cada grupo de años ($p < 0.0001$). En cambio, para la temperatura mínima las tres zonas presentan diferencia significativa entre grupos ($p < 0.0001$). La temperatura máxima no presentó una F calculada significativa (tabla 3).

tabla 3. Nivel de significancia (p) y coeficiente de determinación (R^2) de los análisis de varianza de una vía para temperatura media y mínima.

ZONA		TEMP. MEDIA	TEMP. MINIMA
I	p	<0.0001	0.0001
	R^2	91.9%	92.8%
II	p	<0.0001	0.0080
	R^2	88.6%	71.8%
III	p	0.8688	<0.0001
	R^2	12.5%	94.6%

Los resultados de la prueba de Tukey, para la comparación de medias de las estaciones representativas de cada zona se presenta en la figura 18. Los resultados se presentan para temperatura media y mínima, la temperatura máxima se omitió porque no hubo diferencia significativa entre las medias.

Temperatura media.

La temperatura media de la zona I (Tacubaya), presentó una diferencia significativa ($p < 0.0001$) entre los años 40's y los años 80's, es decir, que esto hace a la primera etapa diferente de la segunda. Presentando esta última, una temperatura mayor. Las últimas tres etapas no presentaron un incremento significativo, por lo que se puede establecer una semejanza entre ellas, las cuales a su vez se diferenciaron de la primera.

La zona II (estación Gran Canal) presentó un cambio significativo ($p < 0.0001$) durante la última etapa. En cambio, las dos primeras no tuvieron diferencias, por lo que se puede afirmar que el cambio de temperatura se da durante los 70's.

La Venta, que pertenece a la zona III, no presentó ningún cambio significativo en ninguna de las tres etapas analizadas. De hecho los valores de las medias se mantienen casi iguales.

Temperatura mínima.

En cuanto a la temperatura mínima, se trabajó con estaciones diferentes para la zona I y II, ya que Tacubaya y Gran Canal no contaban con registros muy antiguos en temperatura mínima, por lo que se escogieron las estaciones Cíncel para la zona I, y Moyoguarda para la zona II.

En este análisis, la estación Cíncel (zona I) presentó una diferencia significativa entre la primera y la última etapa ($p = 0.005$). La segunda etapa, es decir la intermedia, es semejante a la primera y a la última. Por lo que se puede aseverar que los años 80's son diferentes de los 80's.

En la zona II, se presentó una diferencia significativa (p

0.0001) entre la última etapa y las dos primeras, las cuales tienen una temperatura inferior a la última. De este modo, los años 80's tienen una temperatura mínima mayor que en las décadas anteriores.

La zona III (Estación La Venta) contrastó con los resultados obtenidos para temperatura media, ya que en este caso, se presentó una diferencia significativa ($p < 0.0001$) de las dos últimas etapas, con la primera. Esta tiene un valor de temperatura menor que en los siguientes periodos, y aunque el último tiene un valor mayor, no se encontraron diferencias significativas entre los dos últimos.

El comportamiento anual de la temperatura se presentó por medio de gráficos de temperatura media, mínima y máxima de las series anuales de la estación representativa de cada zona (figura 19). La temperatura media se incrementó en las estaciones de la zona I y II. La Venta, que pertenece a la zona III, aunque presentó mucha variación se mantuvo sin tendencia al incremento.

La temperatura mínima presentó un incremento muy importante para las tres estaciones. Las tres tienen una clara tendencia a incrementar sus valores.

En cuanto a los gráficos de temperatura máxima, estos presentaron mucha variación, tanto entre estaciones como al interior de las mismas. Por lo cual no se pudo definir alguna tendencia.

PRECIPITACION

Los ajustes a la distribución gamma para las series anuales y mensuales fueron buenos para todos los casos. Es decir, que las series ajustaron a su distribución gamma, por lo que es válido el uso de las probabilidades generadas a partir de ellas. En la figura 20 se presentan los ajustes anuales para las estaciones

representativas de cada zona.

En la figura 21 se presentan los ajustes con los valores de la media, la moda y la probabilidad de la media del mes, para la estación representativa de cada zona. En todas las estaciones la media de la precipitación mensual resultó ser buen predictor de la cantidad de lluvia esperada, sobre todo en los meses más lluviosos, ya que estos presentaron una probabilidad por encima de 0.45 (tabla 4). En las gráficas esto es evidente, ya que las líneas de la media y la moda casi no se separan.

tabla 4. Probabilidades de la media mensual para la estación representativa de cada zona del Distrito Federal.

meses	Tacubaya	Azcapotzalco	La Venta
enero	0.31	0.30	0.30
febrero	0.32	0.33	0.32
marzo	0.33	0.33	0.33
abril	0.39	0.36	0.39
mayo	0.43	0.44	0.43
junio	0.43	0.44	0.46
julio	0.46	0.46	0.46
agosto	0.46	0.46	0.47
septiembre	0.46	0.46	0.45
octubre	0.39	0.40	0.40
noviembre	0.33	0.34	0.32
diciembre	0.31	0.31	0.30

Los resultados obtenidos en la predicción de los niveles de lluvia mensual permitieron aseverar que los meses de la época húmeda son los más predecibles. Para Tacubaya y La Venta equivalen a los meses de mayo, junio, julio y agosto. Para Azcapotzalco, corresponden a junio, julio, agosto y septiembre.

Esto está relacionado con el pico máximo de lluvia, que para Tacubaya y La Venta se presenta en julio y para Azcapotzalco en agosto.

En la figura 22 se presentaron las isoclinas de probabilidades de lluvia para 25, 75, 200 y 300 mm de lluvia. La Venta tiene mayor probabilidad de lluvia de 300 mm, lo que quiere decir que es mucho más lluvioso que Tacubaya y Azcapotzalco durante todos los meses.

El análisis de componentes principales de la matriz de los valores gamma para las estaciones, indicó la existencia de un grupo muy compacto de acuerdo al primer componente, el cual, explicó el 92.2 % de la varianza. Este grupo estuvo formado por las estaciones de Anzaldo, La Venta, Azcapotzalco, Tacubaya y Moyoguarda, todas ellas con valores menores a 2 en el componente 1. Las estaciones con valores más altos en el componente 1 son Iztapalapa, Gran Canal y Milpa Alta (figura 23a). El ordenamiento de acuerdo al segundo componente formó un grupo con las estaciones de Iztapalapa, Cíncel, Tacubaya, La Venta y Anzaldo. Ubicadas las primeras tres en la zona I y las dos últimas en la zona III y II respectivamente y hacia el poniente del Distrito Federal.

