



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

IMPACTO DEL CRECIMIENTO URBANO EN LAS
TEMPERATURAS DE LOS OBSERVATORIOS
METEOROLÓGICOS DEL SERVICIO
METEOROLÓGICO NACIONAL

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

JORGE ALBERTO SALINAS OROZCO

ASESORA:

DRA. MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA



MÉXICO, D. F.

2007



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 esta 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.

Agradecimientos

Por el incondicional apoyo sin el cual no habría podido ser posible este trabajo, agradezco a mis padres Jesús Alberto Salinas Leyva y María de Jesús Orozco Tagle y a mis hermanos Iesús y Miguel por estar siempre a mi lado.

Al Dr. Miguel Cortez Vázquez†, quien me asesoró a lo largo de la mayor parte del presente trabajo, por su apoyo, su tiempo y por sus enseñanzas que fueron más allá de las cuestiones técnicas y que desafortunadamente un atroz incidente le impidió ver concluida esta tesis.

A la Dra. María Engracia Hernández Cerda por su amable disposición y valioso apoyo para concluir este trabajo. A Berenice Miranda por el apoyo técnico. A mis sinodales Lic. Germán Carrasco Anaya, Dra. Leticia Gómez Mendoza, Dra. Laura Elena Maderey Rascón y la Dra. Rosalía Vidal Zepeda, por sus valiosos y acertados comentarios que me ayudaron a enriquecer el trabajo. A la Dra. María del Carmen Juárez por su ayuda en la parte de población. Al maestro Francisco Pestana Suárez por su apoyo en la redacción.

Al personal del Observatorio Meteorológico de Tacubaya que siempre estuvo dispuesto a apoyarme.

A la UNAM y al Colegio de Geografía por darme la oportunidad de cursar la carrera.

Índice

1. Introducción.....	4
2. Justificación.....	5
3. Hipótesis.....	6
4. Objetivos.....	6
Capítulo 1. Marco conceptual	
1.1 Impacto de la urbanización sobre las temperaturas.....	8
1.2. Crecimiento poblacional en México durante la segunda mitad del Siglo XX.....	12
1.3. Red de observación del Servicio Meteorológico Nacional.....	15
a) Red sinóptica de superficie (observatorios meteorológicos).....	15
b) Estaciones climatológicas convencionales.....	18
Capítulo 2. Datos y métodos de análisis	
2.1 Datos.....	21
2.2 Metodología.....	25
Capítulo 3. Análisis y resultados	
3.1 Análisis y resultados.....	28
3.1.1 Grupo 1, ciudades millonarias.....	29
3.1.2 Grupo 2 Ciudades grandes.....	52
3.1.3 Grupo 3 Ciudades medias.....	68
Conclusiones	78
Recomendaciones	81
Referencias	82
Anexos	85

1. INTRODUCCIÓN

El clima es un elemento importante del medio que influye de manera directa en los componentes del paisaje como la distribución de la vegetación, la estructura del suelo, formas del relieve y también en las actividades humanas, por ejemplo en aspectos de salud, disponibilidad de recursos hídricos, producción y consumo de energía, actividades comerciales, comunicaciones y transporte entre otras (Case y Bergsmark, 1965). Dicha influencia se ha presentado desde la antigüedad, cuando las primeras civilizaciones se establecieron en lugares con climas óptimos para sus actividades (Gómez y Márquez, 1994). Los primeros estudios sobre el comportamiento del estado del tiempo y del clima, fueron realizados en Europa en el siglo XVII, cuando Galileo Galilei inventó el termómetro el año 1600, y su discípulo Evangelista Torricelli hizo lo propio con el barómetro en 1643, esto representó el nacimiento de la meteorología científica (Gil y Olcina, 1999). En México, el 6 de marzo de 1877 se estableció el primer observatorio meteorológico para el monitoreo del estado del tiempo y clima (Jáuregui, 2000) y para antes de 1900, se contaba con registros de 37 estaciones (Contreras, 1999). Desde esa fecha se comenzaron a conocer las condiciones atmosféricas con datos instrumentales.

Desde la Revolución Industrial del siglo XIX, los avances científicos y tecnológicos marcaron una nueva era en la historia humana a partir de la cual se impulsaron los medios de producción masiva. Este desarrollo trajo consigo un deterioro ambiental incrementándose la emisión de gases contaminantes a la atmósfera (Hernández, 1999). En poco tiempo, las ciudades industrializadas se convirtieron en centros de atracción para la gente de comunidades aledañas, produciéndose fuertes concentraciones de población (D'Entremont, 1997). Estos incrementos demográficos unidos al cambio de uso de suelo de áreas de vegetación natural a zonas urbanas, la intensificación de emisión de gases a la atmósfera y los cambios en la topografía de las ciudades, provocan un impacto en las condiciones medioambientales locales, que traen consigo una atmósfera más contaminada y cálida sobre la ciudad (Barry y Chorley, 1985).

De acuerdo con Moreno (1999) el primer estudio que hace referencia al clima urbano fue realizado por Luke Howard en 1833 en Londres, donde observó que los registros indicaban un incremento de las temperaturas en el centro de la ciudad. Estudios recientes como los de Karl y Jones (1989) y Jáuregui (1993), corroboran que la urbanización genera un impacto en los registros de las estaciones localizadas en las ciudades que consiste en el incremento de la temperatura mínima generalmente.

En México, la mayoría de los observatorios del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) fueron establecidos en las capitales y en las principales ciudades de los estados, por lo que se pretende responder a la pregunta: ¿qué repercusiones tiene en el comportamiento de las temperaturas registradas en los observatorios, el hecho de que estos se encuentren ubicados actualmente al interior de zonas urbanas?. Para responder la pregunta, se hace un análisis comparativo entre las temperaturas registradas en los observatorios y en las estaciones climatológicas ubicadas fuera de la ciudad. Además, se busca la relación entre las tendencias de las temperaturas de los observatorios con el crecimiento poblacional de las ciudades en que se ubican. Por lo anterior, resulta conveniente estudiar las tendencias de las temperaturas registradas en los observatorios de algunas ciudades de México.

2. Justificación

La variabilidad del estado del tiempo y clima han sido la única característica constante de la atmósfera, pero existe la percepción de que las fluctuaciones se ha intensificado en los últimos años a causa de la actividad humana (OMM, 1980). Algunos estudios como los de Olsson (1990) y Jáuregui (1990 y 2004), muestran que las ciudades presentan incrementos en las temperaturas asociados a la urbanización y a esto se le conoce técnicamente como “Isla de calor” (Schneider, 1996). Esto se debe a que las estaciones de observación están ubicadas dentro de las ciudades o en lugares que con el avance de la mancha urbana quedaron inmersos en la misma. La intensidad del efecto de la urbanización sobre las temperaturas depende de la fluctuación térmica natural de la región y de la intensidad de la actividad humana.

Probablemente los registros de temperatura de algunos observatorios de México, muestran un incremento de temperatura debido a que están localizados en ciudades que de acuerdo con INEGI (1994), tuvieron un fuerte crecimiento poblacional e industrial a partir de la década de los años 50.

3. Hipótesis

De acuerdo con Lansberg (1981), las temperaturas mínimas, principalmente durante el invierno, son las que tienen una mayor tendencia a incrementarse debido al crecimiento urbano, ya que en esta estación los vientos tienen menor intensidad y no pueden dispersar los contaminantes presentes en la atmósfera urbana, mismos que impiden el escape del calor refractado por la superficie escape a niveles mas altos y así el calor queda concentrado sobre la ciudad. Además, Barry y Chorley (1985), señalan que las características térmicas de una urbe, están dadas por otros factores como son cambios en la composición atmosférica, en el balance de radiación debido al albedo, la producción de calor por las actividades humanas y las modificaciones en la configuración en el flujo del aire.

Por lo anterior y debido a que algunos observatorios del SMN están ubicados en ciudades con importante crecimiento poblacional, se puede especular que están siendo afectados por la urbanización, y por ello los incrementos más importantes se presentan en los registros de las temperaturas mínimas en la mitad fría del año, es decir, las temperaturas registradas en los meses de otoño e invierno (entre octubre y marzo).

4. Objetivos

El objetivo central del presente trabajo es analizar la relación entre el crecimiento poblacional de las ciudades donde se ubican algunos observatorios del SMN y las posibles tendencias al incremento de las temperaturas registradas en los mismos durante la segunda mitad del Siglo XX, con base en el análisis quinquenal y la aplicación de la regresión lineal en la serie de datos.

Como objetivos particulares se plantean:

1. Comparar las tendencias de la temperatura entre observatorios y estaciones climatológicas de localidades rurales próximas a los observatorios para determinar la diferencia entre campo y ciudad.
2. Identificar la variable térmica: máxima, mínima que ha sido mas sensible al calentamiento urbano.
3. Establecer la temporada del año donde se observe un mayor incremento térmico debido al aumento de la población como un indicativo del crecimiento urbano.

La investigación consta de tres capítulos, en el primero se tratan los fundamentos de la investigación y se divide en tres partes. La primera es acerca del mecanismo físico por medio del cual la urbanización afecta los registros de temperaturas de los observatorios, de acuerdo con el trabajo de Lansberg (1981). En la segunda parte, se destaca el acelerado crecimiento urbano que presentaron algunas ciudades de México durante la segunda mitad del Siglo XX. Para realizar ésta y muchas otras investigaciones acerca del estado del tiempo y clima, es necesario contar con la información necesaria, por lo que la tercera parte se refiere a las redes de observación y monitoreo del estado del tiempo y clima con que se cuenta en México. En el segundo capítulo se hace referencia a los datos y métodos de procesamiento utilizados. Por último, en el tercer capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos.

Capítulo 1

Marco teórico

1.1 Impacto de la urbanización sobre las temperaturas.

De acuerdo con Lansberg (1981), el mecanismo físico que genera el incremento de las temperaturas causado por la urbanización, se da de la siguiente manera: en niveles altos de áreas urbanizadas los rayos solares tienen menor intensidad que en las áreas circundantes debido a que la capa de gases contaminantes los absorben parcialmente, esta pérdida puede ser de entre un 10 y 20%, esta reducción de energía varía en la vertical. La pérdida es menor en altura que en superficie. Aún con dicha pérdida, una superficie urbana absorbe entre 20 y 30% más energía que un área rural debido al tipo de materiales como pavimentos y concreto (Barry y Chorley, 1985), además estos materiales tardan más en enfriarse, entonces, el calor se retiene más tiempo en la atmósfera baja. Este aire que se conserva cálido por la noche, genera una circulación convergente hacia el núcleo de la urbe por la situación de gradiente barométrico, es decir, de forma general, la ciudad registra mayor temperatura que el área circundante habrá menor presión atmosférica, por lo que atraerá masas de aire (Jáuregui y Luyando, 1992). Además, la atmósfera urbana, con su alto contenido de contaminantes (como el CO₂ principalmente, proveniente de la combustión) impide que esta energía escape a niveles mas altos, dando como resultado un incremento en las temperaturas de una ciudad (Lansberg, 1981).

En primavera y verano los fuertes vientos y la convección, ayudan a disipar los contaminantes, por tanto las pérdidas de radiación son menores que en invierno y otoño que es cuando se presentan las inversiones térmicas que contribuyen a la concentración de contaminantes (Lansberg, 1981). En las construcciones urbanas durante la mitad fría del año, la pérdida de calor es mas lenta que en el área circundante y contribuye en acentuar el calentamiento urbano en el invierno (Jáuregui y Luyando, 1992).

Este incremento en las temperaturas ocasionado por el crecimiento urbano, es parte de un efecto conocido como “isla de calor” (Schneider, 1996). La isla de calor es el calentamiento característico de las ciudades en comparación con las áreas rurales que lo circundan y es provocado por la sustitución de superficies naturales cubiertas de vegetación por materiales como pavimentos y concretos de los que está hecha una ciudad (Jáuregui y Luyando, 1992); estos últimos tienen mayor capacidad y conductividad térmica que las superficies naturales (OMM, 1993). Oke (1982) define el efecto isla de calor como la diferencia en el balance de energía entre campo y ciudad. Para analizar el efecto isla de calor de manera completa, es necesario considerar elementos climáticos como la precipitación, temperatura, evaporación, radiación y la contaminación atmosférica, sin embargo, en el presente trabajo se consideran únicamente las variables de temperaturas máxima y mínima.

El impacto de la actividad humana sobre el clima dependerá de dos factores:

a. Ambientales. Son los factores referentes a la naturaleza de las fluctuaciones climáticas del lugar que se trata, además de las características geográficas particulares de cada lugar.

b. Factores antrópicos. El tipo e intensidad de la actividad humana. A mayor crecimiento urbano se intensifica el calentamiento (Schneider, 1996). Debido a que el objetivo del presente trabajo es analizar si las temperaturas de los observatorios se están viendo afectadas por la urbanización, a continuación se detalla sobre los factores antrópicos.

De acuerdo con el Plan General y Bases del Programa Mundial sobre el Clima 1980-1983 de la WMO y Barry y Chorley (1985), los efectos de una estructura urbana que influyen los registros de temperaturas de los observatorios y que llevan a condiciones de isla de calor, se pueden agrupar en cuatro clases:

a. Almacenamiento de calor. Debido a la capacidad térmica de los materiales de los que está hecha la ciudad como el pavimento y las edificaciones, un área urbana puede absorber más calor que las áreas rurales circundantes (OMM, 1993). En la Tabla 1 se muestra una serie de materiales con diferentes propiedades térmicas: el granito que es un material utilizado para la construcción, éste tiene el mayor valor de conductividad térmica, mientras que los materiales de áreas naturales circundantes como el mantillo de los bosques, tienen valores menores.

Material natural	Conductividad térmica k (cal/ grado / cm ² / minuto)	Densidad (g/cm ³)
Granito	0.66	2.6
Arena húmeda	0.24	1.6
Arena seca	0.024	1.4
Mantillo de los bosques	0.009	0.3
aire en calma	0.003	0.001

Tabla 1. Propiedades térmicas de distintos materiales
Fuente: (OMM, 1993)

El flujo de calor desde una superficie es proporcional al coeficiente de conductividad térmica del material. Por tanto, el material de la ciudad conducirá el calor desde su interior más rápido que el material de una superficie natural, este calor es transmitido a la atmósfera durante la mitad fría del año incrementando las temperaturas mínimas.

Estos cambios en las temperaturas afectan a las formas de vida, ya que la flora y la fauna están adaptadas a ciertas condiciones térmicas.

A pesar de que la radiación solar en la ciudad puede no ser muy distinta que en las áreas circundantes (a excepción de los días con alta concentración de contaminantes), el almacenamiento de calor de la superficie urbana es mucho mayor durante el día y la mitad cálida del año que en una superficie rural (Barry y Chorley, 1985). Esta energía acumulada durante la mitad cálida del año que fluye a la atmósfera durante la mitad fría, produce noches e inviernos con temperaturas más elevadas en la ciudad con respecto al campo que la circunda.

Entonces se puede decir que al crecer una ciudad que absorbe más calor que las áreas rurales circundantes, se puede esperar una tendencia al incremento de las temperaturas (Barry y Chorley, 1985).

b. Disminución de la evaporación. La transferencia de energía de la superficie terrestre a la atmósfera, se da por medio de la evaporación del agua contenida en la primera. Debido a la sustitución de superficies naturales y cuerpos acuáticos por superficies pavimentadas, se provoca que el agua, tras su precipitación escurra y sea eliminada de la superficie, a diferencia de cuando existe una cubierta natural, el agua es retenida en el suelo y proporciona humedad al aire mediante la evapotranspiración, impidiendo que las oscilaciones térmicas sean extremas. (Barry y Chorley, 1985).

c. Modificaciones en el relieve. Las modificaciones en la rugosidad de la superficie se realizan con muchas finalidades como el desmonte con fines agrícolas o de crecimiento espacial de la ciudad, la construcción de vías de comunicación, presas y sistemas de riego o la explotación de un recurso. Al generar cambios en la rugosidad, y teniendo en cuenta que es la superficie terrestre la que rige el intercambio de energía entre atmósfera y suelo, se produce un calentamiento del viento de superficie que es mayor cuando la superficie es más plana. Además, las velocidades del viento, de manera general, son inferiores en la ciudad con respecto al campo circundante, debido a que los edificios funcionan como barreras orográficas. También se modifica el albedo de superficie (que convierte la radiación en calentamiento), cambian las características térmicas del suelo (que transmite calor a la atmósfera) y se altera la capacidad de retención de agua de la superficie (que la distribuye en el espacio y tiempo por el sustrato y modifica el flujo del agua entre superficie y atmósfera) (Barry y Chorley, op cit).

d. Cambios en la composición atmosférica. Una atmósfera citadina está expuesta a la contaminación que resulta principalmente por combustión. Esto genera cambios de temperatura, disminución de luz solar y producción de núcleos de condensación. La concentración de los contaminantes en la atmósfera, está en función del movimiento de

las masas de aire; y de acuerdo con Jáuregui (1993) durante el verano que es la época de mayor turbulencia del aire, se tiene una ligera tendencia decreciente de las temperaturas. En cambio en invierno, cuando las masas de aire presentan menos movimiento, las temperaturas muestran una tendencia a incrementarse. Por tanto, las condiciones de calma de viento durante el invierno, contribuyen a la concentración de contaminantes en la atmósfera citadina, mismos que impiden que el calor emitido por la superficie, se escape a niveles superiores de la atmósfera.

La OMM (1980) señala que la acumulación de anhídrido carbónico en la atmósfera emitido por medio de la quema de combustibles fósiles y sus derivados, produce la absorción de la radiación infrarroja (calórica) proveniente del Sol en la atmósfera dando lugar a un calentamiento. Además del anhídrido carbónico, son emitidos otros gases, que aunque en menor medida, colaboran con el incremento de las temperaturas. Algunos de estos gases son los clorofluorometanos, que son utilizados como propulsores de aerosoles y para refrigeración, su acumulación en la atmósfera puede reducir gradualmente la cantidad total de ozono atmosférico, que es el que funciona como filtro de los rayos ultravioleta, con su disminución se alteraría toda la biosfera. Otros son el tetracloruro de carbono que es utilizado como disolvente industrial, el anhídrido nitroso que resulta de la descomposición de compuestos nitrogenados originados en actividades industriales, domésticas y agrícolas. La actividad humana genera aerosoles, por ejemplo, partículas de polvos, humos y gases como el anhídrido sulfuroso que por hidrolización se convierte en partículas menores a 1 micrómetro y su acumulación dificulta el paso de las radiaciones solares (OMM 1980).