En el mismo análisis, la ordenación de los meses presentó un gradiente que va de menor a mayor respecto al primer componente. Marzo fue el mes con el menor valor, que es de 4.6 y por lo tanto el mes más impredecible. Los meses con más consistencia en la cantidad de lluvia precipitada para el Distrito Federal fueron septiembre, noviembre, enero, mayo y julio (figura 23b).

Los resultados del ajuste a distribución gamma de las series anuales se presenta en la tabla 5. En este caso, las probabilidades de la precipitación media son mayores que en los ajustes mensuales, excepto en Mixcoac cuya probabilidad es 0.33.

El comportamiento de la precipitación total anual se graficó para todas las estaciones, y se presentan las gráficas de las estaciones representativas de cada zona: Tacubaya, La Venta y Azcapotzalco (figura 24). A pesar de la variación que se presentó entre años, la precipitación tuvo la tendencia a incrementarse a través del tiempo, en las tres estaciones.

En el análisis por medio de un ANDEVA de un factor, las estaciones que presentaron un aumento significativo de lluvia fueron Azcapotzalco ($p=0.0002$) y Tacubaya ($p=0.0045$). En cambio, La Venta no presentó diferencias significativas ($p=0.11$).

En la figura 25, se presentaron los resultados obtenidos a partir de la comparación de medias, a través de una prueba de Tukey, para la estación representativa de cada zona. La estación de La Venta (zona III) tiene la mayor cantidad de lluvia y no presentó diferencias significativas en los diferentes periodos.

Tacubaya presentó una diferencia significativa entre la primera y las dos últimas etapas, estas presentaron un incremento en la cantidad de lluvia. Así, la etapa de los 60's difiere de las décadas posteriores.

Para la estación de Azcapotzalco, la diferencia significativa se presenta semejante a Tacubaya. Las dos primeras etapas difieren significativamente de las dos últimas, por lo que se puede hacer una división antes y después de los sesentas.

La figura 24 corroboró lo anterior. Ya que Tacubaya y Azcapotzalco tuvieron una clara tendencia a aumentar la cantidad de lluvia. En el caso de La Venta, aunque los ANOVAS no presentaron una diferencia significativa, sí mostraron un aumento de lluvia, lo que es muy claro en la gráfica de precipitación anual.

Tabla 5. Media anual, moda anual, probabilidad de la media y valor gamma de la precipitación de las estaciones del Distrito Federal.

estación	media	moda	Prob. media	gamma
Anzaldo	618.5	601.4	0.4772	33.04
Azcapotzalco	695.1	659.2	0.4699	19.37
Gran Canal	590.6	578.0	0.4795	40.27
Cinzel	556.1	447.0	0.4412	5.09
Sn. Gregorio	741.9	702.4	0.4695	18.84
El Guarda	1181.9	1114.9	0.4762	31.29
Ixtapalapa	612.1	598.53	0.4788	39.32
Milpa Alta	742.1	706.9	0.4711	21.07
Mixcoac	908.1	867.5	0.3316	22.37
Moyoguarda	661.7	627.7	0.4702	19.82
Peña Pobre	846.0	814.7	0.4745	27.05
Tacubaya	766.2	732.9	0.4728	23.67
La Venta	1223.0	1155.9	0.4690	19.20

El Patrón de lluvias a partir de la moda ajustada para Tacubaya (figura 26a), presentó la tercera etapa con mayor diferencia que las dos primeras, excepto en junio y agosto. Es decir, mientras los años son más antiguos existe mayor separación con respecto a la moda ajustada por la distribución. Conforme se avanza en el tiempo, la precipitación mostró un aumento en casi todos los meses, con respecto a lo que se esperaría con ese modelo ajustado (la distribución teórica gamma mensual).

Resalta el hecho de que en la última etapa, el aumento de lluvia más importante fue en los meses que no son típicamente lluviosos, a diferencia de las etapas anteriores, que se dió en los meses típicamente lluviosos. El aumento de lluvia en la etapa

70-85 se dió en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre. En la etapa 60-70 se dió en abril, junio, julio, agosto, septiembre, y octubre. Durante la primera etapa (>1980) el incremento se presentó en abril, octubre y noviembre.

En Azcapotzalco, al igual que en Tacubaya, la última etapa fue la que presentó mayor aumento en la cantidad de lluvia con respecto a las tres etapas anteriores. Los cambios más importantes se dan en abril, junio, julio, septiembre y octubre (figura 26b).

La Ventá presentó una variación muy fuerte entre etapas, sin ninguna tendencia, por lo que no se pudo observar diferencias en los patrones de las tres etapas analizadas (figura 26c).

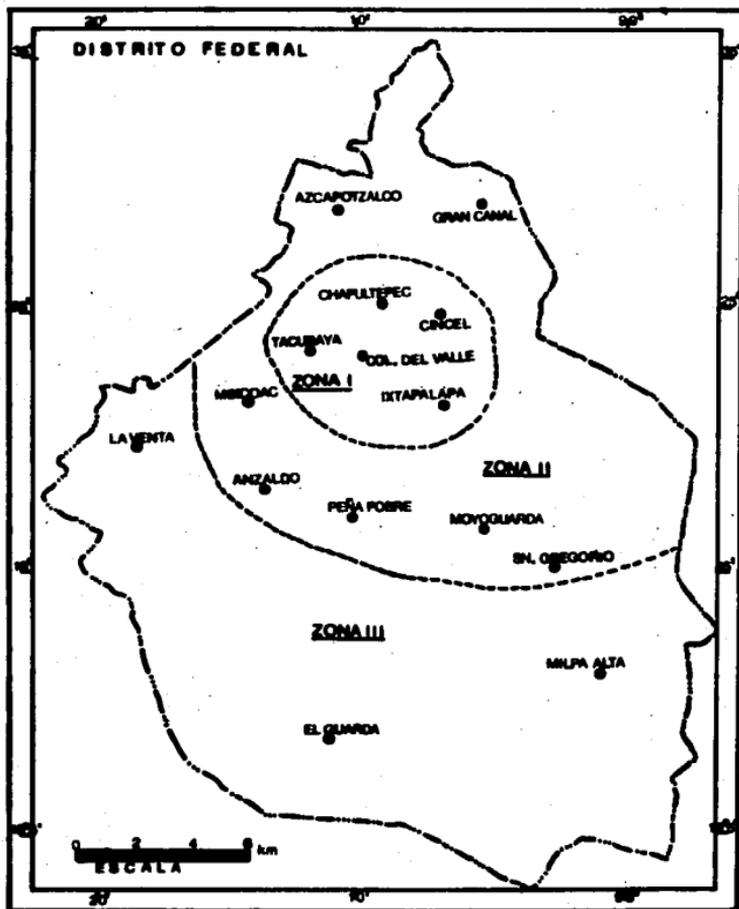


Figura 12. División zonal en base a las áreas verdes del Distrito Federal.

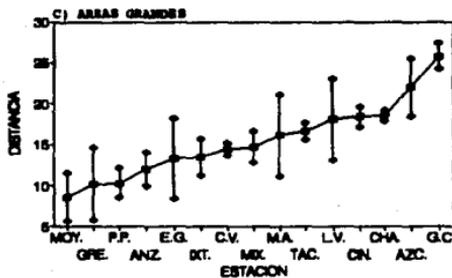
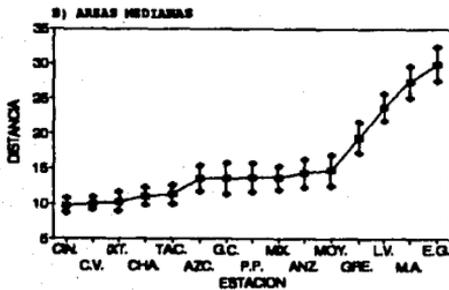
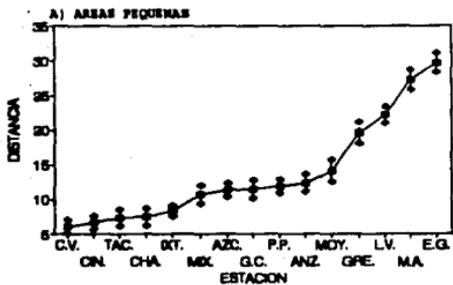


Figura 13. Promedio (error estándar) de las distancias de las estaciones a las áreas verdes de distinto tamaño.

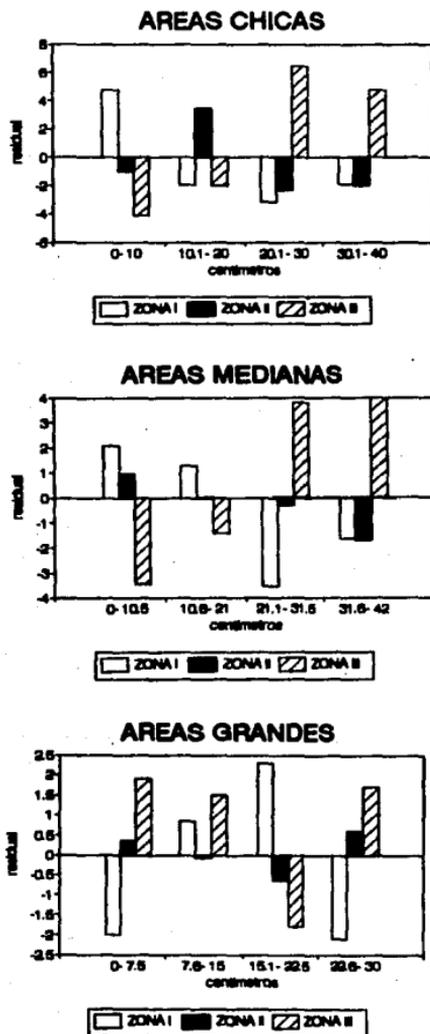


Figura 14. Residuales ajustados de las áreas verdes en las zonas del Distrito Federal.

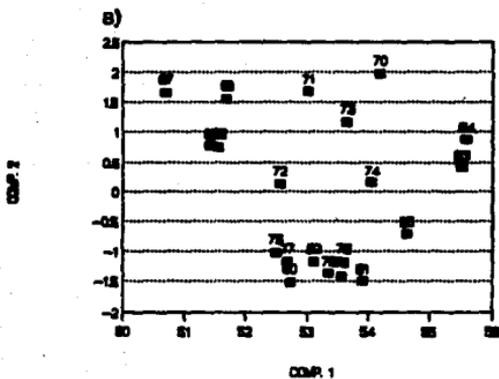
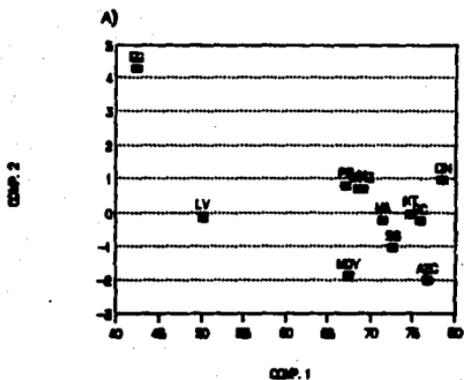


Figura 15. Ordenación de A) estaciones y B) años de la temperatura media mensual.

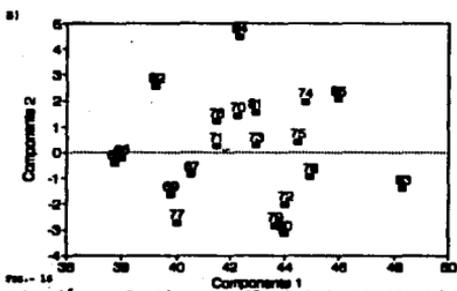
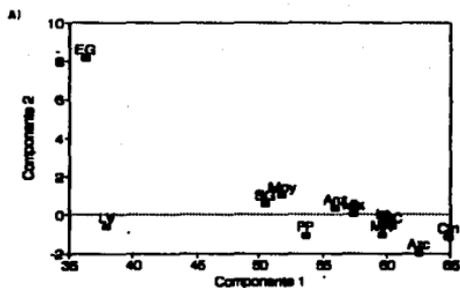


Fig. 16
 Ordenación de A) Estaciones y B) Años de la temperatura media del mes más frío.