1.2. Crecimiento poblacional en México durante la segunda mitad del Siglo XX.

A mediados del Siglo XX, la población total de México era de 25.7 millones de habitantes; en el periodo 1950-1970 el ritmo de crecimiento fue de 3%, alcanzando la cifra de 48.2 millones. Para el periodo 1970-1990 el crecimiento fue de 2.6% y en la última década fue de 1.8%, llegando a 97.4 millones de habitantes en el año 2000 (INEGI, 2001). Dicho crecimiento, ha tenido lugar debido a una serie de acontecimientos socioeconómicos que han fomentado el rápido proceso de

urbanización en varias ciudades. Pero cabe mencionar que estados como Oaxaca, Guerrero, Zacatecas y Chiapas han mostrado bajos niveles de desarrollo económico (INEGI, 1994). Desde la década de los años 40, estas diferencias en la distribución de la población, impulsaron el crecimiento de varias ciudades como Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, que tuvieron una expansión física abarcando dos o más estados o municipios dando lugar a la formación de zonas metropolitanas. Las metrópolis han representado oportunidades de desarrollo económico, social y tecnológico; lo que ha dado como resultado la especialización económica, funcional y la concentración de población (INEGI, 2004). A continuación se hace una breve reseña de algunos acontecimientos que propiciaron dicho crecimiento poblacional y la urbanización de algunas regiones.

La Segunda Guerra Mundial estimuló el desarrollo económico e industrial vigoroso tanto al interior como al exterior de México por la demanda de productos. Dicha guerra impulsó también el crecimiento de ciudades de la frontera con Estados Unidos fungiendo como centros de servicios y diversión para soldados estadounidenses (INEGI, 1994).

La agricultura y ganadería tuvieron un auge en los cincuenta debido al crecimiento de los mercados internos y externos; esto produjo que pequeñas ciudades agrícolas con técnicas modernas y mecanizadas de trabajo atrajeran gente de comunidades más pequeñas y sin recursos. Esta situación correspondía a entidades como Baja California Norte, Sonora, Sinaloa y Chihuahua. (INEGI, 1994).

En los años 60 ocurrió el mayor dinamismo manufacturero, con lo que la población urbana alcanzó la cifra de 9.2 millones de habitantes, 46% más que en la década de los 50. En los 70, el crecimiento económico requería la expansión de los sistemas urbanos por lo que 34 ciudades mostraron tasas de crecimiento superiores al 5.1%. Esta década fue la de mayor crecimiento industrial en todo el Siglo XX (Garza, 2005).

La explotación petrolera fue el impulsor de crecimiento de ciudades del Golfo de México como Poza Rica, que pasó de 4 000 habitantes en 1940 a 120 000 en 1970. (INEGI, 1994).

A principios de los 80 se buscó consolidar ciudades medias y pequeñas a través del Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Vivienda impulsando el desarrollo de 59 ciudades intermedias de entre 100 000 y 1 000 000 de habitantes. (INEGI, 1994). Esto dio como resultado el desplazamiento de algunas ramas industriales importantes del centro hacia el occidente y norte del país, la desconcentración de manufacturas de la zona metropolitana de la Ciudad de México hacia ciudades de la región Centro como Toluca, Cuernavaca-Cuautla, Puebla-Tlaxcala, Pachuca y Querétaro, el surgimiento y consolidación de polos turísticos (i.e Cuernavaca) y playas (i.e Acapulco) y el dinamismo de la maquila de exportación en las ciudades de la frontera norte.

Para 1990, el 66 % de la población urbana vivía en las cuatro zonas metropolitanas de más de un millón de habitantes (Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y Puebla) y la tasa de crecimiento en las cuatro fue de 2.9% contra 5.2% en el periodo de 1950-1960, mientras que las ciudades medias como León, Mérida, Veracruz, San Luis Potosí, Orizaba, Tampico, Matamoros, Nuevo Laredo, Ciudad Juárez y Tijuana, se convertían en receptoras de migrantes de distintas partes del país y tenían tasas de crecimiento de 4.8%. (INEGI, 1994). En 1995 el 70.1 % de la población urbana del país habitaba en seis grandes ciudades; y en el año 2000 la cifra de población residente en zonas urbanas aumentó a 75% en ocho metrópolis de más de un millón de habitantes. El número de zonas metropolitanas de esa escala se duplicó y la población contenida en ellas se elevó 41%, al pasar de 22.5 a 31.7 millones de habitantes entre 1990 y 2000.

Entre 1990 y 2000 la población urbana que habitaba en localidades mayores de 15 mil habitantes se incrementó de 46.6 a 59.4 millones, aumentando su participación de 57.4 a 61%. Para el mismo periodo, la población que vivía en localidades de transición rural-urbana (entre 2 500 y 14 999 habitantes) pasó de 11.2 millones a 13.3 millones; no obstante, su participación disminuyó de 13.9 a 13.7%.

En 2000, el sistema nacional de ciudades estaba conformado por 364 ciudades de más de 15 mil habitantes, donde residen un poco más de 63.2 millones de personas, quienes representan 65% de la población nacional. La tercera parte de la población nacional se concentraba en nueve ciudades mayores de un millón de habitantes, mientras que en el otro extremo, la cuarta parte de los mexicanos habitaba en 196 mil localidades menores de 2 500 habitantes (www.conapo.gob.mx).

Con lo anterior queda claro que el crecimiento poblacional y la urbanización en México, fue de manera acelerada en la segunda mitad del Siglo XX, tal crecimiento ha estado vinculado con factores políticos, económicos, sociales, históricos, culturales y ambientales.

1.3 Red de observación del Servicio Meteorológico Nacional

En México, para la observación y monitoreo del estado del tiempo y clima, se cuenta con la Comisión Nacional del Agua (CNA), que por medio de la Subdirección General Técnica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dispone de las siguientes redes: red sinóptica de superficie, estaciones climatológicas convencionales, red sinóptica de altura ó estaciones de radiosondeo, red de radares meteorológicos y la estación terrena receptora de imágenes del satélite meteorológico GOES (GOES-8 y GOES-10). A continuación se describen las dos primeras de donde se tomó la información para el presente estudio.

a. Red sinóptica de superficie (observatorios meteorológicos). Actualmente está integrada por 81 observatorios meteorológicos. La tarea de los observatorios sinópticos es registrar de manera horaria todas las variables del estado del tiempo, tales como la temperatura, presión atmosférica, lluvia, evaporación, nubosidad y viento en la superficie del lugar donde están ubicados (CNA, 1998).

Los reportes de las variables climatológicas de cada observatorio son codificados para ser transmitidos cada tres horas al Observatorio Central de Tacubaya D.F, en donde se

elaboran mapas y boletines del pronóstico del tiempo. La Tabla 2 contiene la lista de los observatorios y su ubicación geográfica.

Clave OMM (76)*	Estado Observatorio	Inicio de observaciones	Coordenadas		
			Lat.	Long.	Altitud msnm
Aguascalientes					
571	Aguascalientes	1923	21°53'	102°18'	1908
Baja California					
50	Ensenada	1961	31°51'	116°38'	13
151	Isla Guadalupe	1961	28°53'	118°18'	23
055	San Felipe	1978	31°01'	114°49'	15
Baja California Sur					
405	La Paz	1978	24°26'	11°52'	5
305	Loreto	1976	26°01'	111°20'	15
402	Ciudad Constitución	1980	25°05'	111°39'	45
253	Santa Rosalía	1921	27°20'	112°16'	17
Campeche					
695	Campeche	1959	19°50'	90°30'	5
Chiapas					
840	Arriaga	1921	16°14'	93°54'	48
848	Comitán	1921	16°14'	92°08'	1530
845	San Cristóbal de las Casas	1927	16°45'	92°38'	2116
903	Tapachula	1921	14°55'	92°16'	117
843	Tuxtla Gutiérrez	1923	16°45'	93°07'	536
Chihuahua					
225	Chihuahua	1922	28°39'	106°05'	1418
323	Hidalgo del Parral	1921	26°55'	105°40'	1905
122	Nuevo Casas Grandes	1948	30°22'	107°55'	1562
220	Temosachic	1900	28°57'	107°49'	1932
Coahuila					
342	Monclava	1980	26°54'	101°25'	615
243	Piedras Negras	1979	28°42'	100°31'	250
390	Saltillo	1896	25°25'	100°59'	1609
382	Torreón	1886	25°31'	103°24'	1123
Colima					
658	Colima	1892	19°14'	103°44'	3
723	Isla Socorro	1919	18°43'	110°57'	34
654	Manzanillo	1893	19°03'	104°19'	3
Distrito Federal					
679	México Aeropuerto internacional	1926	19°26'	99°04'	2254
680	Tacubaya	1877	19°24'	99°11'	2303
Durango					
423	Durango	1978	24°02'	104°40'	1872
373	Tepehuanes	1945	25°21'	105°45'	1967
Guanajuato					
577	Guanajuato	1821	21°01'	101°15'	1999
Guerrero					
805	Acapulco	1968	16°45'	99°46'	3
762	Chilpancingo	1983	17°33'	99°30'	1360
Hidalgo					

Clave OMM (76)*	Estado Observatorio	Inicio de observaciones	Coordenadas		
			Lat.	Long.	Altitud msnm
632	Pachuca	1968	20°08'	98°44'	2417
634	Tulancingo	1978	20°03'	98°17'	2181
Jalisco					
656	Ciudad Guzmán	1926	19°43'	103°27'	1515
519	Colotlán	1967	22°07'	103°16'	1673
612	Guadalajara	1889	20°43'	103°23'	1551
México					
675	Toluca	1961	19°27'	99°54'	2640
Michoacán					
665	Morelia		19°42'	101°11'	1915
662	Zamora	1922	19°59'	102°17'	1561
Morelos					
726	Cuernavaca	1939	18°44'	99°22'	1470
Nayarit					
551	Islas Marías	1968	21°32'	106°38'	4
556	Tepic	1968	21°29'	104°53'	917
Nuevo León					
393	Monterrey	1925	25°44'	100°18'	515
Oaxaca					
773	Huajuapán de León	1950	17°48'	97°46'	1650
775	Oaxaca	1961	17°01'	96°42'	1519
855	Puerto Ángel	1941	15°41'	96°29'	46
833	Salina Cruz	1950	16°10'	95°11'	11
Puebla					
685	Puebla		19°02'	98°12'	2162
Querétaro					
625	Querétaro	1940	20°37'	100°23'	1813
Quintana Roo					
750	Chetumal	1968	18°30'	88°18'	9
648	Cozumel	1968	20°25'	86°57'	4
698	Felipe Carrillo Puerto	1961	19°35'	88°03'	20
San Luís Potosí					
585	Matlapa	1905	21°20'	98°48'	133
581	Río Verde	1978	22°16'	100°07'	2062
539	San Luís Potosí	1945	22°09'	100°59'	1570
543	Tamuín	1905	22°05'	98°49'	49
Sinaloa					
311	Choix	1950	26°43'	108°20'	238
412	Culiacán		24°48'	107°24'	39
458	Mazatlán	1922	23°13'	106°25'	2
Sonora					
113	Altar	1945	30°43'	111°44'	397
258	Ciudad Obregón	1983	27°29'	109°56'	38
256	Empalme	1945	27°59'	110°46'	11
160	Hermosillo	1940	29°06'	110°58'	211
118	Pilares de Nacozari	1940	30°22'	109°41'	1040
061	Puerto Peñasco	1942	31° 19'	113° 29'	48
Tabasco					
743	Villahermosa	1922	17°59'	92°56'	16
Tamaulipas					
491	Ciudad Victoria	1961	23°44'	99°08'	355
499	Soto la Marina	1961	23°46'	98°13'	21

Clave OMM (76)*	Estado Observatorio	Inicio de observaciones	Coordenadas		
			Lat.	Long.	Altitud msnm
548	Tampico	1987	22°14'	97°51'	9
Tlaxcala					
683	Tlaxcala	1961	19°19'	98°14'	2252
Veracruz					
741	Coatzacoalcos	1950	18°08'	94°25'	22
687	Jalapa	1950	19°30'	96°54'	1422
737	Orizaba	1950	18°51'	97°06'	1259
640	Tuxpan	1950	20°57'	97°24'	28
692	Veracruz	1970	19°08'	96°07'	14
Yucatán					
644	Mérida	1950	20°56'	89°38'	9
647	Valladolid	1950	20°41'	88°13'	86
Zacatecas					
471	Sombrerete	1961	23°38'	103°39'	2359
525	Zacatecas	1983	22°46'	102°34'	2612

Tabla 2. Observatorios del SMN.

*La clave OMM se refiere al número que asigna la Organización Meteorológica Mundial a cada observatorio y lleva un orden creciente de norte a sur. La clave 76 corresponde a México.
(Fuente: Sistema Nacional de Telecomunicaciones Meteorológicas, 1992).

b. Estaciones climatológicas convencionales. Las primeras estaciones climatológicas en México se establecieron en 1841 en El Colegio de Minería, en 1857 en la Escuela de Agricultura y en 1868 en la Escuela Preparatoria. En las tres escuelas el periodo de observación era muy interrumpido. Las estaciones establecidas en dichos centros educativos eran parte de la enseñanza de la Física aplicada en la Meteorología (Contreras, 1999). En la actualidad se cuenta con aproximadamente cinco mil quinientas estaciones climatológicas repartidas en el territorio nacional (Base climatológica nacional de datos de climatología computarizada CLICOM, Figura 1).

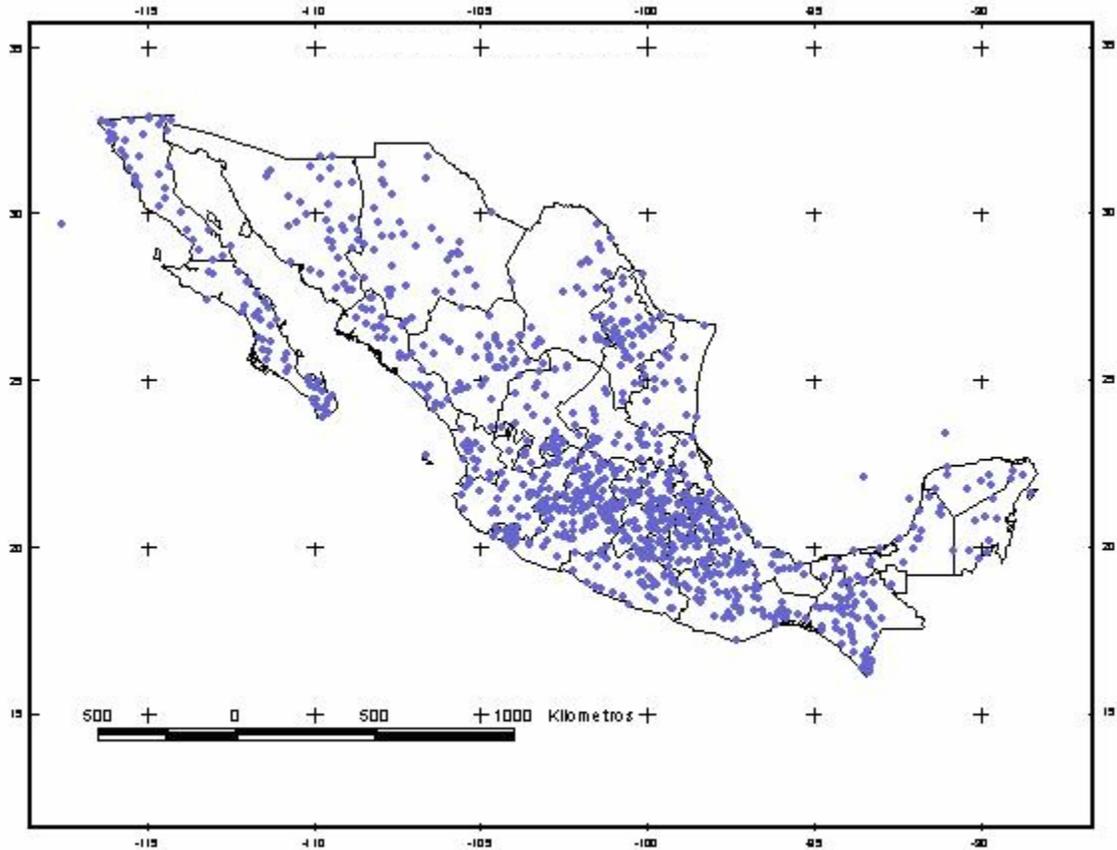


Figura 1. Distribución de las estaciones climatológicas con periodos de registro mayores a 30 años.
Fuente: Bautista, 2007.

En las estaciones climatológicas convencionales las observaciones se realizan una vez al día, a las 8 horas.

Para poder hacer la lectura de datos es necesario que todos los instrumentos se encuentren al aire libre, sin embargo, para que no se expongan a los rayos directos del Sol se ubican en una caseta llamada caseta meteorológica (OMM, 1996). Si se dispone de teléfono o radio se reportan los datos a las oficinas locales de CNA inmediatamente después de realizadas las observaciones. Aquellas estaciones que no cuentan con dichos servicios de comunicación, registran los datos en papel, y posteriormente estos documentos son recolectados por personal de CNA. La información llega al Observatorio Central en papel o ya digitalizada por las oficinas regionales y estatales de CNA y se integra a la base climatológica nacional de datos.

Gran parte de los estudios del clima se realizan con la información proveniente de esta red, por lo que es necesario mantener el buen funcionamiento de las estaciones climatológicas, y que las observaciones se realicen de manera correcta (Rosengaus 1994-1995).

Capítulo 2

Datos y métodos de análisis

El trabajo se realizó siguiendo bases metodológicas de investigaciones previas de diferentes autores como Karl y Jones (1989), Jáuregui (1993), Magaña y Pérez (1995) y Englehart y Douglas (2003).

2.1 Datos

De acuerdo con el objetivo central del trabajo, que es analizar la relación entre el crecimiento urbano y los posibles incrementos de temperatura en algunas ciudades, se eligió trabajar con los datos de temperaturas de algunos observatorios sinópticos del SMN por cuatro razones:

a. Porque los observatorios están emplazados en lugares donde el crecimiento urbano y el incremento de las actividades industriales pueden estar alterando las condiciones atmosféricas de manera local (Jáuregui, 1993), dando como resultado una radical alteración del balance de energía que existe entre la superficie terrestre y la atmósfera, por esto resulta relevante analizar si las temperaturas registradas en algunos observatorios están siendo afectadas por el fenómeno de urbanización.

b. Son estaciones con largos y confiables periodos de registros, como es el caso del observatorio de la Ciudad de México que opera desde 1877 y el de Guadalajara desde 1889.

c. A diferencia de las estaciones climatológicas, que únicamente hacen observaciones diarias de temperatura, evaporación y precipitación, los observatorios las realizan a nivel horario, además de medir otras variables del clima como presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, temperatura del punto de rocío, etc., lo cual permite realizar estudios más completos del clima.

d. Dado que la información que se genera en los observatorios se envía al Centro Mundial de Análisis del Clima como parte de las contribuciones que México hace a la OMM, el SMN tiene especial cuidado en el mantenimiento y reparación de los instrumentos, así como en los procesos de calibración de los mismos, lo que hace confiable la información.

El periodo de años utilizado de 1950-1999, se justifica por dos razones:

a. La OMM indica que para obtener la climatología de un lugar específico se debe disponer de información de treinta años o más.

b. En algunas ciudades del país, se ha tenido un acelerado crecimiento poblacional e industrial desde mediados del Siglo XX, como ya se mencionó. Al respecto, Karl y Jones (1989) mencionan que el crecimiento del área urbana puede llevar a un incremento en las temperaturas registradas en una ciudad, por tanto, la urbanización es un factor que puede influir en el comportamiento de las temperaturas y modificar las tendencias en algunos observatorios de México.

Se seleccionaron trece observatorios con base en los siguientes criterios:

a. Que contaran por lo menos con el 85% de información a nivel mensual del periodo establecido.

b. Que estuvieran ubicados en ciudades grandes y millonarias (de acuerdo a la clasificación de ciudades por cantidad de habitantes de Garza, 2005), es decir, de más de 500 mil habitantes.

También se consideraron los observatorios de algunas ciudades medias (Pachuca, Tepic y Toluca), cuya población en la cabecera municipal es inferior a 500 mil habitantes, con la finalidad de analizar si también las ciudades de este rango son

afectadas por el crecimiento poblacional. La Figura 2 muestra la distribución de los observatorios analizados.

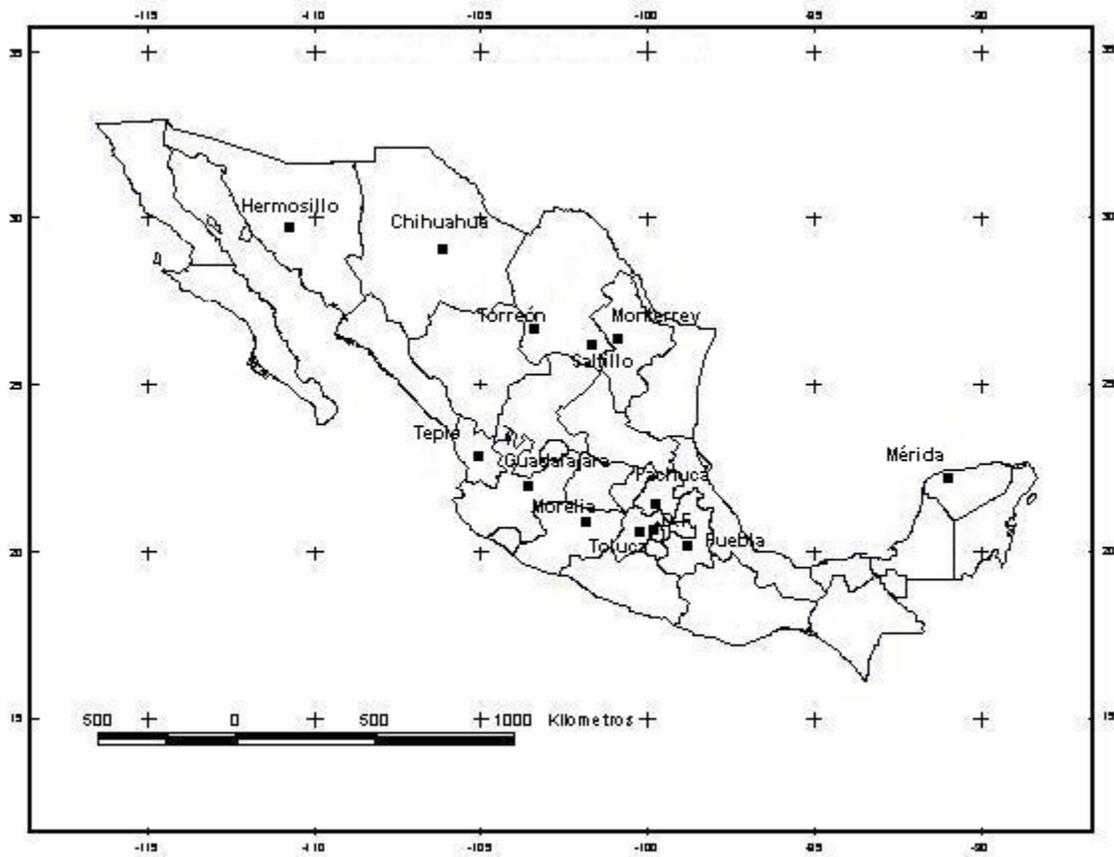


Figura 2. Distribución de los observatorios analizados.

Los registros de temperatura de los observatorios se obtuvieron del banco de datos del SMN a través de las tarjetas de registro, en las que de manera manual se concentran las mediciones de las variables climatológicas de cada observatorio a nivel mensual, las cuales con frecuencia se encontraban incompletas o la información no estaba actualizada, por lo que fue necesario recurrir a otras formas de registro de los datos para completar en lo posible las series. Éstas fueron:

- Libro decadal de registro de observatorios. Son libros que contienen los registros históricos diarios y un resumen mensual de la información de diez años.

- Forma #5. Son formatos en las cuales está contenido el resumen mensual de la información de todas las variables de cada observatorio.

- Información digitalizada. Es importante mencionar que recientemente el SMN ha realizado esfuerzos de digitalización y rescate de datos históricos de los observatorios, por lo que actualmente se cuenta con una base de datos digital a partir de 1982.

Se logró recabar el 96.39% de la información del periodo utilizado. El 3.61% de información faltante se debe, de acuerdo a las anotaciones encontradas en los registros: descomposturas de los instrumentos y ausencia del observador.

Para obtener los datos de temperaturas de las estaciones climatológicas cercanas a las ciudades, se revisó el catálogo de estaciones climáticas del CLICOM del SMN y se eligieron aquellas que cumplieran los siguientes criterios:

a. Que las estaciones estuvieran en un radio no mayor a 50 km de los observatorios analizados como lo recomiendan Englehart y Douglas (2003).

b. Que dichas estaciones contaran con el mismo periodo de registro utilizado para los observatorios (1950-1999), o en su defecto, que contaran con treinta años de registros dentro de dicho periodo.

c. Que tuvieran el 85% de información registrada.

En algunos casos se tuvieron que utilizar estaciones que cumplieron sólo dos de los criterios señalados.

Finalmente, para establecer la posible relación entre crecimiento poblacional y el comportamiento de la temperatura, se consultó el número total de habitantes desde 1950 hasta 2000 de cada ciudad donde se ubican los observatorios analizados. Estos

datos son los correspondientes al total de habitantes de la cabecera municipal de cada ciudad. Datos están disponibles en la página www.inegi.gob.mx

2.2 Metodología

Los datos de temperaturas máximas y mínimas mensuales de los trece observatorios, fueron procesados en la hoja de cálculo Excel y se obtuvieron las condiciones promedio. Se hizo un análisis de anomalías como el que sugieren Magaña y Pérez (1995), pero por periodos de cinco años tanto en los totales anuales como los mensuales con la finalidad de suavizar los valores extremos que puedan haberse presentado. Con estas anomalías se obtuvieron dos tipos de gráficas: por quinquenio y por mes-quinquenio.

Basado en el trabajo de Englehart y Douglas (2003) y Kukla et al (1986), las gráficas de anomalías de temperaturas de los observatorios, fueron comparadas con las de estaciones climatológicas de lugares rurales cercanas a cada observatorio; para determinar la diferencia térmica entre campo y ciudad. Este contraste también se midió a través de la variación del rango de temperatura, medida que resulta de la diferencia de la anomalía de temperatura máxima menos la anomalía de la mínima. Los periodos utilizados para la comparación de los rangos de temperatura son el primero y último quinquenio, con la finalidad de analizar la variación que se ha dado en los cincuenta años de estudio (Easterling et al, 1997).

Para determinar si existen incrementos de temperatura mínima significativos a lo largo de toda la serie y por décadas, de acuerdo con Bustos (1981), se utilizó el método de la regresión lineal; para obtener los valores de significancia y el coeficiente de correlación, para ello se utilizó el programa Statgraphics Plus 5.1.

Para identificar en que época del año son mas afectadas las temperaturas, se definieron únicamente dos estaciones bajo el siguiente criterio: verano de mayo a septiembre e invierno de noviembre a marzo. No se consideraron los meses de abril y

octubre por ser meses de transición entre una estación y otra. De estas dos temporadas del año, se obtuvieron promedios y se les aplicó la misma prueba de regresión lineal.

Se compararon de manera conjunta las gráficas de temperaturas y las de número total de habitantes para establecer la posible relación que puede existir entre el comportamiento de temperatura y el crecimiento de la población.

Para clasificar las ciudades de acuerdo a la población total, se consultaron trabajos de diversos autores que mencionan la relación entre el crecimiento poblacional y el incremento de las temperaturas. A continuación se muestran las clasificaciones urbano-rural utilizadas por diversos autores, además de la clasificación utilizada en el presente trabajo que fue hecha por Garza en 2005.

Luis Unikel, en la década de los años 70 (citado por Villalvazo, 2002), elaboró una clasificación de las ciudades en la cual consideró, además del tamaño de la población, el porcentaje de otras variables que fueran características diferenciales de los espacios rural-urbano, como: población económicamente activa dedicada a actividades no agrícolas, alfabetismo, educación, población asalariada y población que habla español, usa zapatos y vestidos no indígenas. Como resultado de este estudio, concluyó que en México, para esa década, el rango de 15 mil habitantes establecía una distinción entre lo urbano y lo no urbano; 5 mil pobladores constituían una división poco clara para distinguir las localidades rurales de las no rurales; entre 5 mil y 15 mil habitantes existían localidades con atributos rurales y urbanos; definió cuatro grupos para clasificarlas:

- Localidad rural.....menos de 5 000
- Localidades mixtas rurales5 000-10 000
- Localidades mixtas urbanas.....10 000-15 000
- Localidades urbanas.....más de 15 000

Englehart y Douglas (2003) tomaron en consideración los siguientes criterios para clasificar las ciudades:

- Ciudad grande..... 75 000 y más
- Ciudad pequeña.....2 000 -75 000.
- Comunidad ruralmenos de 2 000

Para México, Garza (2005) estableció la siguiente clasificación de ciudades:

- Mega ciudades.....más de 8 000 000
- Ciudades millonarias.....más de 1 000 000
- Ciudades grandes.....500 000-999 999
- Ciudades medias.....50 000-499 999
- Ciudades pequeñas.....15 000- 49 999

Con base en esta última clasificación, se analiza el crecimiento poblacional de las ciudades estudiadas desde el año 1950 hasta el 2000 por ser la más actual realizada para México.

CAPITULO 3

Análisis de resultados

3.1 Resultados.

Los observatorios se organizaron en tres grupos con base en la clasificación de ciudades de Garza (2005) y de acuerdo a la cantidad de población que éstas presentaron en el Censo del año 2000. Estos son: Grupo 1 ciudades millonarias (más de 1 000 000 de habitantes), Grupo 2 ciudades grandes (500 000-999 999) y Grupo 3 ciudades medias (50 000-499 999).

La Tabla 3, muestra los porcentajes de los datos mensuales faltantes de cada observatorio y estación meteorológica del período utilizado y la distancia en kilómetros entre uno y otro. Se buscó también que las estaciones de lugares rurales estuvieran ubicadas en regiones climáticas semejantes a los observatorios con que son comparadas.

Como se observa en la tabla, se tiene un total de 96.39% de información mensual registrada y 3.61% de datos faltantes. En general los observatorios muestran en promedio 2.6% de información faltante, sólo dos están por arriba del 4%. Las estaciones climatológicas presentan en promedio de información faltante 5.08% y sólo una más del 10%.

Clave OMM	Observatorio	Clima según García	Coordenadas		Distancia entre el observatorio y la estación en km.	Porcentaje de información faltante
			Latitud	Longitud		
225	Chihuahua	BS1kw(w)(e')w"	28°39'	106°05'	66.3	1%
8092	Las burras	BWhw(w)(e')	28°32'	105°25'		7.3
612	Guadalajara	(A)Ca(w1)(w)(e)g	20°43'	103°23'	43.4	3.6%
14039	Coquío	Cb(w1)(w)(e)g	20°57'	103°03'		8.1%
160	Hermosillo	BW(h')hw(x')(e')	29°06'	110°58'	27.5	10.5%
26032	El orégano	BW(h')hw(x')(e')	29°14'	110°43'		5%
644	Mérida	Awo(i')gw"	20°56'	89°38'	38.4	0%
31032	Telchaquillo	Awo(l')g	20°38'	89°27'		6.8%
680	México D.F. (Tacubaya)	Cb(w1)(w)(i')g	19°24'	99°11'	33.3	0%
15170	Chapingo- Texcoco	Cb(wo)(w)(i')g	19°30'	98°53'		0.7%

Clave OMM	Observatorio	Clima según García	Coordenadas		Distancia entre el observatorio y la estación en km.	Porcentaje de información faltante
Clave CLICOM	Estación climatológica		Latitud	Longitud		
393	Monterrey	BS1(h')hw(e)w"	25°44'	100°18'	105.1	3.18%
19016	El Cuchillo	BSo(h')hx'(w)(e')w"	25°44'	99°15'		3.18%
665	Morelia	Cb(w1)(w)(i')g	19°42'	101°11'	28.2	4.1%
16027	Cuitzeo	Cb(wo)(w)(i')g	19°57'	101°08'		1%
632	Pachuca	BS1kwigw"	20°08'	98°44'	63.6	0%
13013	Ixmiquilpan	Bsohw(e)w"	20°29'	99°13'		5.1%
685	Puebla	Cb(w1)(w)(i')gw"	19°02'	98°12'	44.7	2.9%
21005	Acatzingo de Hidalgo	(A)Cb(wo)(w)(i')gw"	18°57'	97°47'		12.3%
390	Saltillo	BSohw(e)	25°25'	100°59'	12.9	1%
5032	Ramos Arizpe	BSohx'(w)(e)	25°32'	100°59'		0.5%
556	Tepic	(A)Ca(w2)(w)(i')	21°29'	104°53'	63.5	2.3%
18002	Ahuacatlán	Awo(w)(e)	21°03'	104°29'		3.3%
675	Toluca	Cb(w1)(w)(i')g	19°27'	99°54'	14.1	4.5%
15010	Atotonilco A de Juárez	Cb(w2)(i')g	19°28'	99°46'		8%
382	Torreón	BW(h')hw(e)	25°31'	103°24'	19.7	1.3%
5027	Cuije Matamoros	BWhw(w)(e)	25°41'	103° 20''		4.8%

Tabla 3. Observatorios y estaciones climatológicas consideradas en el estudio

Se consideraron rurales a las estaciones que estuvieran ubicadas fuera de la ciudad y a una distancia no mayor de 50 km de preferencia (Englehart y Douglas, 2003), salvo en los casos de Chihuahua, Tepic, Pachuca y Monterrey se eligieron estaciones ubicadas a más de 60 km, pues las que estaban a menor distancia, no con contaban con la información requerida.

3.1.1 Grupo 1, ciudades millonarias.

Los observatorios que integran este grupo son: Guadalajara, México D.F., Monterrey y Puebla. Son las ciudades más grandes y en las que de acuerdo a los trabajos de Jáuregui (1993) y Englehart y Douglas (2003), se esperaría un incremento en la temperatura mínima principalmente.

En la Tabla 4 se muestra el porcentaje de población que han representado estas cuatro ciudades con respecto al total nacional desde la década de los años 50.

Zonas metropolitanas	Décadas					
	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Ciudad de México	12.8	15.5	18.8	18.5	18.3	18.3
Guadalajara	1.8	2.5	3.1	3.7	3.8	3.8
Monterrey	1.5	2.1	2.6	3.2	3.3	3.3
Puebla	1.4	1.3	1.5	1.6	1.7	1.7
Total	17.5	21.4	26	27	27.1	27

Tabla 4. Porcentaje de población que reside en las principales zonas metropolitanas del país de 1950 a 2000. Fuente: INEGI 2001.

Estas ciudades han concentrado desde mediados del siglo XX un alto porcentaje de población con respecto al total nacional, y a partir de la década de los años 70 este porcentaje se incrementó principalmente por el crecimiento de la ciudad de Guadalajara y Monterrey.

A continuación se detalla el crecimiento poblacional que han tenido estas ciudades durante la segunda mitad del siglo XX de acuerdo con los censos de población y vivienda.

Guadalajara, por su importancia económica ha sido una ciudad grande que desde la primera mitad del Siglo XX ha tenido más de 100 000 habitantes, más de 300 000 para la década de los años 50 y más de 1 000 000 en 1970. Entre las décadas de los años 80 y 90, tuvo un fuerte crecimiento que la puso por sobre los 3 000 000 de habitantes (Figura 3). Esto ocasionó que la mancha urbana se expandiera rápidamente abarcando los municipios de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá.

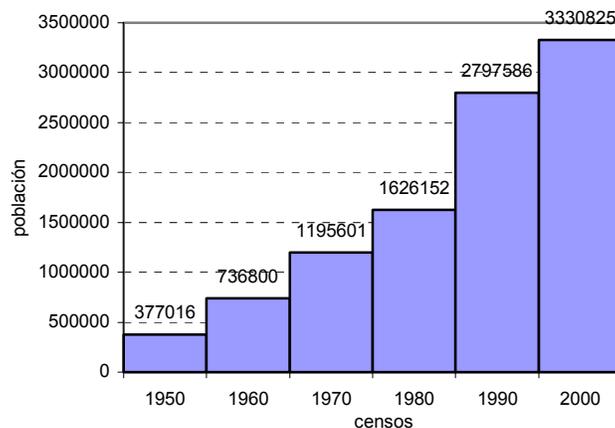


Figura 3. Población total en la ciudad de Guadalajara. Fuente: www.inegi.gob.mx

Desde el siglo XIV la Ciudad de México siendo la capital azteca, ha sido un centro urbano de gran importancia económica y política. En el siglo XX, debido al centralismo económico que se dio en el país, la ciudad de México tuvo un fuerte crecimiento urbano; y en las décadas de los 70 y 80 se presentó un crecimiento explosivo expandiendo la mancha urbana (Cervantes, 1999). Esta explosión demográfica junto con los inherentes cambios en la ampliación de la mancha urbana, el aumento en los servicios de transporte, consumo de energía entre otros, ocasionó un impacto en los registros de las temperaturas mínimas principalmente (Jáuregui 1995). Este observatorio representa el mejor ejemplo del efecto que el crecimiento urbano produce sobre las temperaturas.

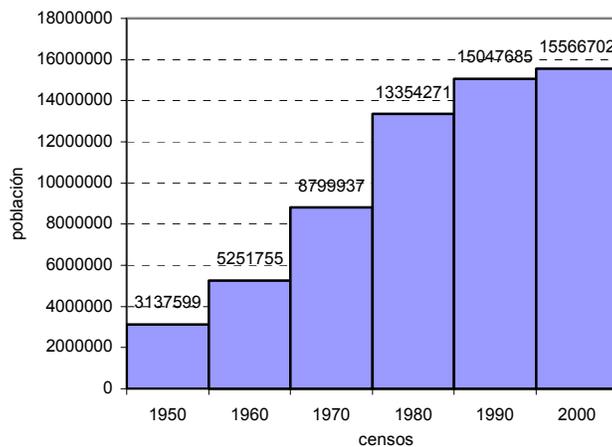


Figura 4. Población total en la ciudad de México. Fuente: www.inegi.gob.mx

Monterrey ha sido desde los años 60 una ciudad grande, pero a partir de los años 70 ha tenido un fuerte crecimiento industrial y económico siendo así la principal ciudad del norte del país. Dicho crecimiento atrajo a mucha gente de ciudades aledañas más pequeñas y de esta forma, se convirtió en una ciudad millonaria. En la Figura 5 se muestra el crecimiento poblacional de Monterrey.