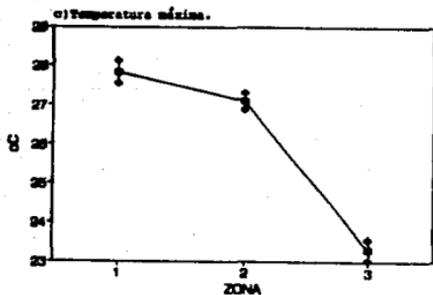
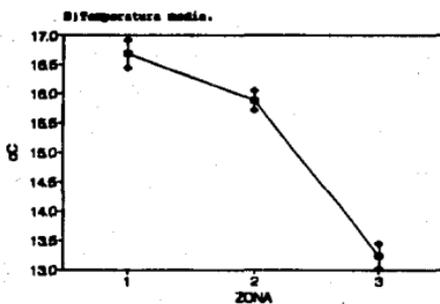
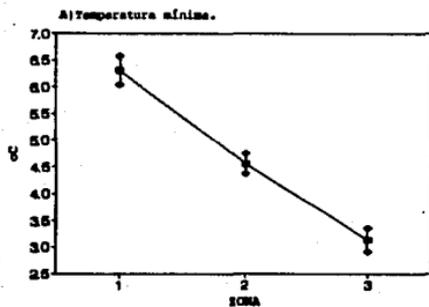


Figura 17. Medias (error estándar) de temperatura en las zonas del Distrito Federal.

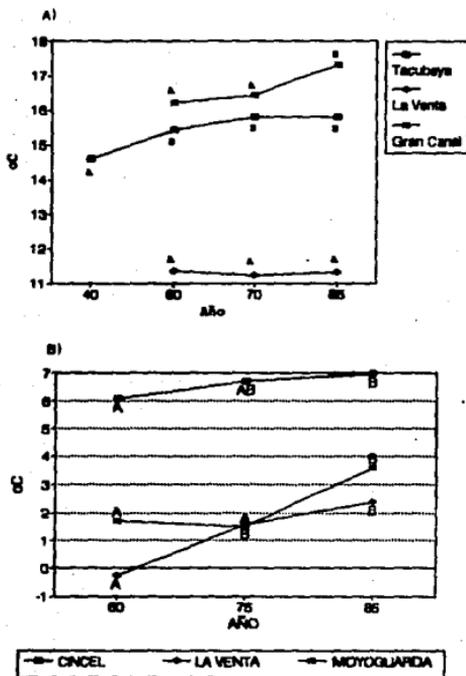


Figura 18. Comparación de temperaturas Almedias y B) mínimas anuales con la prueba de Tukey de las estaciones representativas de las zonas del D.F.

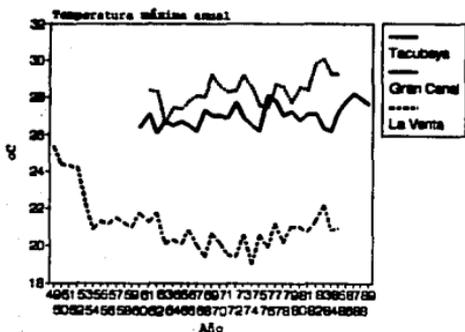
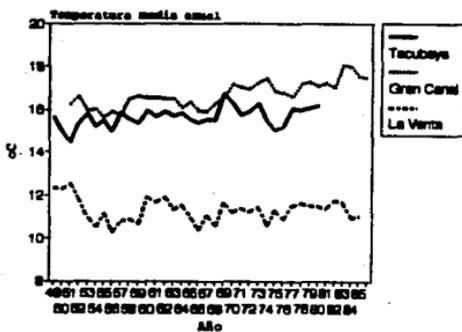
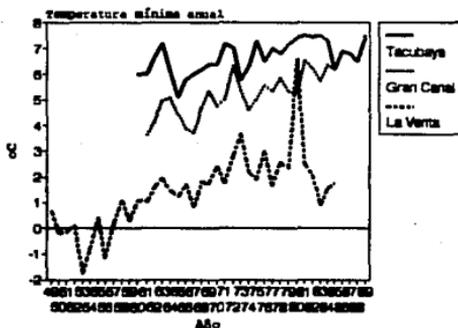
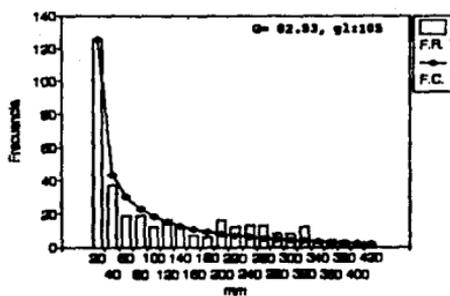
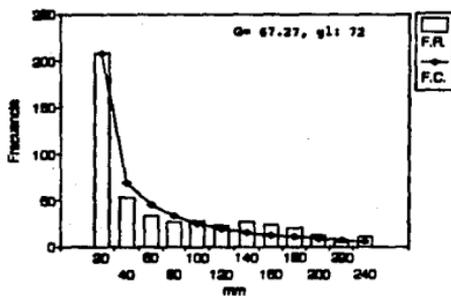


Figura 19. Temperatura anual de las estaciones representativas de las zonas del Distrito Federal.

A) La Venta



B) Tumbaya



C) Acaopatzaco

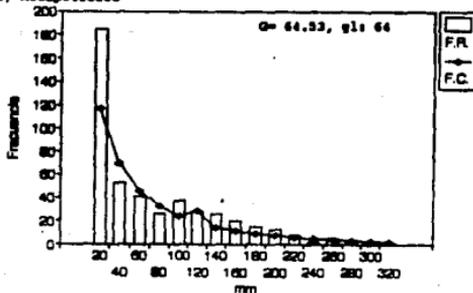
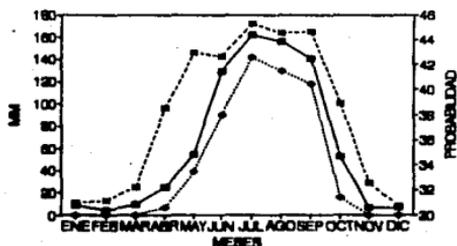
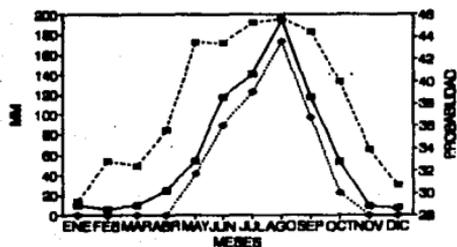


Figura 20. Ajustes a la distribución probabilística Gama.

TACUBAYA



AZCAPOZALCO



LA VENTA

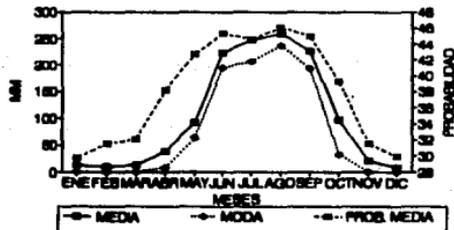


Figura 21. MMIA, moda y probabilidad de la moda de las asociaciones representativas de las zonas del Distrito Federal.

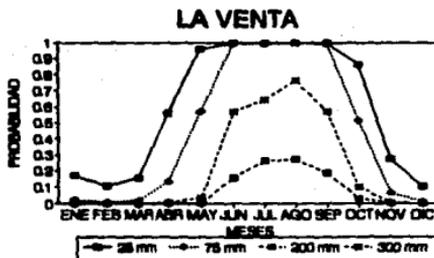
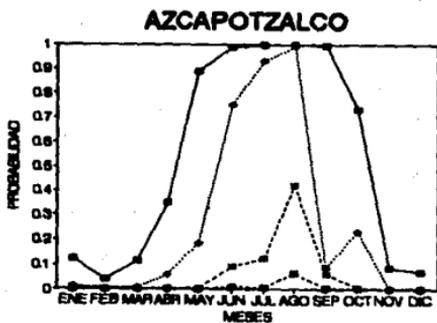
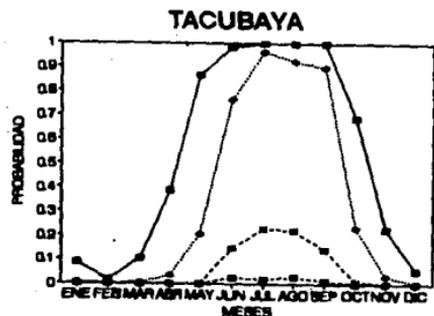


Figura 55. Probabilidades mensuales de 25, 75, 200 y 300 mm de lluvia para las subcuencas representativas de las zonas del Distrito Federal.

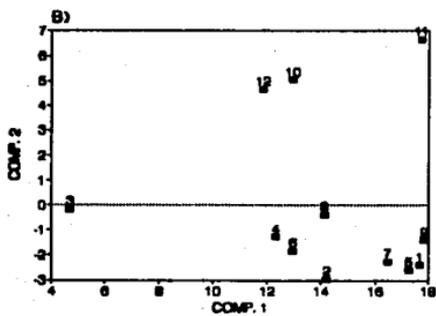
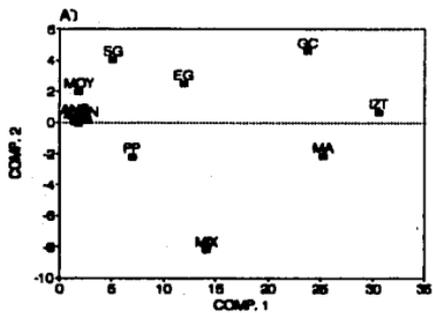


Figura 23. Ordenación de A) estaciones y B) años de los valores gama.

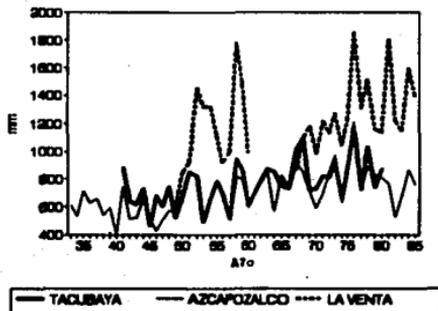


Figura 24. Precipitación total anual de las estaciones representativas del D.F.

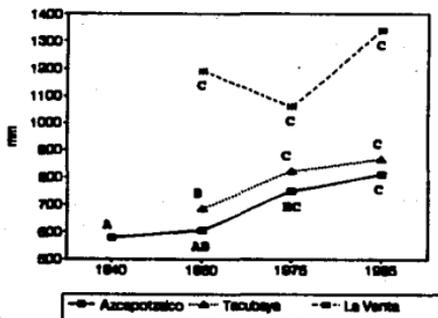


Figura 25. Comparción de las medias anuales de precipitación por medio de lo prueba de Tukey.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

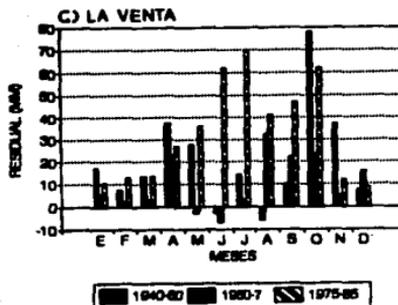
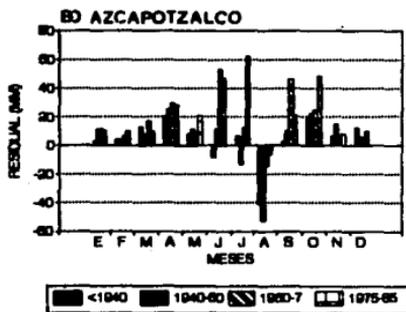
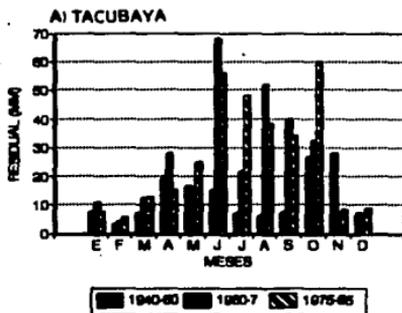


Figura 28. Patrones de lluvia con base en la moda de la distribución Gama.

IV DISCUSION

TEMPERATURA

La idea de que las áreas urbanas modifican el medio ambiente y por tanto, alteran las condiciones locales de temperatura y precipitación es muy común en diversos autores (Gribbin, 1978; Lowry, 1967; Griffiths, 1966; Schneider, 1969, etc.).

En el Distrito Federal, el fenómeno de la urbanización se ha presentado en diferente espacio y tiempo, así como en condiciones variables (Delgado, 1968). Hoy en día, no todas las áreas del Distrito Federal son urbanas y lo que actualmente abarca el área urbana no siempre lo fue, así que el efecto sobre la temperatura y la precipitación no se ha dado al mismo tiempo.