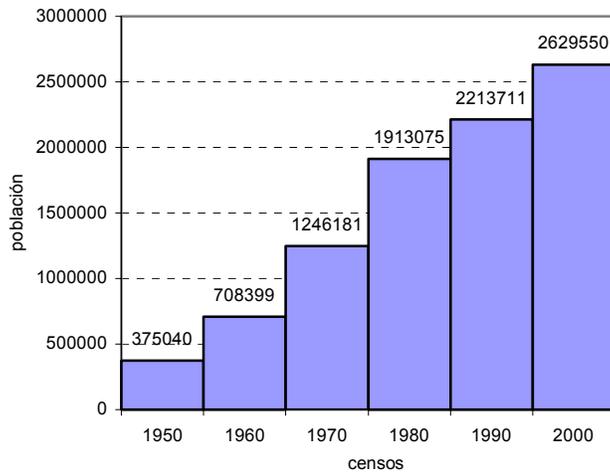


Figura 5. Población total en la ciudad de Monterrey. Fuente: www.inegi.gob.mx

En la ciudad de Puebla, es hasta la década de los años 80 cuando muestra un acelerado crecimiento económico y poblacional causado por factores: como el desarrollo industrial de la ciudad y la migración desde la Ciudad de México después del sismo de 1985. Para 1990 ya pasaba de 1 000 000 de habitantes. En la Figura 6 se muestra el crecimiento poblacional de la ciudad.

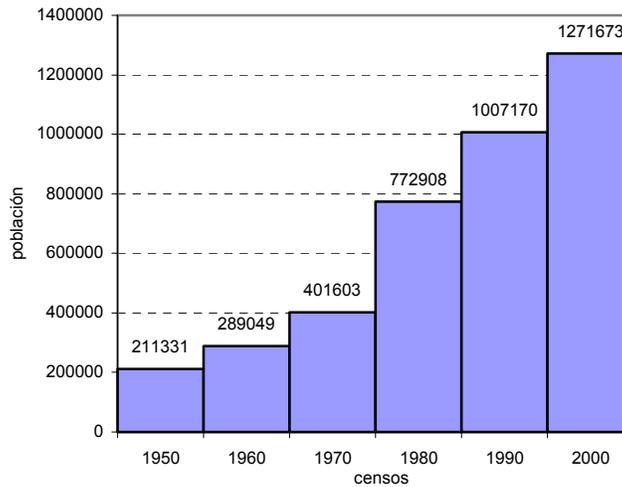


Figura 6. Población total en la ciudad de Puebla. Fuente: www.inegi.gob.mx

Se realizó el análisis de temperaturas mínimas y máximas, del cual se obtuvo lo siguiente:

Temperatura mínima. En esta variable se percibe un incremento, lo que coincide con lo dicho por Türkes et al (2002), donde señala que en las ciudades con más rápido crecimiento poblacional las temperaturas mínimas tienden a elevarse. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de regresión lineal considerando todo el periodo de estudio, en los observatorios de Guadalajara y Puebla no se presenta este aumento

En la Tabla 5, elaborada con base en la información de las gráficas del anexo 1, se muestran las anomalías de temperatura mínima por quinquenio de los observatorios y las estaciones. En la última columna se presenta la diferencia de las anomalías entre el primer y último periodo, es decir, el incremento total de las anomalías de la variable. También se indican los promedios de las anomalías de temperatura mínima de cada quinquenio de todos los observatorios del Grupo 1 (primer renglón de promedio) y las estaciones rurales con que son comparados (segundo renglón de promedios), en la última columna de estos dos renglones, se encuentra la diferencia de las anomalías de los promedios del primer y último quinquenio.

Observatorios	Anomalía por quinquenio										Incremento total en °C
	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	
Guadalajara	-0.9	1	1.5	1.6	0.7	-0.9	-0.7	-0.3	0.6	0.4	1.3
México D.F.	-1.5	-1.4	-0.8	-1	-0.6	-0.7	0.1	-0.1	0.5	1	2.5
Monterrey	-0.6	-0.5	-0.1	-0.6	-0.3	-0.6	-0.2	-0.3	0.4	0.4	1
Puebla	1.2	2	1.9	1.1	-0.2	-0.2	-0.9	-0.6	0.3	0.7	-0.5
Promedio:	-0.45	-0.27	0.6	0.3	-0.1	-0.6	-0.4	-0.3	0.5	0.6	1.05
Estaciones rurales											
Coquío	0.2	2.6	-0.9	0.5	0.5	0.3	1.7	-1.5	-0.9	-0.7	-0.9
Chapingo	--	-1.3	-1	-1.1	-1.1	-0.5	0	0	0.8	0.8	2.5
El Cuchillo	0.7	0.4	0.3	0	0	-0.3	0.1	-0.2	0.3	--	-0.4
Acatzingo	3.6	4.2	3.3	1	0.2	0	0.2	--	-0.3	-0.2	-3.8
Promedio:	0.8	1.5	0.4	0.1	0.05	0	0.5	-0.3	0	--	-0.8

Tabla 5. Anomalías y tendencias de temperaturas mínimas de los observatorios y estaciones rurales del Grupo 1.

-- Datos no disponibles.

En el periodo 50-54 se tiene una anomalía promedio en los observatorios de -0.45°C y en el periodo 95-99 la anomalía promedio fue de 0.6°C , lo que significa que el promedio

de las temperaturas mínimas de todos los observatorios se elevó 1.05°C del periodo 50-54 al periodo 95-99.

En Guadalajara, a partir del quinquenio 75-79 en que la anomalía fue de -0.9°C , se observa un constante incremento, y en la última década las anomalías son positivas. Cabe recordar que desde la década de los años 70 se convirtió en ciudad millonaria. Otros autores como Jáuregui (2005) que han analizado la misma variable de este observatorio, han obtenido resultados semejantes, encontrando tendencias de $0.74^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en un periodo de 1920-1997 y Tereshchenko y Filinov (2001), reportaron que la tendencia al incremento es de $0.05^{\circ}\text{C}/\text{año}$.

En México D.F. A partir de la década de los 80, las anomalías se elevaron por encima de la climatología, resultados semejantes a los obtenidos por Gómez y Sánchez (2004) y Jáuregui (2005), este último señala que existe una tendencia en la Ciudad de México de $0.62^{\circ}\text{C}/\text{década}$.

Para el observatorio de Monterrey, Jáuregui (2005) menciona que las temperaturas mínimas muestran una tendencia al incremento de $0.27^{\circ}\text{C}/\text{década}$ considerando el periodo de 1960-1986; en el presente trabajo se muestran anomalías negativas en gran parte del periodo de estudio, y es hasta la década de los años 90 que se presentan anomalías positivas.

En Puebla se observa un incremento de la temperatura a partir del periodo 80-84 cuando la anomalía era de -0.9°C , y para el periodo 95-99 la anomalía se elevó a 0.7°C . Jáuregui (2005) encontró una tendencia de $0.02^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en un periodo de 1976-1995, y corresponde al periodo que presenta incremento de las temperaturas (80-84 a 95-99 en el presente trabajo).

En las estaciones climatológicas circundantes a los observatorios, con excepción de Chapingo, se observa un comportamiento contrario; en el periodo 50-54 la anomalía fue de 0.8°C , y en el periodo 90-94 la anomalía fue de 0°C lo que significa una tendencia

promedio al enfriamiento de -0.8°C . Se puede interpretar que la estación de Chapingo podría estar influenciada por el crecimiento de la ciudad de México (Tabla 7), como se muestra en la Figura 7 las tendencias de los observatorios, estaciones con y sin Chapingo.

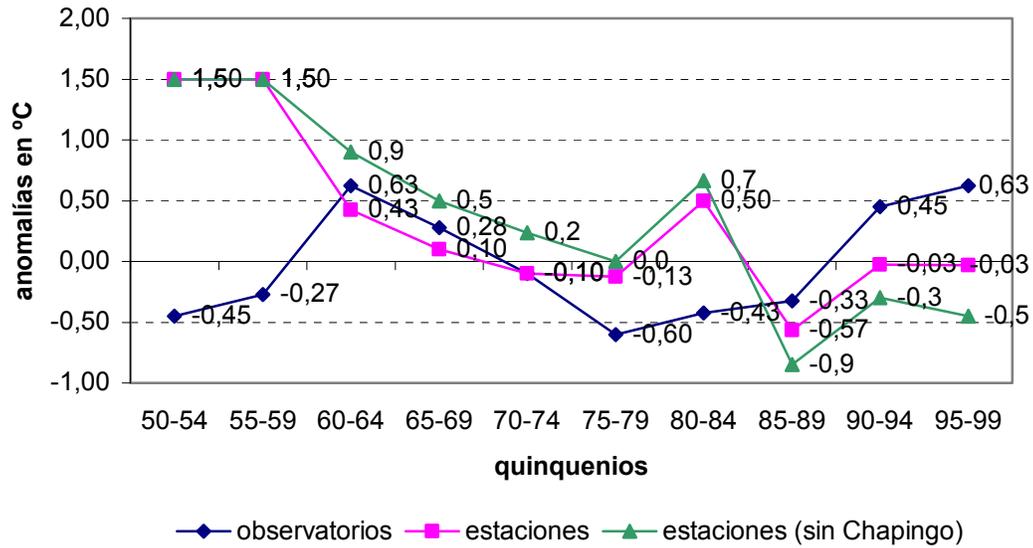


Figura 7. Promedio quinquenal de las anomalías de temperatura mínima de los observatorios y estaciones rurales del Grupo 1.

Los resultados del análisis de temperaturas mínimas por el método de regresión lineal del periodo completo y por décadas de los observatorios y las estaciones de lugares rurales correspondientes, se muestran en la Tabla 6.

	Guadalajara		Coquío		Monterrey		El Cuchillo	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	No existe relación 0.1503	-0,129964, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0077	-0,34473, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0295	0,497794, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0006	-0,324101, indicando una relación relativamente débil
1950-1959	Existe relación 0.0016	0,858014, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0006	0,89201, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.8672	-0,006634, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.1087 abajo	-0,490061, indicando una relación relativamente débil
1960-1969	No existe relación 0.1909	0,49719, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.6068	0,194954, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.2030	-0,402134, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.5459	-0,172252, indicando una relación relativamente débil
1970-1979	Existe relación 0.0001	-0,962852, indicando una relación relativamente fuerte	No existe relación 0.2574	-0,361946, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.4690	-0,20754, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.2221	-0,37949, indicando una relación relativamente débil
1980-1989	Existe relación 0.0083	0,796535, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0029	-0,858781, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.9530	0,023535, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.1267	-0,554454, indicando una relación moderadamente fuerte
1990-1999	No existe relación 0.2887	-0,336941, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.3761	0,386866, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.9787	0,0735974, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.7405	-0,12985, indicando una relación relativamente débil

Tabla 6. Valores de significancia y correlación por observatorio y estación de todo el periodo y por décadas.

	México D.F.		Chapingo		Puebla		Acatzingo	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	Existe relación 0.0000	0,891678, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0000	0,853444, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0000	-0,552104, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0000	-0,840358, indicando una relación moderadamente fuerte
1950-1959	No existe relación 0.3063	0,383297, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.2663	0,622857, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0187	0,732078, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.1239	0,537048, indicando una relación moderadamente fuerte
1960-1969	No existe relación 0.6403	-0,12355, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.4240	0,306831, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0024	-0,861477, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0137	-0,772761, indicando una relación moderadamente fuerte
1970-1979	No existe relación 0.8165	-0,0301284, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0173	0,735239, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.4960	0,260189, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.3907	a -0,2734, indicando una relación relativamente débil entre las
1980-1989	No existe relación 0.0691	a -0,545182, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.7307	0,181656, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.8306	0,0976721, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.1593	a -0,63814, indicando una relación moderadamente fuerte
1990-1999	No existe relación 0.1732	0,50214, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.7572	-0,0823701, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.3699	0,348049, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.9357	0,066923, indicando una relación relativamente débil

Tabla 6. Continuación.

Con base a todo el periodo de estudio se tiene que los observatorios de la Ciudad de México y de Monterrey presentan un incremento moderadamente fuerte y relativamente débil respectivamente, mientras que Guadalajara muestra un decremento relativamente débil y Puebla moderadamente fuerte. De las cuatro estaciones con que se compararon los observatorios, sólo en Chapingo se incrementa la temperatura.

A nivel decadal se observa lo siguiente:

Guadalajara, tiene un comportamiento semejante al análisis de anomalías, en la década de los años 80 se observa un incremento moderadamente fuerte, y en los 90 un decremento relativamente débil (Tabla 6), que coincide con la Figura 27. Bustos (1981), obtuvo una tendencia al incremento, debido a que su estudio sólo abarcaba hasta la

década de los años 70, como se muestra en la Tabla 6, hasta esos años se presentaron más incrementos que decrementos.

Por su parte, en México D.F. En la Tabla 6 tiene tres periodos que indican decremento relativamente débil. Este resultado concuerda con el estudio de Bustos (1981), el cual también reporta un incremento de temperatura mínima por el método de regresión lineal.

En Monterrey se observa una oscilación relativamente débil. Bustos (1981), encontró en este observatorio una tendencia descendente, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio (Tabla 6) hasta antes de la década de los años 80, a partir de tal periodo se observan incrementos aunque relativamente débiles.

Para Puebla, a partir de la década de los años 70, se observan incrementos aunque relativamente débiles, esto coincide con lo que se observa en la tabla 5, que a partir del quinquenio 80-84 se presenta un constante incremento de temperatura

Queda evidente que las ciudades de Guadalajara, Monterrey y Puebla, han mostrado incrementos de temperatura mínima, pero sólo en ciertos periodos (a partir de la década de los años 70 principalmente) en los cuales tuvieron un fuerte crecimiento poblacional, anterior a esto mostraban oscilación natural semejante a la que se presenta en las estaciones con que son comparados. En cambio, la Ciudad de México en el periodo analizado, muestra un incremento más constante dado que desde el inicio de los años considerados, ha sido una ciudad por encima de 1 000 000 de habitantes.

Al analizar por temporada del año, se obtuvo lo siguiente:

En la Tabla 7 se pueden observar los resultados de la regresión lineal aplicada a los periodos: invierno y verano de cada observatorio. Para complementar esta información, a continuación se analizan las gráficas de anomalías por mes y quinquenio.

	Invierno		Verano	
	significancia	Coefficiente de correlación con designación	significancia	Coefficiente de correlación con designación
Guadalajara	Existe relación 0.0253	-0,278739, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.5058	0,218101, indicando una relación relativamente débil
México D.F.	Existe relación 0.0000	0,862304, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0000	0,771736, indicando una relación moderadamente fuerte
Monterrey	No existe relación 0.4696	0,18561, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0199	0,552238, indicando una relación moderadamente fuerte
Puebla	Existe relación 0.0000	-0,610066, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0004	-0,411607, indicando una relación relativamente débil

Tabla 7. Resultados del análisis de regresión lineal por temporada del año.

Para complementar lo anterior, a continuación se muestran las gráficas de anomalías por mes-quinquenio.

Guadalajara. Considerando todo el periodo de estudio, es en verano cuando se elevan las temperaturas, aunque es una relación relativamente débil y en invierno disminuyen siendo también una relación relativamente débil, lo que se corrobora con la Figura 8.

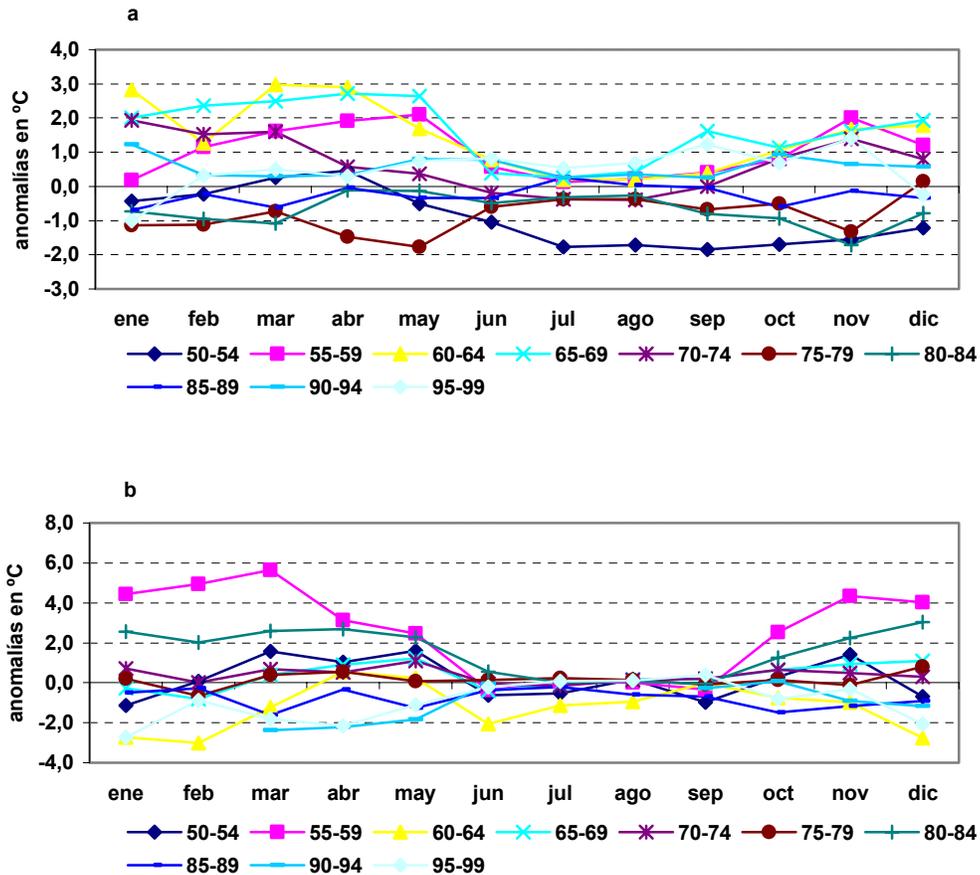


Figura 8. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Guadalajara b Coquío.

México D.F. En la Figura 9 a, se observa que los meses de octubre a marzo son en los que se eleva más la temperatura, entre los meses de mayo a agosto, sólo hasta el quinquenio 95-99 se presentan anomalías cercanas y superiores al 1°C. En ambas estaciones se ha presentado un incremento moderadamente fuerte, lo que se corrobora con la Tabla 7. En Chapingo (Figura 9 b) el comportamiento es semejante pero de menor intensidad.