De acuerdo con los resultados obtenidos por medio de componentes principales de las series anuales de temperatura, la temperatura media de enero (mes más frío) y la temperatura media mensual son las que presentan una tendencia a incrementar sus valores. Lowry (1967) señala que la influencia de la urbanización en la temperatura máxima es menor, en contraste con la temperatura mínima, lo cual concuerda con los resultados, ya que las estaciones y años con respecto a la temperatura máxima no presentaron ordenación alguna, lo que indica que no tiene definida una tendencia al incremento. La temperatura media anual muestra cierto efecto de la urbanización, sin embargo los resultados no son muy significativos. La razón puede ser como lo señalan Barry y Chourley (1973), que al trabajar con medias siempre conlleva a la pérdida de información que puede ser muy importante en el resultado final. Los resultados también muestran que los años, aunque no con exactitud, sí logran ordenarse de menor a mayor, lo que quiere decir que a nivel general (13 estaciones) y a pesar de la variación que se da entre estaciones, sí se logra definir una división entre los años más

antiguos, con temperaturas menores, y los años más recientes, con temperaturas más cálidas.

Los resultados anteriores concuerdan con los resultados de las ANDEVAS factoriales ya que sólo la temperatura mínima extrema se ve afectada significativamente tanto por el factor espacio y tiempo, es decir, que la temperatura mínima ha presentado una tendencia al incremento a través del tiempo, que estadísticamente es significativa. Lo mismo sucede en relación a las zonas, ya que la diferencia que existe entre la zona I (centro) y la zona II (intermedia) y la zona III (periférica) es significativa estadísticamente y la diferencia entre zonas es de 0.3, 4.5 y 3.1°C respectivamente. En tanto, la temperatura máxima extrema y la temperatura media anual sólo son afectadas por el factor espacio. Para la temperatura máxima los valores fueron para la zona I de 27.8 °C, para la zona II 27.0°C y para la zona III de 23.3°C, la mayor diferencia se encuentra entre las zonas I y III. Sin embargo, aunque el análisis factorial mostró que la temperatura media sólo está afecta por el factor espacio, el análisis de la prueba de Tukey presentó tendencia al incremento en la temperatura media.

El hecho de que la temperatura media, máxima extrema y mínima extrema tengan una diferencia significativa respecto al factor zona, se debe en mucho a la influencia altitudinal, ya que la estación de La Venta se encuentra a una altitud de cerca de 100 m por encima de Tacubaya y cerca de 150 m por encima de Gran Canal; además de que La Venta está rodeada de vegetación arbórea y en cambio Tacubaya y Gran Canal carecen de áreas verdes importantes. Sin embargo, a pesar de que García (1981) reporta para Gran Canal una temperatura media de 16.2°C y para Tacubaya de 18.1°C, es decir más baja, las medias muestran que los valores temperatura máxima extrema tienden a acercarse mucho entre sí en estas dos estaciones. En cambio, los valores de la temperatura mínima extrema son muy diferentes entre las tres estaciones y Gran Canal tiene un valor por debajo del de Tacubaya de cerca de

2°C, a pesar de que la temperatura media de la primera es mayor. Lo anterior es consecuencia de una mayor influencia urbana sobre la temperatura mínima en Tacubaya, por efecto del alto grado de contaminación, escasez de áreas verdes, etc.

Los resultados de los ANDEVAS de una vía para el análisis de temperatura a través de cuatro etapas, mostraron que la temperatura media en la estación de La Venta (zona III) no ha tenido cambios significativos, lo cual indica que el crecimiento de la mancha urbana no ha afectado en gran medida a la temperatura media, debido a que su altitud y vegetación puede actuar como factor de protección. En cambio, la estación de Tacubaya (zona I) y Gran Canal, (zona II) muestran un cambio significativo, la zona I tiene un incremento que va de 14.6 en el primer periodo a 15.6°C durante el cuarto y último periodo, el cambio significativo se presenta entre el primero y último periodo. Entonces para Tacubaya el cambio se presenta durante los años cuarentas, y a partir de 1960, la temperatura media se mantiene sin cambios significativos. La razón la podemos encontrar en el hecho de que para 1940 el país ha iniciado ya un fuerte y ascendente proceso de expansión física y demográfica. Este proceso de crecimiento se desplaza fuera de los límites del Distrito Federal a partir de 1960, y las estaciones que se encuentran en el área metropolitana de la Ciudad de México se ven afectadas. Tal es el caso de la estación de Gran Canal, en donde la temperatura es de 16.2°C para el primer periodo, de 16.4°C para el segundo y de 17.3°C para el tercero. Lo que indica un cambio significativo que se inicia hacia 1970, cuando la mancha urbana y la población han alcanzado tasas de crecimiento muy altos en la zona metropolitana, suficientes para influir sobre el clima local y diferenciarlo de los años anteriores.

En relación a la comparación de temperatura mínima por medio de la prueba de comparaciones múltiples (Tukey), hay algunas

diferencias con los resultados de temperatura media. Para la zona I los valores de temperatura mínima se incrementan durante los periodos 2, 3 y 4 en 0.0°C , 0.7°C , y 0.9°C respectivamente. El incremento significativo se presenta entre los periodos 1 y 3. Para la zona II se incrementa durante los mismos periodos en 1.7°C , 1.5°C y 3.0°C respectivamente y el incremento significativo se da en el último periodo. Respecto a la zona III, la temperatura mínima extrema se incrementa de -0.2°C , 1.0°C y 2.4°C durante los periodos 2, 3 y 4 respectivamente; en este caso la diferencia significativa está dada por el primer periodo. Esto indica que para la zona I, el cambio se inicia hacia los años sesentas, por lo que si se contara con registros anteriores, probablemente el cambio se presentaría mucho antes, como en el caso de la temperatura media en Tacubaya. Para la zona II el cambio de temperatura se produce en los años setentas, la razón al igual que en el caso de la temperatura media se puede relacionar con el crecimiento expansivo de la mancha urbana, que en esta etapa extiende sus límites hasta el Estado de México. La estación de La Venta tiene incrementos en las diferentes etapas, en cambio, la temperatura media no tiene cambios significativos. Además, es importante señalar que la diferencia entre los promedios de temperatura mínima extrema de cada estación, es mayor que en el caso de la temperatura media. Para Cincal los valores tienen una diferencia de 1°C ; para Moyoguarda es de 2.1°C y para La Venta es de 2.4°C , es decir, nuevamente se observa que la temperatura mínima tiene un incremento mayor.

Las gráficas de temperatura media, mínima y máxima coinciden con los resultados anteriores. La temperatura mínima presenta líneas en constante aumento en las tres estaciones, mientras que La Venta no presenta aumento en la media, y la temperatura máxima tiene un comportamiento muy heterogéneo.

Estos resultados concuerdan en cierta forma con los resultados del estudio hecho por Olave (1978), en el cual trabajó sólo con dos periodos, antes de 1960 (ya hecho por García, 1966) y de 1960 a 1973, abarcando parte del Estado de México y el Distrito Federal (32 estaciones). En este estudio encontró que los valores de temperatura mínima y media, anteriores a 1960 difieren de los correspondientes al segundo periodo; basándose en el trazo de isotermas para ambos periodos, por lo que no se puede saber si estos cambios son significativos. De igual manera, encontró que las temperaturas máximas "en general permanecen un tanto iguales".

PRECIPITACION

Los ajustes a la distribución gamma de las series mensuales y anuales fueron significativos, tal como lo señalan Mosiño & García (1981), al aseverar que aunque esta distribución es ideal en el estudio de la precipitación en zonas áridas, en las zonas templadas también tiene buenos resultados.

El análisis de los valores gamma mensuales indica que enero, septiembre y noviembre son los más predecibles, esto podría relacionarse con la influencia de ciclones tropicales y los frentes fríos típicos de invierno, que aumentan la cantidad de lluvia precipitada. Las estaciones más impredecibles a nivel mensual son Ixtapalapa, Milpa Alta y Gran Canal, todas ellas presentan en sus gráficas de precipitación anual, fuertes variaciones. En cambio, las estaciones más predecibles son Anzaldo, La Venta, Azcapotzalco, Tacubaya y Cincel, todas ellas con una evidente tendencia al incremento en la cantidad de lluvia. Si las estaciones como Tacubaya y Azcapotzalco no se encuentran en la zona más lluviosa y sin embargo tienen mayor predecibilidad, probablemente el sobrecalentamiento de la zona

urbana tenga una influencia importante, ya que al incrementarse los movimientos convectivos del aire, ocasionan tormentas adicionales (Jáuregui, 1971).

Del análisis de las series anuales totales se advierte que la cantidad de lluvia de las estaciones presenta un gradiente que va de menor a mayor en sentido NE-SW, relacionado con la topografía del terreno, que la zona NE es más seca, y la SW más húmeda, debido a su altitud. En este caso, la probabilidad de ocurrencia del promedio anual es alto, todas las estaciones muestran una probabilidad por encima de 0.45. Lo anterior concuerda con la probabilidad de ocurrencia de 300 mm de lluvia durante la estación húmeda del año ya que las estaciones con las probabilidades menores son Gran Canal e Iztapalapa ubicadas hacia el extremo noreste del Distrito Federal. La estación de Moyoguarda también tiene una probabilidad baja; mientras que las estaciones con probabilidades más altas son La Venta y El Guarda, ubicadas hacia el suroeste de la zona.

Mediante el análisis de comparación de medias, quedó definido un incremento significativo en el valor de los promedios a través de las etapas. Azcapotzalco tiene un incremento significativo entre la primera y la última etapa, que va de 579 mm a 810 mm. El cambio más drástico se observa hacia la década de los sesentas, ya que pasa de 605 a 749 mm., cuando la mancha urbana inicia su crecimiento excesivo hacia el norte del Distrito Federal. En general, el cambio se puede atribuir a los cambios térmicos que ha generado el crecimiento desmesurado de la ciudad, tal como lo señala Jáuregui (1971). El comportamiento de la estación de Tacubaya, es similar al de Azcapotzalco, el cambio significativo se presenta también hacia los sesentas, los valores para los periodos 2, 3 y 4 son de 686.7 mm, 823.4 mm y 803 mm respectivamente. La diferencia entre la primera y la última etapa registradas es de más de 200 mm, y para Azcapotzalco la

diferencia es de poco menos de 200 mm. En el caso de La Venta, esta no presenta cambios significativos en la cantidad de precipitación, incluso en la segunda etapa la cantidad de lluvia disminuye, aunque hay que observar que precisamente en esta etapa no se cuenta con siete años de registros y esto puede influir en el resultado, dado que la gráfica de precipitación total, aunque con fuertes variaciones, tiene una marcada tendencia a incrementar su valor. Así, comparando los resultados de la prueba de Tukey con las gráficas antes mencionadas, se puede generalizar un aumento considerable en la cantidad de lluvia para las tres estaciones.

Lo anterior coincide con otros estudios realizados anteriormente (Jáuregui, 1971; Olave, 1976) y donde se encontró que la precipitación, si bien está determinada por la altitud, ha tenido un incremento marcado, a partir de 1950, sobre todo en la zona urbana, donde la acción del hombre ha creado un clima específico ó local.

Los patrones de lluvia por etapas indican para Tacubaya que el mes de octubre y noviembre presenta un aumento muy importante en todas las etapas, esto podría estar relacionado a un corrimiento del calentamiento por efecto de la urbanización, lo cual provoca lluvias en estos meses, que no son típicamente húmedos, pero la humedad es suficiente para que los movimientos convectivos generen lluvias.

La prueba de Tukey para precipitación muestra que no existen diferencias significativas entre las etapas 60-70 y 70-85. De acuerdo a los patrones de lluvia, esto se debió a un cambio en la distribución de la lluvia, ya que mientras en la etapa 60-70 la lluvia se incrementó considerablemente en los meses típicamente húmedos, en la última etapa hubo un aumento de lluvia en meses típicamente no húmedos como mayo, octubre y noviembre. Esto puede deberse al aumento de la temperatura en la última etapa de la zona I, que ha provocado mayor convección del aire y

a la gran carga de contaminantes atmosféricos, que pueden producir condensación.

En Azcapotzalco, los cambios más importantes se presentan hacia la tercera etapa (60-70), el cual corresponde al cambio significativo en la prueba de Tukey para precipitación. También está relacionado con el crecimiento acelerado de la urbanización en esta zona. Al igual que en Tacubaya los meses de abril y octubre (meses típicamente no húmedos) tienen incrementos importantes de lluvia con respecto a la moda de la distribución.

La Venta aunque no presenta patrones definidos, si tiene un aumento de precipitación en la última etapa y durante los meses húmedos, aumento que se manifiesta en las gráficas de precipitación anual y las medias de periodos por medio de la prueba de Tukey, ya que se incrementa de 1191.3 a 1340 mm.