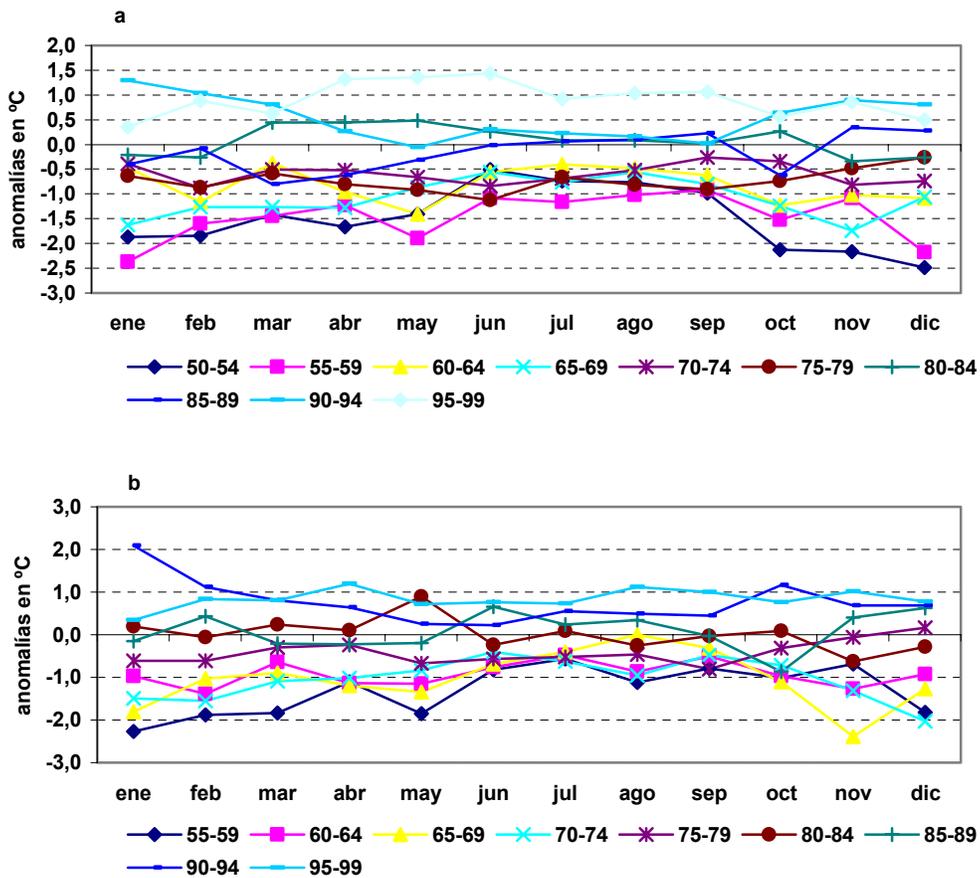


Figura 9. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Tacubaya b Chapingo.

Monterrey. En la Figura 10 a, se muestra que a partir del periodo 65-69 las anomalías de los meses de enero a marzo, mostraron mayores incrementos con respecto al resto del año, aunque considerando todo el periodo, de acuerdo con la Tabla 7, es en la temporada de verano en que las temperaturas tienen un incremento moderadamente fuerte. En la estación El Chuchillo, (Figura 10 b) se presenta un incremento de las anomalías menos fuerte que en Monterrey, es decir, en el periodo 75-79 la anomalía fue de -0.6°C y en 90-94 fue de 1°C . El Observatorio de Monterrey y la estación El Chuchillo muestran tendencias semejantes al incremento de anomalías, pero con mayor intensidad en Monterrey.

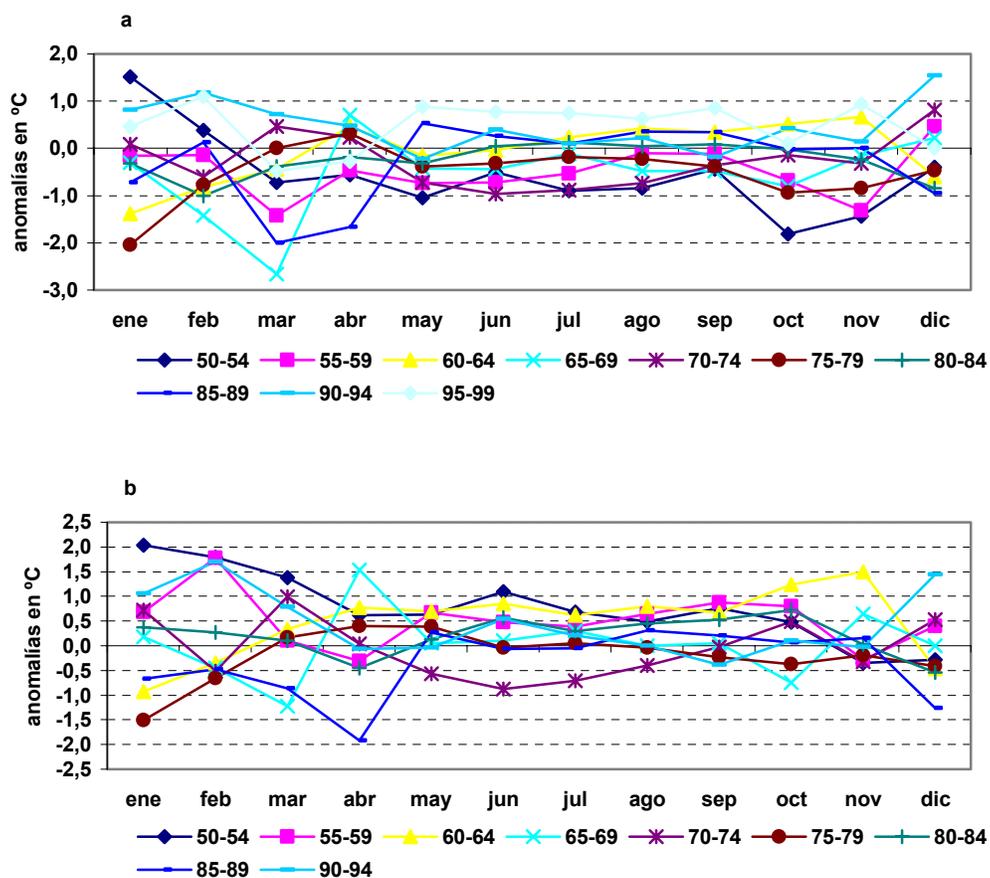


Figura 10. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Monterrey b El Cuchillo.

Puebla. De acuerdo con la Tabla 7 y la figura 11, se presenta decremento en la temperatura mínima en toda la serie y a lo largo de todo el año.

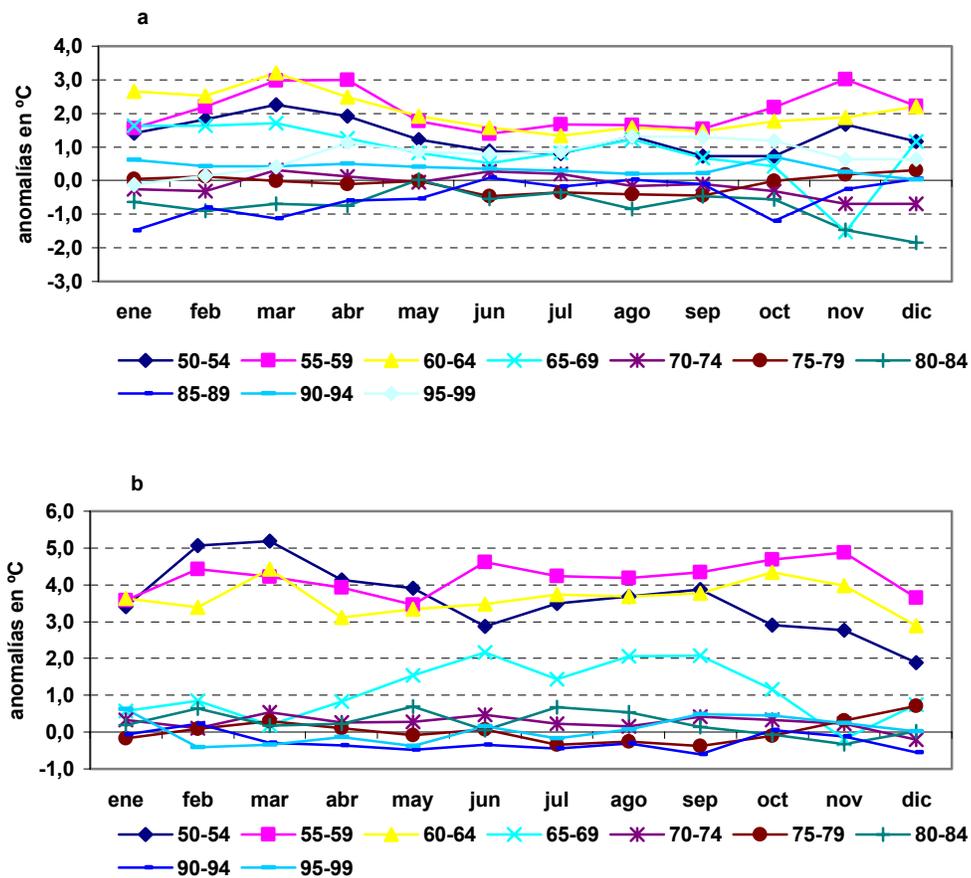


Figura 11. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Puebla b Acatzingo.

Temperatura máxima. Las gráficas de esta variable (figuras 12, 13 y 14), aparentemente muestran un incremento a lo largo de la serie, y a continuación se especifica el comportamiento de cada observatorio y estación meteorológica.

En Guadalajara, a partir de la década de los años 60 se presenta un incremento en la temperatura que es progresivo con el tiempo (Figura 12 a), y en el periodo 1985-1989 las anomalías se convierten en positivas. En Coquío (Figura 12 b) no se tiene un comportamiento definido, por lo que se puede decir que la variable analizada puede estar afectada en Guadalajara por el crecimiento urbano.

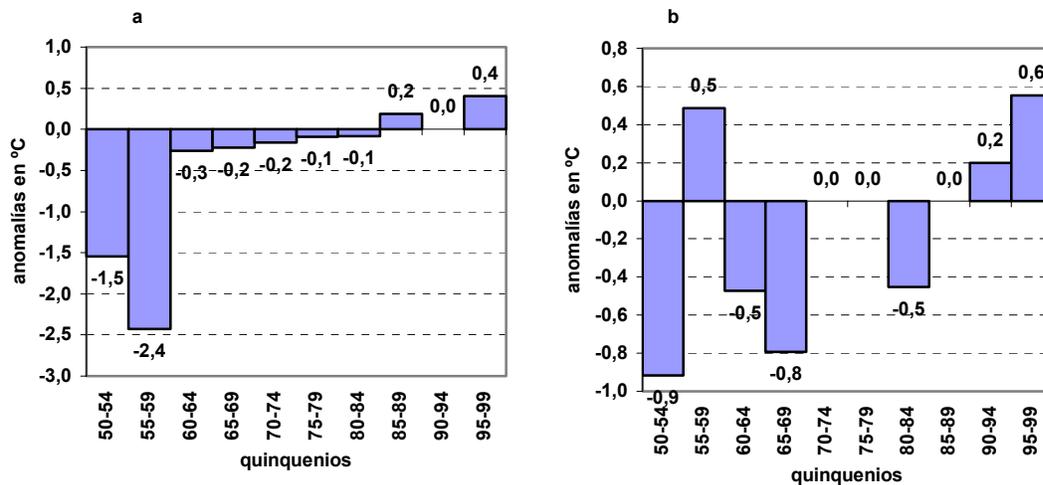


Figura 12. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Guadalajara b Coquío.

En el Observatorio de Tacubaya en México D.F. (Figura 13 a), se observa que las anomalías muestran un incremento a partir de la segunda mitad de la década de los años 80, un comportamiento semejante se observa en Chapingo.

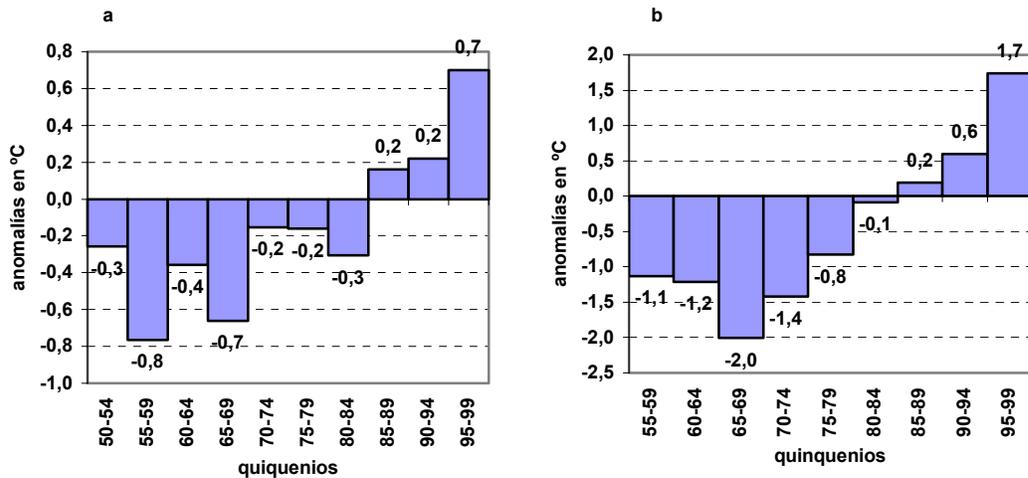


Figura 13. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Tacubaya b Chapingo.

En el observatorio de Monterrey (Figura 14 a), a partir del quinquenio 65-69 en que la anomalía fue de -1.4°C , se presenta un constante incremento de las temperaturas máximas, en el quinquenio 90-94 las anomalías fueron positivas, y en 95-99 la anomalía fue de 1.6°C , esta última es extraordinariamente alta, puede deberse al fenómeno climático de “El Niño” del 1998, que afectó a todo el país.

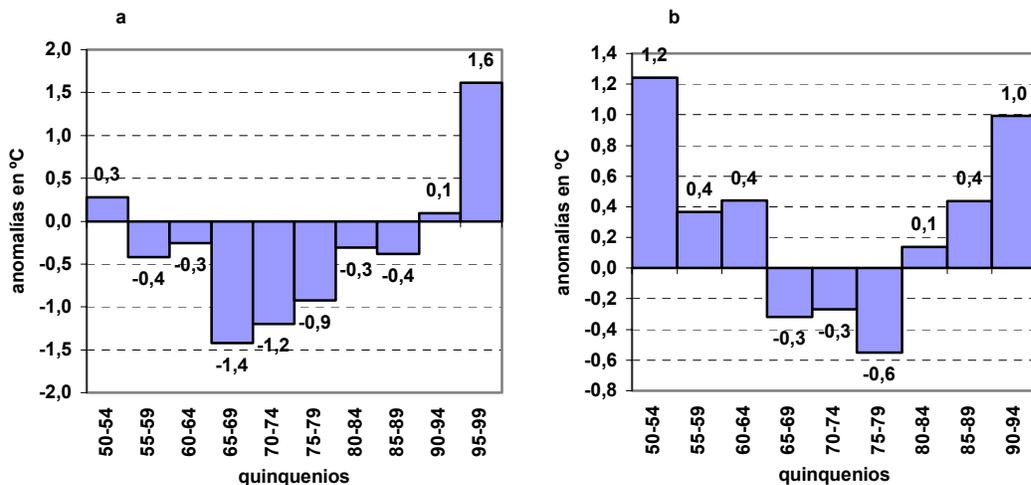


Figura 14. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Monterrey b El Cuchillo

Para el caso del observatorio de Puebla (Figura 15 a), las anomalías son en su mayoría negativas, a partir del periodo 85-89 se presenta un incremento que puede estar relacionado con el crecimiento poblacional. En Acatzingo (Figura 15 b) se presenta un decremento de las temperaturas.

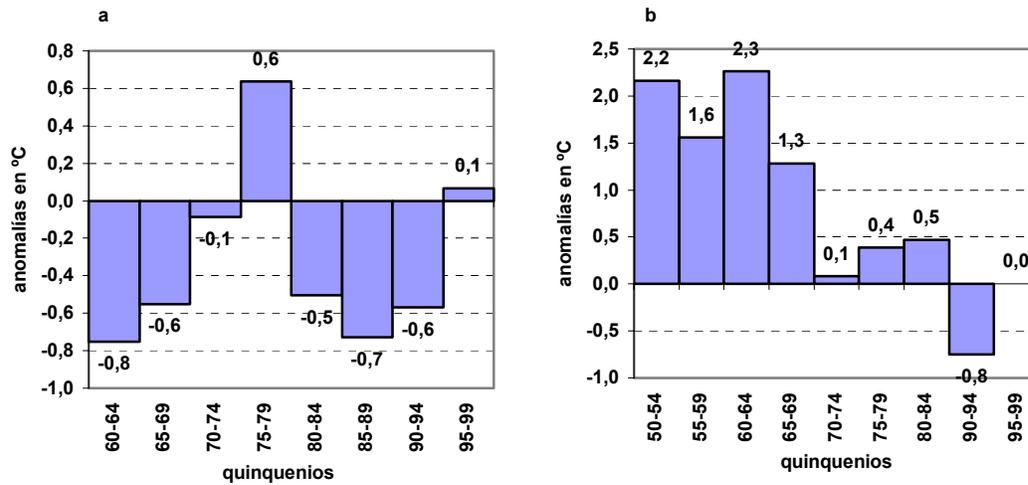


Figura 15. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Puebla b Acatzingo.

Al analizar las anomalías por mes, se determinó que el incremento de temperatura no es específico de alguna temporada del año.

Jáuregui (1993) menciona que las temperaturas más elevadas a lo largo del año, coinciden con el periodo de mayor turbulencia en el aire (abril-septiembre), ya que el viento disipa los contaminantes que impiden que la ciudad pierda el calor acumulado, el calentamiento en esta época no es tan notorio. Para cada observatorio, se presenta lo siguiente:

Guadalajara. En la Figura 16 a, se observa que las temperaturas máximas se han elevado a lo largo de todo el año por igual y no en una época específica, sólo el mes de julio del quinquenio de 95-99 es anómalamente cálido, está por encima del resto de los meses y de los quinquenios, lo que puede estar asociado a la oscilación natural del clima o a fenómenos como “El Niño” de 1997-1998.

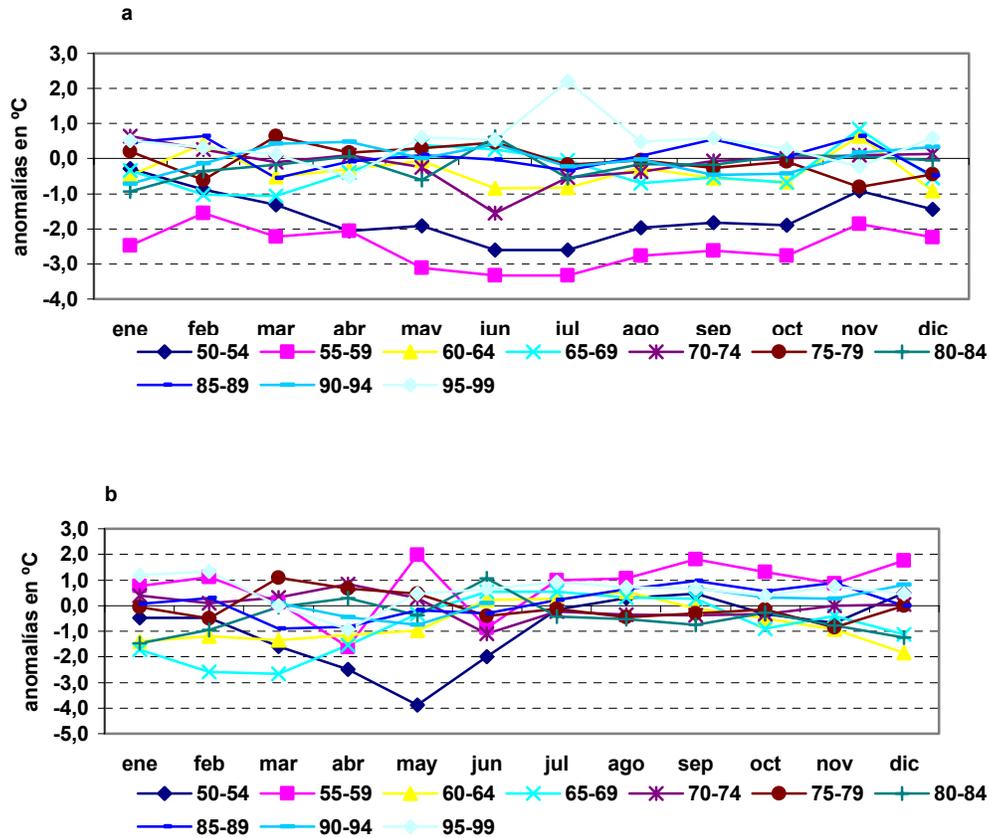


Figura 16. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Guadalajara b Coquío.

De acuerdo con la Figura 17 a, en México D.F. los meses de noviembre a febrero son los que han presentado mayor incremento en las anomalías, sin embargo, en el quinquenio de 95-99, los meses de mayo a julio son los más afectados; lo que puede estar relacionado con el fenómeno de “El Niño” de 1997-1998, durante el cual se registraron las temperaturas más elevadas en este observatorio (el 9 de mayo de 1998 se registraron 33.9°C). En la Figura 17 b se observa que los meses de noviembre a marzo presentan mayores anomalías.

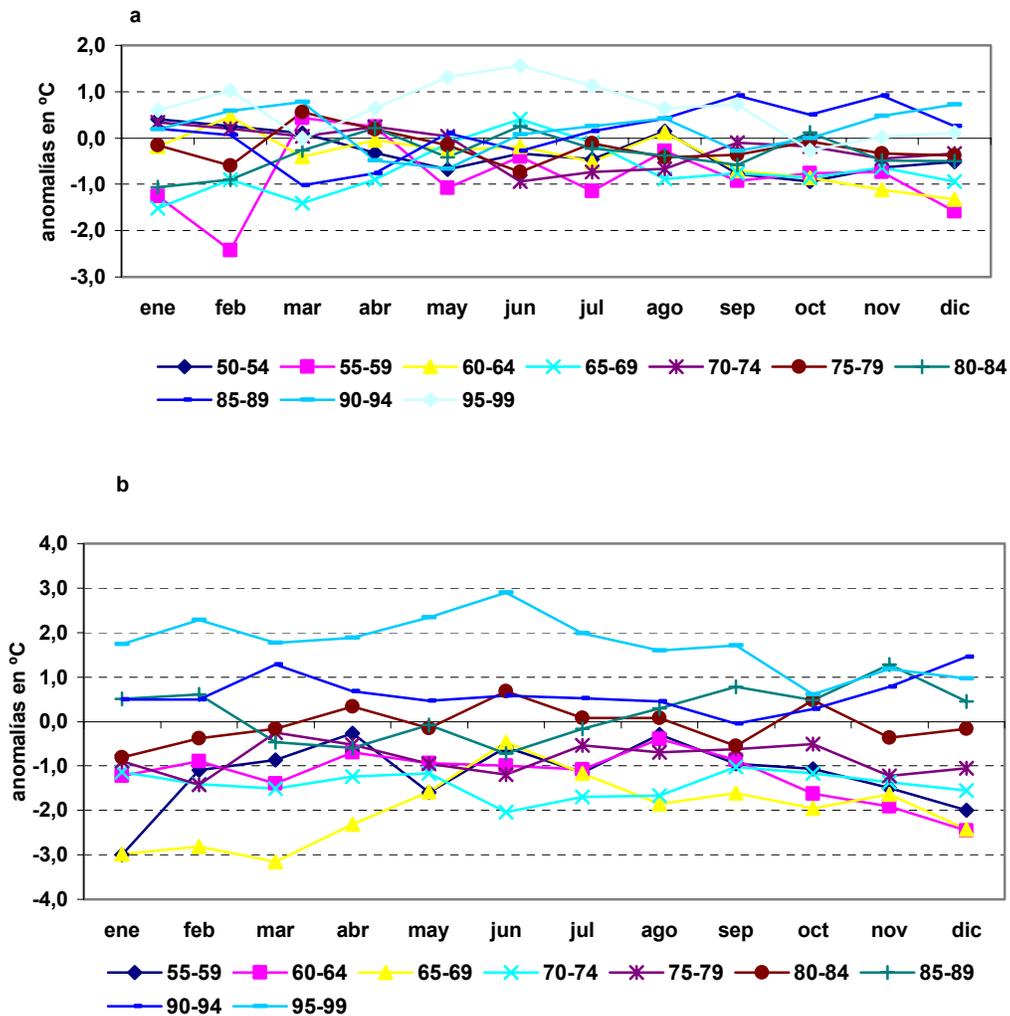


Figura 29. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Tacubaya b Chapingo.

Monterrey. En la Figura 18 a, se distingue que a partir del periodo 65-69 las anomalías mostraron tendencia al incremento, los meses de enero a marzo fueron los que tuvieron mayores anomalías positivas. En la estación El Chuchillo (Figura 18 b), se presenta un incremento de las anomalías menos fuerte que en Monterrey, es decir, en el periodo 75-79 la anomalía fue de -0.6°C y en 90-94 fue de 1°C . El Observatorio de Monterrey y la estación El Chuchillo muestran tendencias semejantes al incremento de anomalías, pero con mayor intensidad en Monterrey.

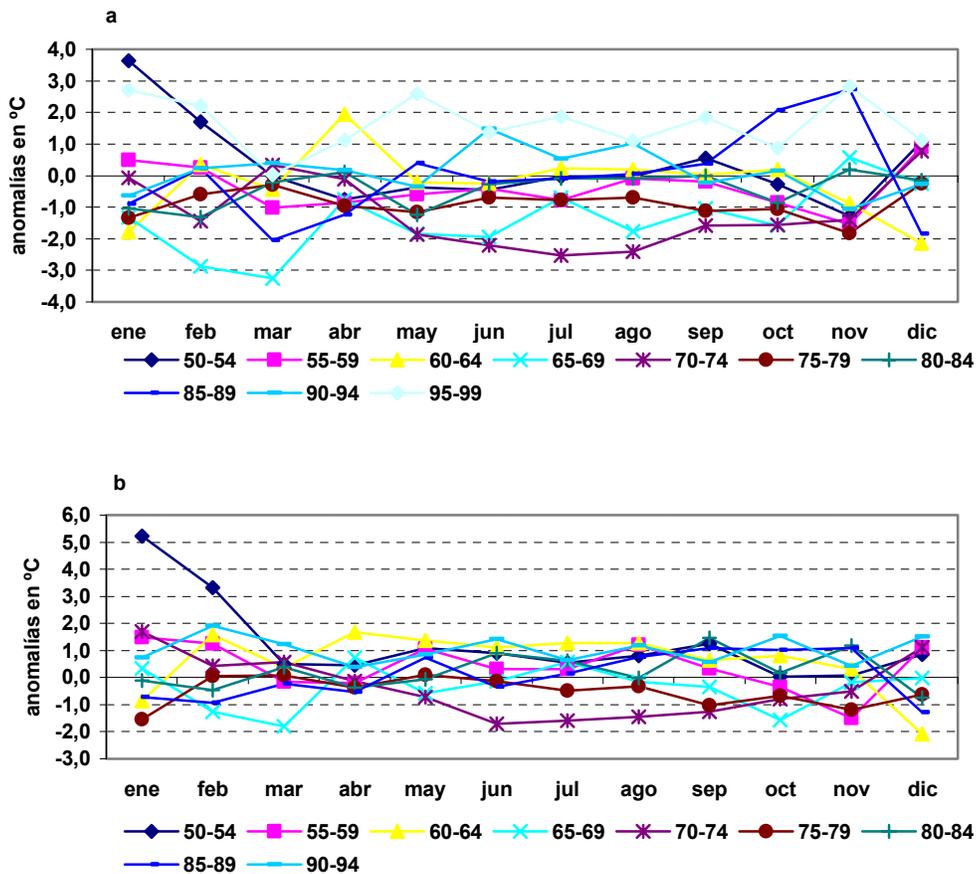


Figura 18. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Monterrey b El Cuchillo.

El comportamiento de la temperatura en el observatorio de Puebla y en Acatzingo, es variable a lo largo de todo el año.

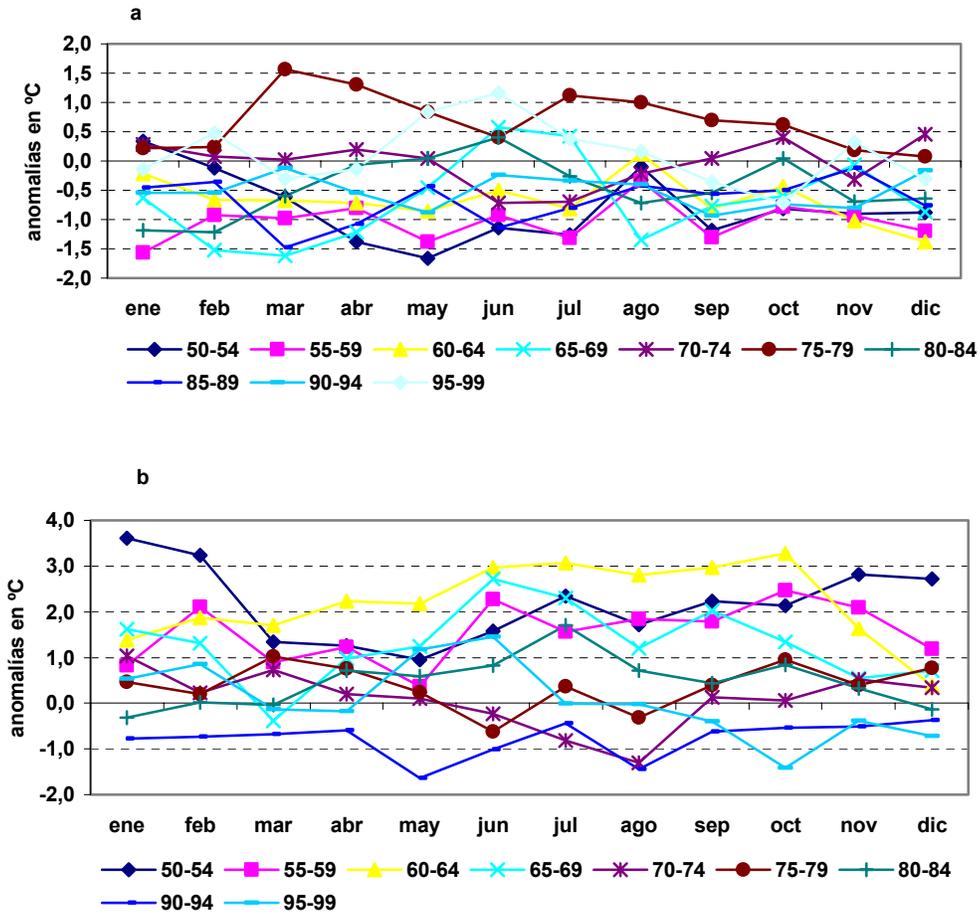


Figura 19. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Puebla b Acatzingo.

Rango de temperatura. En el presente trabajo se confirma lo mencionado por Easterling et al (1997) y Jáuregui (2005), quienes plantean que en las ciudades se presenta una reducción gradual en el rango de temperatura dado principalmente por el incremento de las temperaturas mínimas y la poca fluctuación de las máximas, caso contrario se observa en las estaciones rurales, es decir, éstas tienden a mostrar un decremento en la temperatura mínima y consecuentemente un incremento en el rango de temperatura, por ejemplo: en Monterrey el quinquenio de 50-54 mostró un rango de 0.9°C, y para el quinquenio de 95-99 disminuyó a 0.4°C, mientras que en la estación El Cuchillo, que es la estación con que se compara Monterrey, se tuvieron rangos de 0.5°C y 0.7°C respectivamente, esto muestra que en algunas ciudades con acelerado crecimiento, el rango de temperatura disminuye, mientras que en las estaciones rurales se incrementa (Tabla 8).

Observatorio Estación rural	Rango de temperatura máxima-mínima en °C por quinquenio		Población		Clasificación de acuerdo a la cantidad de población*	
	1950-1954	1995-1999	1950	2000	1950	2000
Guadalajara	0.6	0	377 016	3 330 825	Mediana	millonaria
Coquío	1.1	1.3				
México D.F.	1.2	0.3	3 137 599	15 566 702	Millonaria	mega ciudad
Chapingo- Texcoco	0.2 (55-59)	0.9				
Monterrey	0.9	0.4	375 040	2 629 550	Mediana	millonaria
El Cuchillo	0.5	0.7 (90-94)				
Puebla	2.1	0.6	211 331	1 271 673	Mediana	millonaria
Acatzingo	1.4	0.2				

Tabla 8. Tendencias de temperaturas y población total en las ciudades

Las cifras de población son las registradas en la cabecera municipal de las ciudades ya que es la más representativa para la mancha urbana. Para el caso de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, se tomó además de la población de la ciudad, los municipios que el INEGI considera como parte del área metropolitana; de estos municipios también se tomó la cifra de población de la cabecera municipal. Los municipios considerados para estas tres ciudades son:

-Ciudad de México: Acolmán, Atenco, Atizapán de Zaragoza, Coacalco de Berrizabal, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Chalco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, Jaltenco, Melchor Ocampo, Naucalpan, Nezahualcoyotl, Nextlalpan, Nicolás Romero, La Paz, Tecamac, Teoloyucan, Tepotzotlán, Tezcoco, Tlalnepantla, Tultepec, Tultitlán y Zumpango.

-Monterrey: San Nicolás, Guadalupe, San Pedro Garza y Santa Catarina.

-Guadalajara: Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan.

*La clasificación utilizada es la realizada por Garza (2005).

Al tomar en cuenta los periodos 50-54 y 95-99, el rango de temperatura de todos los observatorios del Grupo 1, presenta una reducción de más de medio grado y en algunos casos más de un grado centígrado (Tabla 7) a causa del incremento de las temperaturas mínimas, lo que confirma la hipótesis del trabajo y lo dicho por Easterling et al (1997), donde señala que el rango de temperatura tiende a disminuir en las ciudades.

3.1.2 Grupo 2 Ciudades grandes

Los observatorios que integran este grupo son: Chihuahua, Hermosillo, Mérida, Morelia, Saltillo y Torreón. Son ciudades cuya población está entre 500 000-999 999 habitantes.

En la Tabla 9 se muestra el crecimiento poblacional que han tenido las ciudades de este grupo:

	Censos					
	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Chihuahua	87 000	150 430	257 027	385 603	516 153	657 876
Hermosillo	43 519	95 578	176 596	297 175	406 417	545 928
Mérida	142 858	170 834	212 097	400 142	523 422	662 530
Morelia	63 245	100 828	161 040	297 544	428 486	549 996
Saltillo	69 842	98 839	161 114	284 937	420 947	562 587
Torreón	128 971	179 901	223 104	328 086	439 436	502 964

Tabla 9. Población total de las ciudades del grupo 2, 1950-2000. Fuente: www.inegi.gob.mx

Se trata de ciudades que han tenido un importante crecimiento económico desde la década de los años 50. En el caso de las ciudades fronterizas, dicho crecimiento estuvo condicionado por interacción comercial con Estados Unidos (INEGI 1994).

En el análisis de anomalías de temperaturas, se obtuvo lo siguiente:

Temperatura mínima. Se presenta un comportamiento oscilatorio en los quinquenios a lo largo de la serie, tanto en observatorios como en las estaciones, lo que evidencia la variabilidad natural térmica y que aparentemente la urbanización aún no produce un

incremento en los registros de temperatura de los observatorios ubicados en ciudades por debajo de 1 000 000 de habitantes. La Tabla 10, elaborada con base en las gráficas de anomalías del anexo 2, muestra las anomalías por quinquenio de cada observatorio y estación.

Observatorios	Anomalía por quinquenio									
	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99
Chihuahua	0	0.2	0.5	1	0.7	-0.9	0.2	-0.6	0.5	0.4
Hermosillo	0.4	0.3	-1.3	-0.1	-0.4	0	0.1	0.1	0.4	0
Mérida	-1.9	1.3	1.7	0.2	-0.1	-0.6	-0.2	-0.1	0.5	0.3
Morelia	0.8	0.9	0.6	0.2	0.4	0.5	-0.4	-0.2	0.2	0
Saltillo	-0.1	0.5	0.4	0.4	0.8	0.6	0.6	-0.6	-0.9	-0.6
Torreón	-3	-3	-4.2	-4.7	-2.9	-0.1	0	-0.1	1.7	1.7
Estaciones										
Las Burras	1.5	1.7	0.8	1.4	0.3	-1.5	0	-0.1	1	0.8
El Orégano	2.9	2.4	1.8	2.2	2.2	-0.3	-0.9	-1.4	--	1.6
Telchaquillo	--	1.5	0.8	0.3	0.6	0.6	-0.6	-1.4	-0.1	1.1
Cuitzeo	-1.9	-1.3	-1.6	-2.3	-1	0.7	-0.1	0.1	0.3	0.1
Ramos Arizpe	-0.5	-1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.3	0.1	-0.3	0.9	--
Presa Cuije Matamoros	--	--	--	-0.4	-2	-1.6	-0.3	0.3	2.2	0.2

Tabla 10. Anomalías de temperaturas por quinquenios de observatorios y estaciones del Grupo 2.

Tanto en Chihuahua como en Las Burras, la temperatura mínima tiene un comportamiento muy similar, a partir del quinquenio 70-74, se tienen anomalías negativas. Jáuregui (2005) utilizando periodos decadales, mencionó que Chihuahua muestra una tendencia al incremento de la temperatura mínima de 0.37°C por década en el periodo de estudio (1950-1997); por su parte en este trabajo se observan anomalías positivas en el último periodo (95-99), sin embargo, el comportamiento de la temperatura de la estación rural, además de ser muy parecido a Chihuahua, los valores de las anomalías positivas llegan a ser más altos que los del observatorio, lo que se podría interpretar como una fluctuación térmica natural de la región.

En Hermosillo las anomalías son poco variables, entre 60-64 se presentó -1.3°C y en el último quinquenio fue de 0°C . En el Orégano las anomalías positivas y negativas tienen valores mayores.

Para Mérida se observa que a partir de 65-69, las anomalías no tienen tanta oscilación con respecto a los demás observatorios, sólo en 90-94 se presentaron 0.5°C , en Telchaquillo las anomalías son de valores mayores.

En Morelia, a partir del quinquenio 80-84, las anomalías son negativas excepto 90-94. Un comportamiento opuesto se presenta en Cuitzeo en donde a partir de 75-79 las anomalías fueron mayormente positivas.

En Saltillo a partir del quinquenio 85-89 se presentan anomalías negativas que se mantienen por el resto de la serie, anterior a esto las anomalías eran positivas. Un comportamiento inverso se presenta en la estación Ramos Arizpe, excepto en el quinquenio 85-89 donde la anomalía fue de -0.3°C .

Torreón presenta una fuerte variabilidad de las anomalías y un incremento en la última década, este comportamiento puede deberse a la variabilidad propia del clima seco desértico en que se encuentra. Comportamiento semejante se presenta en Presa Cuije.

Los resultados del análisis de temperaturas mínimas por el método de regresión lineal del periodo completo, por décadas de los observatorios y las estaciones de lugares rurales correspondientes se muestran en la Tabla 11.

	Chihuahua		Las Burras	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	No existe relación 0.2175	-0,08366, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0072	-0,335011, indicando una relación relativamente débil
1950-1959	No existe relación 0.2178	0,451251, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.4584	0,293782, indicando una relación relativamente débil
1960-1969	Existe relación 0.0600	0,631522, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.1402	0,525957, indicando una relación moderadamente fuerte
1970-1979	Existe relación 0.0296	-0,674385, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0057	-0,793773, indicando una relación moderadamente fuerte
1980-1989	No existe relación 0.2755	a -0,369071, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.9132	0,0638132, indicando una relación relativamente débil
1990-1999	No existe relación 0.3966	igual a -0,27584, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.6414	0,206602, indicando una relación relativamente débil

	Hermosillo		El Orégano	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	No existe relación 0.7684	0,10974, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0000	-0,615708, indicando una relación moderadamente fuerte
1950-1959	No existe relación 0.4107	0,341604, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.4194	-0,259203, indicando una relación relativamente débil
1960-1969	Existe relación 0.0025	0,84624, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.4757	0,2953, indicando una relación relativamente débil
1970-1979	No existe relación 0.2141	0,478614, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0176	-0,719331, indicando una relación moderadamente fuerte
1980-1989	No existe relación 0.5373	-0,237801, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0502	-0,612879, indicando una relación moderadamente fuerte
1990-1999	No existe relación 0.1083	-0,593857, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0518	0,755248, indicando una relación moderadamente fuerte

	Mérida		Telchaquillo	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	No existe relación 0.5793	0,0651198, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0268	-0,27375, indicando una relación relativamente débil
1950-1959	Existe relación 0.0023	0,8465, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.2124	0,700451, indicando una relación moderadamente fuerte
1960-1969	Existe relación 0.0056	-0,785281, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.2076	-0,400895, indicando una relación relativamente débil
1970-1979	No existe relación 0.1205	-0,470305, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.5815	-0,123396, indicando una relación relativamente débil
1980-1989	No existe relación 0.9067	0,0372928, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0301	-0,657485, indicando una relación moderadamente fuerte
1990-1999	Existe relación 0.0432	-0,604207, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.8724	-0,065397, indicando una relación relativamente débil

	Morelia		Cuitzeo	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	Existe relación 0.0000	-0,552238, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0000	0,638674, indicando una relación moderadamente fuerte
1950-1959	No existe relación 0.2923	0,422078, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0342	0,677627, indicando una relación moderadamente fuerte
1960-1969	No existe relación 0.1637	-0,437433, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.4522	-0,254049, indicando una relación relativamente débil
1970-1979	No existe relación 0.2687	-0,426077, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0001	0,929411, indicando una relación relativamente fuerte
1980-1989	No existe relación 0.6301	0,209867, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.6455	-0,149807, indicando una relación relativamente débil
1990-1999	No existe relación 0.3074	-0,331646, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.5439	0,235546, indicando una relación relativamente débil

	Saltillo		Ramos Arizpe	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	Existe relación 0.0001	-0,43739, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0002	0,610188, indicando una relación moderadamente fuerte
1950-1959	No existe relación 0.1969	0,468858, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0802	-0,554354, indicando una relación moderadamente fuerte
1960-1969	No existe relación 0.9790	0,0454856, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0906	0,602499, indicando una relación moderadamente fuerte
1970-1979	No existe relación 0.4372	-0,235867, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.9994	0,0420954, indicando una relación relativamente débil
1980-1989	Existe relación 0.0022	-0,83807, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0430	-0,63079, indicando una relación moderadamente fuerte
1990-1999	No existe relación 0.4738	0,28241, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.6792	-0,19312, indicando una relación relativamente débil

	Torreón		Presa Cuije Matamoros	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	Existe relación 0.0000	0,817269, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0327	0,386217, indicando una relación relativamente débil
1950-1959	No existe relación 0.9213	0,057994, indicando una relación relativamente débil	----	----
1960-1969	No existe relación 0.8116	-0,0723303, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.7917	-0,136607, indicando una relación relativamente débil
1970-1979	Existe relación 0.0358	0,671032, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.3357	0,352268, indicando una relación relativamente débil
1980-1989	No existe relación 0.5205	-0,199701, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0928	0,573092, indicando una relación moderadamente fuerte
1990-1999	No existe relación 0.7473	-0,056893, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.2607	-0,388283, indicando una relación relativamente débil

Tabla 11. Análisis de regresión lineal por décadas y periodo completo de los observatorios del Grupo 2.

El observatorio de Torreón es el único que muestra un incremento moderadamente fuerte al considerar todo el periodo de estudio, sin embargo, en los periodos decadales, se observa una oscilación en la que predominan los decrementos de temperatura. En la estación Presa Cuije el incremento es relativamente débil y también se presenta la oscilación en las décadas.

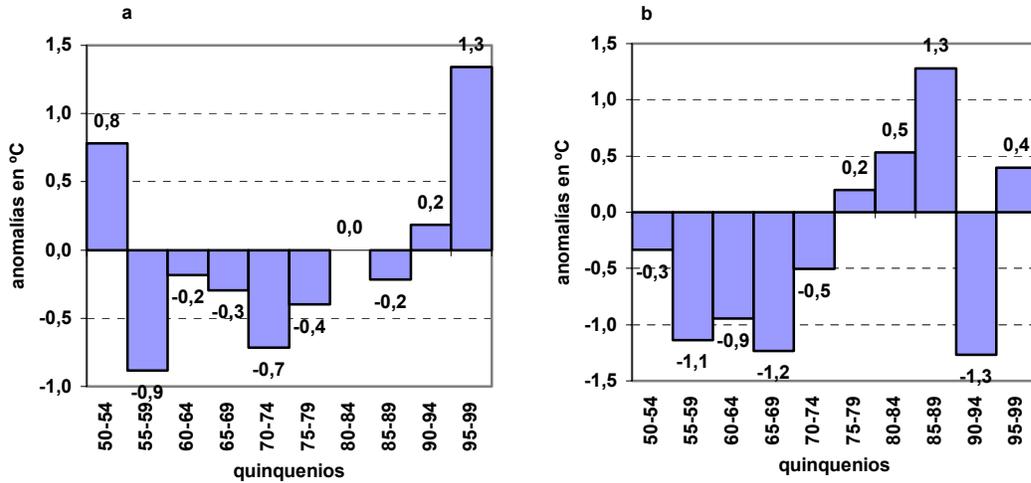
En Morelia se presenta una relación moderadamente fuerte hacia el decremento de temperaturas en toda la serie y en los periodos decadales predominan relaciones relativamente débiles al decremento. En Cuitzeo se presenta lo contrario, una relación moderadamente fuerte al incremento y en las décadas predominan relaciones del mismo tipo.

Saltillo presenta condiciones similares a Morelia, relación relativamente débil al decremento en la serie completa, pero predominan en los quinquenios una relación relativamente débil al incremento. En Ramos Arizpe se presenta relación moderadamente fuerte al incremento y en las décadas se observa oscilación.

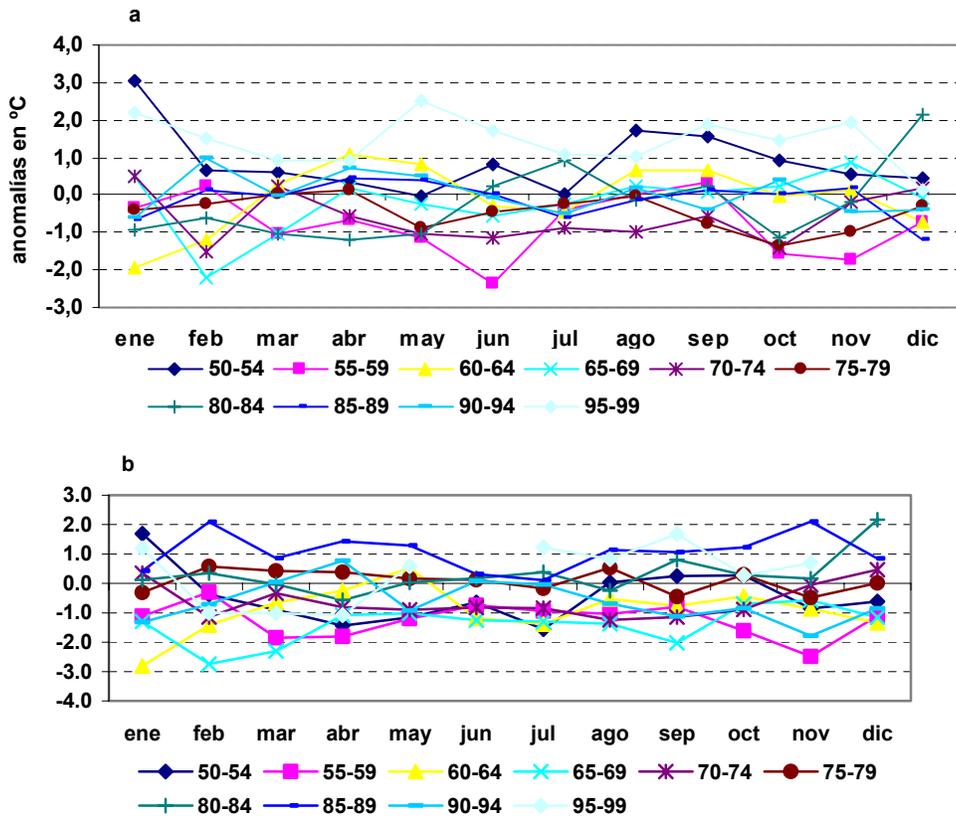
En los observatorios de Chihuahua, Hermosillo y Mérida no existe una relación que indique una tendencia positiva o negativa y en los periodos decadales se presenta oscilación. En las estaciones con que los tres son comparados, se presentan relaciones al decremento y oscilaciones en los periodos decadales.

Temperatura máxima. La variable en estos observatorios no muestra incrementos constantes, sino un comportamiento oscilatorio a lo largo de todo el período de estudio y tampoco presenta tendencias estacionales.

En Chihuahua se presenta un comportamiento oscilatorio que en los dos últimos quinquenios muestra anomalías positivas, en la estación Las Burras la oscilación muestra valores mayores.



Gráfica 20. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Chihuahua b Las Burras.



Gráfica 21. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Chihuahua b Las Burras.

Hermosillo. Se observan anomalías positivas en tres de los quinquenios analizados, sólo el último por arriba de medio grado. En cambio El Orégono, tiene un comportamiento de mayor fluctuación, pues se tienen anomalías positivas de 3.2 y negativas de -1.3°C.

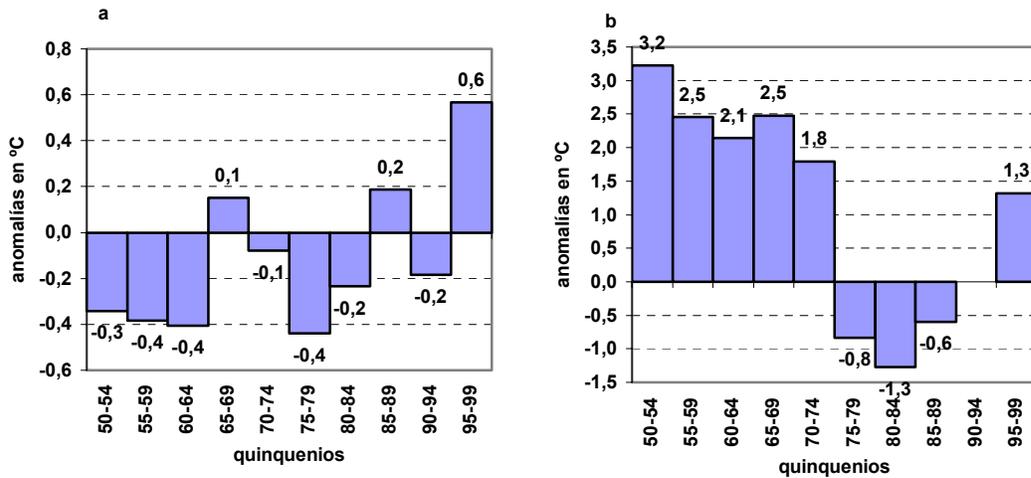


Figura 22. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio. a Hermosillo b El orégono.

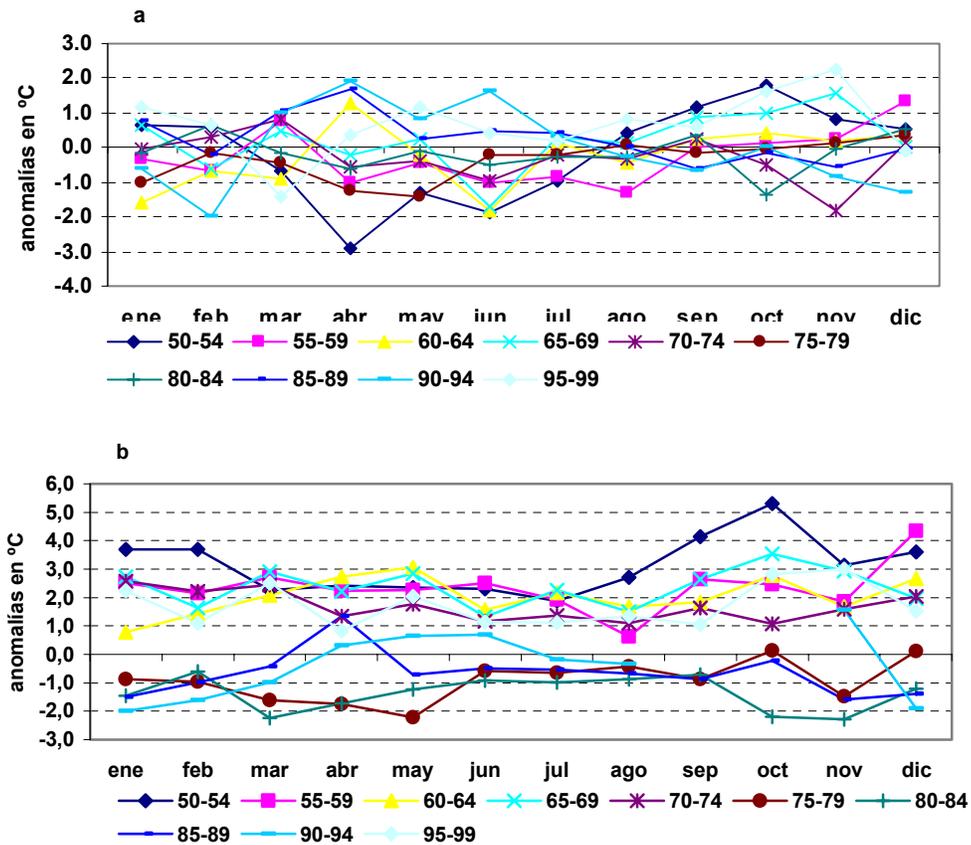


Figura 23. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio. a Hermosillo b El orégono.

Mérida y la estación Telchaquillo muestran un comportamiento similar, pues se registran sólo anomalías positivas en los dos últimos quinquenios estudiados. La diferencia está en los valores de las anomalías del último periodo, en el primero es de 0.6, en cambio en la estación es de 2.5°C.

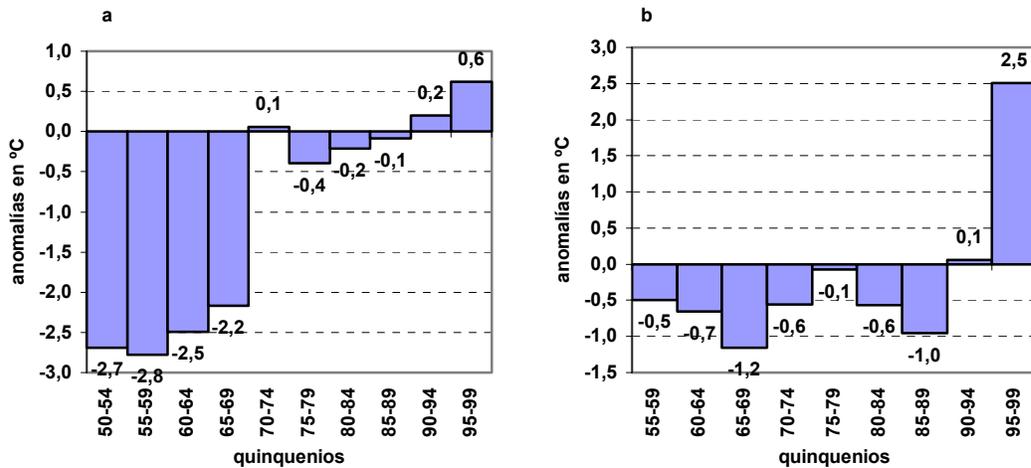


Figura 24. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio. a Mérida b Telchaquillo.

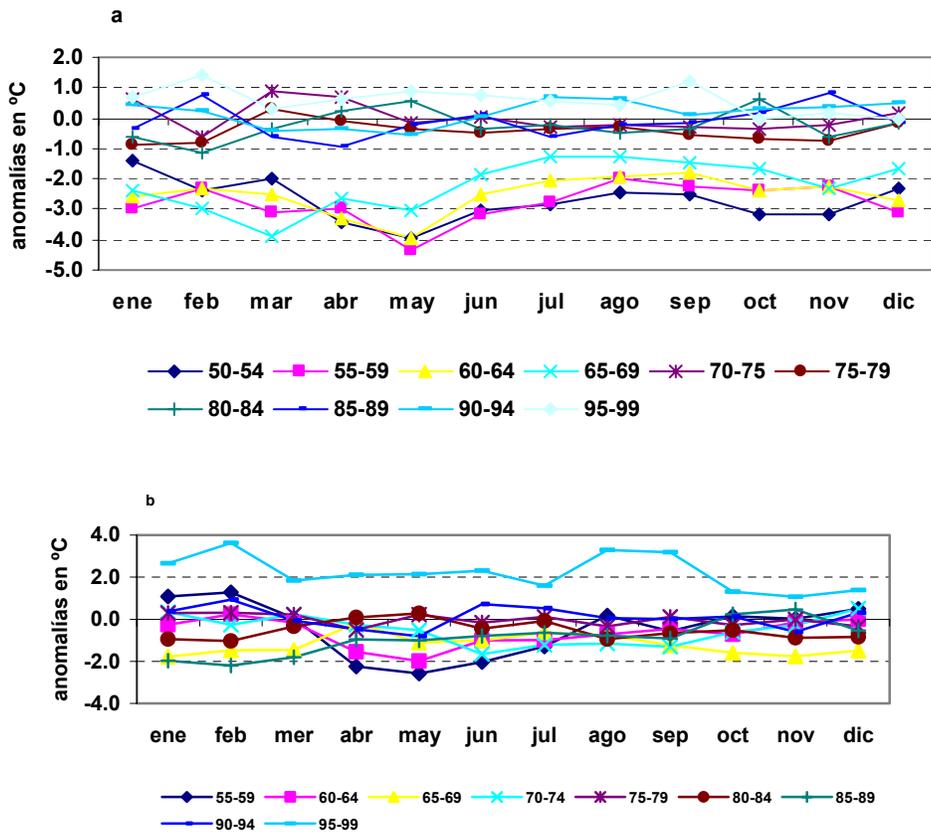


Figura 25. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio. a Mérida b Telchaquillo.

En las gráficas de Morelia se observa que a partir del quinquenio 80-84 hay un incremento en la temperatura, donde el valor más alto (1.7°C), se registra en el último quinquenio. En cambio en Cuitzeo, se observan ciclos de incrementos y decrementos cada dos y tres quinquenios.

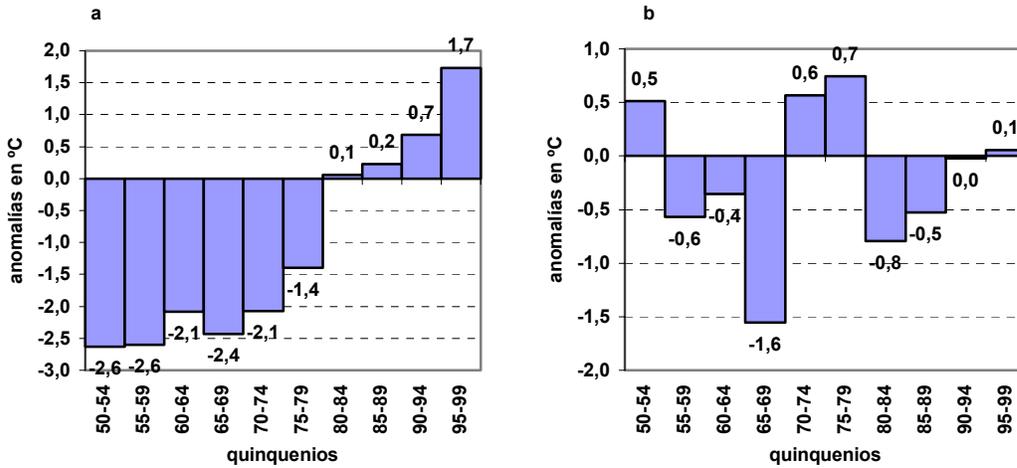


Figura 26. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio. a Morelia b Cuitzeo.

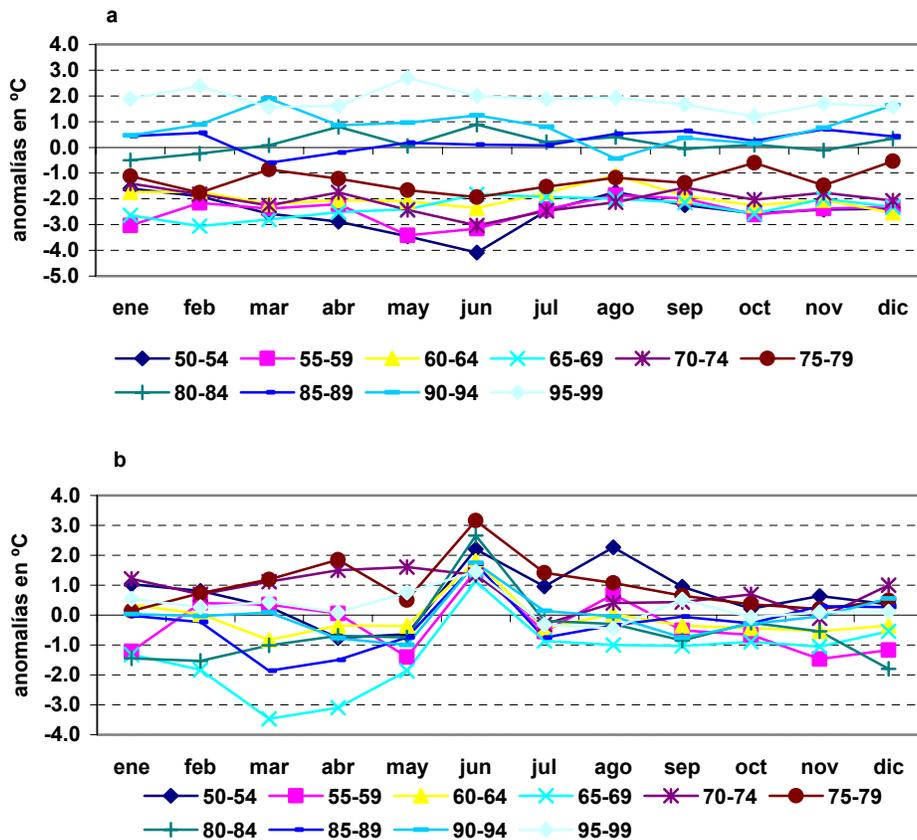


Figura 27. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio. a Morelia b Cuitzeo.

Saltillo. Se observa un comportamiento uniforme a lo largo de toda la serie, y en 95-99 tiene una anomalía de 1.2°C.

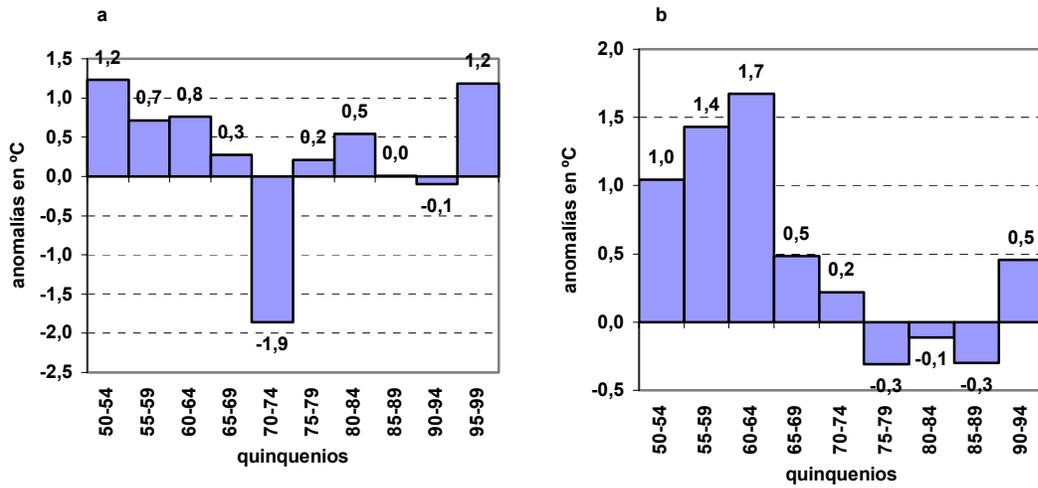


Figura 28. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio. a Saltillo b Ramos Arizpe.

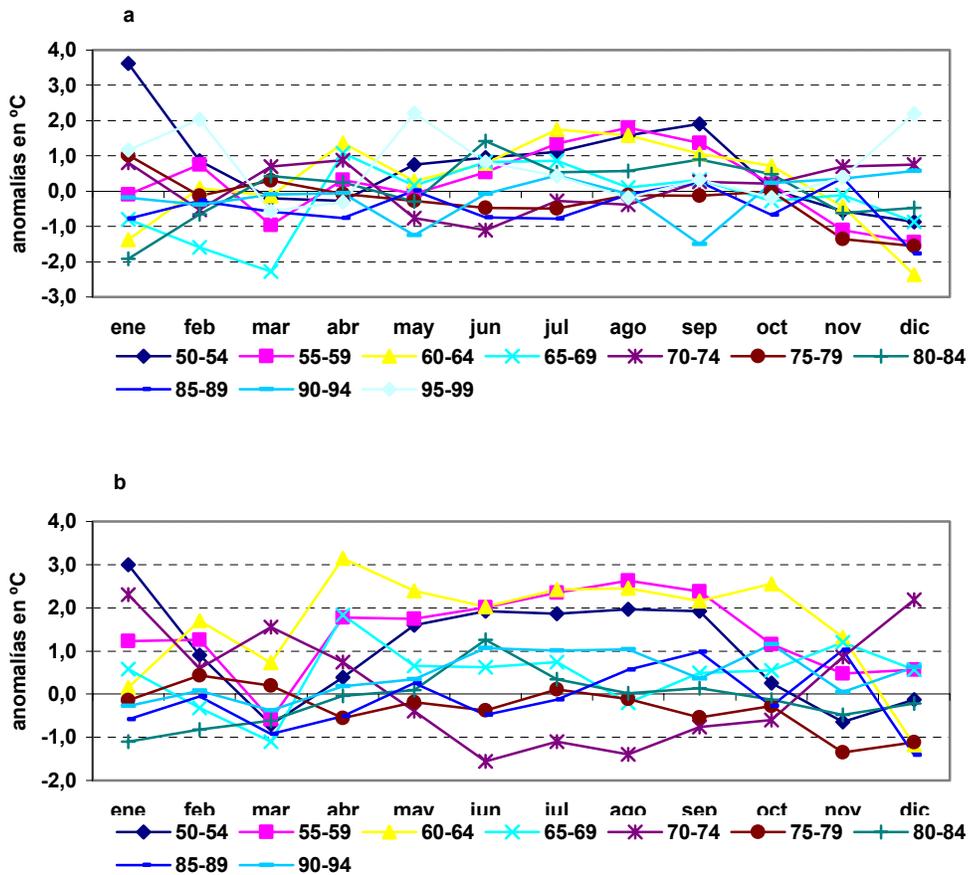


Figura 29. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio. a Saltillo b Ramos Arizpe.

En Torreón desde el inicio del periodo al quinquenio 69-69 se presentaron anomalías positivas superiores a 3°C, a partir de 70-74 las anomalías fueron cercanas a la climatología y para 95-99 fue de 1.1°C.

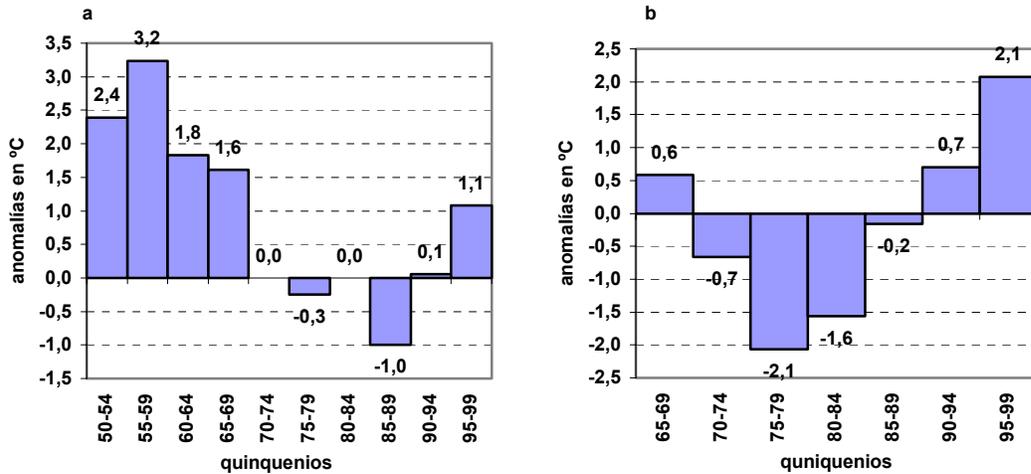


Figura 30. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Torreón b Presa Cuije Matamoros.

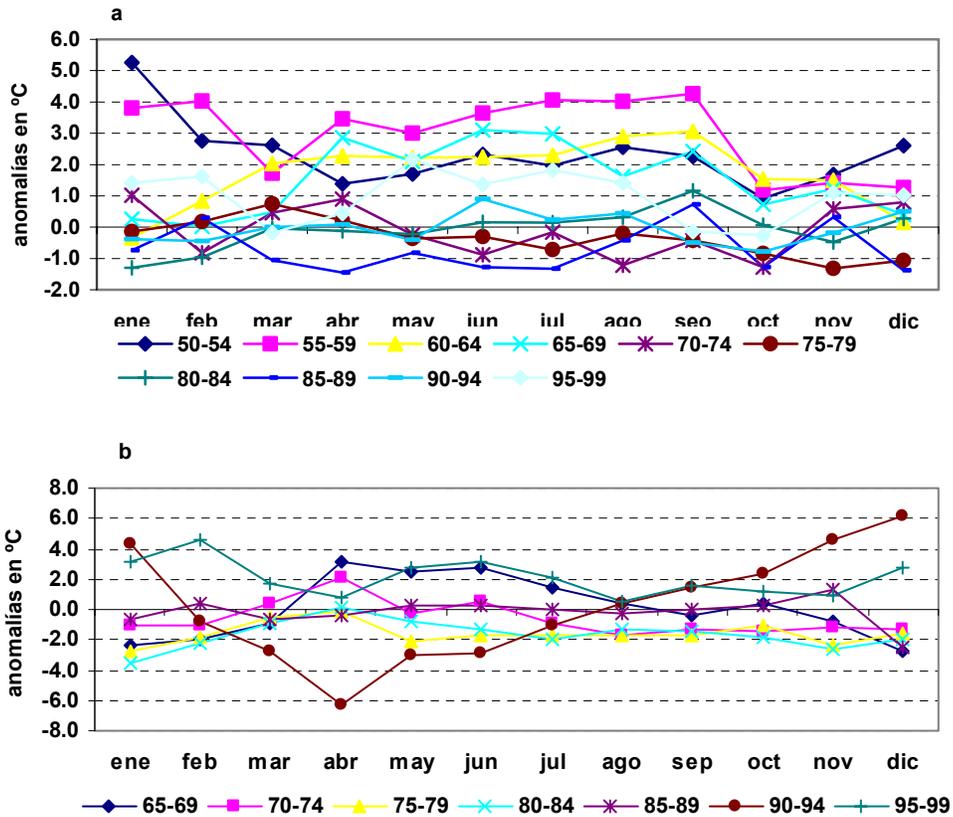


Figura 31. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Torreón b Presa Cuije Matamoros.

Rangos de temperatura. En la Tabla 12 se observa que los quinquenios 50-54 y 95-99 de los observatorios y las correspondientes estaciones climatológicas del Grupo 2, además se presentan datos de población total de los Censos de Población y Vivienda de 1950 y 2000 de las ciudades donde se encuentran los observatorios y el cambio de clasificación de acuerdo a la cantidad de población. Algunas de las estaciones climatológicas que se consideraron no cuentan con datos desde el inicio del periodo de análisis, por lo que se tomó como referencia el primer quinquenio de datos disponibles.

Observatorio Estación rural	Rango de temperatura máxima-mínima en °C por quinquenio		Población		Clasificación de acuerdo a la cantidad de población*	
	1950- 1954	1995- 1999	1950	2000	1950	2000
Chihuahua	0.8	0.9	87 000	657 876	mediana	grande
Las Burras	1.8	0.4				
Hermosillo	0.7	0.6	43 519	545 928	chica	grande
El orégano	0.3	0.3				
Mérida	0.8	0.3	142 858	662 530	mediana	grande
Telchaquillo	2 (55- 59)	1.4				
Morelia	3.4	1.7	63 245	549 996	mediana	grande
Cuitzeo	2.4	0				
Saltillo	1.3	1.8	69 842	562 587	mediana	grande
Ramos Arizpe	1.5	0.4				
Torreón	5.4	0.6	128 971	502 964	mediana	grande
Presa Cuije Matamoros	1(65- 69)	1.9				

Tabla 12. Rangos de temperaturas de los observatorios del Grupo 2.

En algunos casos se presenta una reducción en el rango de temperatura, sin embargo como se observo en la Tabla 9, es parte de la variabilidad del clima a diferencia de los observatorios del Grupo 1 en los que sí se presenta un incremento a partir de un periodo determinado.

3.1.3 Grupo 3 Ciudades medias

Los observatorios de este Grupo son lo que están ubicados en ciudades que de acuerdo con el Censo de población y vivienda de 2000, tienen menos de 500 000 habitantes en la cabecera municipal y son: Pachuca, Tepic y Toluca. En la Tabla 13 se muestra el incremento poblacional que han tenido estas ciudades.

	Censos					
	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Pachuca	58 658	64 571	83 892	110 351	174 013	231 602
Tepic	24 595	54 069	87 540	145 741	206 967	265 817
Toluca	52 983	77 124	114 079	199 778	327 865	435 125

Tabla 13. Población total de las ciudades del grupo 3, 1950-2000. Fuente: www.inegi.gob.mx

Estas ciudades han tenido un crecimiento poblacional menos acelerado que las de los grupos 1 y 2.

En el análisis de anomalías de temperaturas, se obtuvo lo siguiente:

Temperatura mínima. En los observatorios se presentan oscilaciones a lo largo de toda la serie y en las estaciones correspondientes, las anomalías presentan valores aún mayores. En la Tabla 14, se muestran las anomalías por quinquenio de cada observatorio y estación del Grupo 3. Esta tabla fue elaborada con base en las gráficas de anomalías del anexo 3.

Observatorios	Anomalía por quinquenio									
	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99
Pachuca	-0.9	-0.7	-0.3	-0.4	0.6	-0.3	0	-0.3	-0.1	0.1
Tepic	-0.7	-0.4	-0.1	-0.4	-2.1	0.4	0.5	0	0.6	0.8
Toluca	3	2.7	2.7	2.7	1.4	-0.1	-0.2	-0.5	0	-0.2
Estaciones										
Ixmiquilpan	-0.3	0	0.6	0.7	0.4	0.6	0.3	-0.9	-0.8	0.4
Ahuacatlán	0.8	0.7	0.8	1.4	1.2	1.3	2.2	-1.5	-1.2	-2.1
Atotonilco	--	--	--	0.2	0.3	0.1	-0.2	-0.5	0.1	0.1

Tabla 14. Anomalías de temperaturas por quinquenios de observatorios y estaciones del Grupo 3.

Pachuca presenta un comportamiento oscilatorio además de un incremento de temperatura a partir del quinquenio 85-89 hasta 95-99. En Ixmiquilpan se observa mayor variabilidad.

En Tepic se muestran anomalías positivas a partir del quinquenio 75-79 y para 95-99 la anomalía es de 0.8°C. En Ahuacatlán, a partir de 85-89 las anomalías son negativas.

En Toluca resulta evidente la variación de anomalías entre los periodos 70-74 y 75-