CONCLUSIONES

El Distrito Federal ha sido siempre el centro económico, social, administrativo y político del país, provocado por un desarrollo no planificado del país. Este problema se observa hacia el interior mismo del Distrito Federal. La urbanización se ha concentrado en el centro de la ciudad, por lo que existen zonas con carencia de áreas verdes, como es el centro, y zonas con abundancia de áreas verdes, como la zona del suroeste. El fuerte proceso de urbanización, también ha provocado una alta contaminación del aire.

Al comparar la temperatura y la precipitación por zonas y etapas en relación al crecimiento urbano en el Distrito Federal, se tiene que es la temperatura mínima la que se ve más afectada por el efecto de urbanización, es decir, el aumento de la temperatura mínima es mayor para las tres zonas, en comparación con la temperatura media y máxima. Para la zona I y II los aumentos significativos de temperatura media y mínima, coinciden con las etapas en que el crecimiento de la mancha urbana llega a consolidarse en dichas zonas. En la zona III, sólo el aumento de la temperatura mínima coincide con la tercera etapa de crecimiento de la ciudad.

La precipitación también ha incrementado su volumen en las tres zonas. Para las zonas I y II el aumento significativo se relaciona con el crecimiento de la mancha urbana y el aumento de temperatura. En estas mismas zonas, el patrón de lluvia se modifica en las últimas etapas. La lluvia tiene un incremento en los meses típicamente no húmedos.

Por lo anterior, la temperatura y la precipitación han sufrido alteraciones en diferente espacio y tiempo, que tienen su causa en el desmesurado crecimiento urbano y toda la problemática ecológica que trae consigo.

BIBLIOGRAFIA

- Barradas, L. y SERES, R.J. 1989. "Los pulmones urbanos". Ciencia y Desarrollo. Núm. 78, año XVI. México, D.F.
- Barry, R.; Chourley, R. 1984. Atmósfera, tiempo y clima. Omega, Barcelona.
- Corona, V. 1989. "Áreas verdes de la Ciudad de México". En: Gio, R. et al. Ecología urbana. 93-101 SEMN. México.
- Cruz, R. 1989. "Contaminación atmosférica en la ciudad de México". En: Gio, R. et al. Ecología urbana. 67-73 SEMN. México.
- DDF. 1984. Anuarios estadísticos del Distrito Federal. INEGI. Tomo I.
- Delgado, J. 1988. "El patrón de ocupación territorial al año 2000". En: Estructura Territorial de la Ciudad de México. El Colegio de México, D.F.
- Everitt, B.S. 1977. The Analysis of Contingency Tables. Chapman and Hall. London.
- Excurra, E. 1990. De las chinampas a la megalópolis. El Medio Ambiente en la cuenca de México. La Ciencia desde México. SEP-FCE-CONACYT.
- Excurra, E. & Rodríguez, V. 1989. "Rainfall patterns in the Gran Desierto, Sonora, México". Journal of Arid Environments. 10:13-22.
- Galindo, I. 1989. "Transformaciones energéticas en la atmósfera urbana originadas por la contaminación atmosférica". En: Gio, R.

et al. Ecología urbana. S&N. México.

García, E. 1988. "Los Climas del Valle de México según Köppen modificado por la autora". Seminario sobre el Valle y la Ciudad de México. Unión Geogr. Intern. Conf. Reg. Latinoam. Soc. Mex. de Geogr. y Est. Tomo IV: 27-48.

García, E. 1983. Apuntes de Climatología. UNAM.

García, E.; R. Vidal. 1981. "La tendencia de la precipitación en la parte central de México en los últimos 80 años". Estadística. 6:103-108.

García-Oliva F., E. Ezcurra and L. Galicia. 1981. "Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of Mexico". Geografiska Annaler. 73 AC34): 179-188.

Gómez, J.C. 1988. "El clima de la Ciudad de México" FFyL, UNAM.

Gribbin, J. 1978 Climatic Change. Cambridge University Press. London.

Griffiths, J. 1988. Climatología Aplicada. Publicaciones Cultural. México, D.F.

Ibarra, V. et al. 1988. La Ciudad y el Medio Ambiente "el caso de la zona metropolitana de la Ciudad de México". La Ciudad y el Medio Ambiente en América Latina. El Colegio de México, D.F.

Infante S. G. Zarate. 1988. Métodos Estadísticos. Trillas, Méx.

Jáuregui, E. 1971. Mesoclima de la Ciudad de México. Imprenta Universitaria. Inst. Geogr. UNAM

- Jauregui, E. 1974. "La isla de lluvia en la Ciudad de México". Revista de Recursos Hidráulicos. Vol. III Núm. 2:138-151.
- Jauregui, E. 1975. "Los sistemas de tiempo en el Golfo de México y su vecindad". Boletín del Instituto de Geografía. Vol. VI, 7-38.
- Jauregui, E. 1975. Las zonas climáticas de la Ciudad de México. Boletín del Inst. Geogr. UNAM 47-58.
- López, R. 1980. El crecimiento urbano en la zona Distrito Federal- Estado de México. (Tesis Lic.) FFyL. UNAM.
- Lovry, W. 1957. "El clima de las ciudades". Scientific American. 217: 161-169.
- Naderay, L.E. 1980. "Intensidad de la precipitación en el Valle de México". Boletín del Inst. de Geogr. Núm. 10. UNAM
- Montgomery, D.C. 1984. Design and Analysis of experiments. John Wiley & Sons.
- Mosfio, P.A. & García, E. 1981. "The Variability of Rainfall in México and its determination by means of the Gamma Distribution". Geografiska Annaler. 63 a: 1-10
- National Academy of Sciences. 1975. Understanding Climatic Change. Washinton, D.C.
- Negrete, M. e t C Ruiz. 1987. Crecimiento y distribución de la población de la Ciudad de México 1950-1980. El Colegio de México.
- Olave, F. et al. 1976. "Tendencias climáticas en la Ciudad de México". Anuario de Geografía. AÑO XVI. UNAM.

Schetingart, M. 1978. "El proceso de estructuración del espacio en el área metropolitana de la ciudad de México". Temas de la ciudad. No. 7 DDF, México.

Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1981. Biometry. W.H. Freeman and Company. New York.

Unikel, L. 1971. "El crecimiento urbano de la Ciudad de México". Comercio Exterior. Junio, 1971. México.

Valiente, L. 1981. Patrones de precipitación en el valle semiárido de Tehuacán, Puebla, México. (Tesis Lic.) Fac. Ciencias, UNAM.



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA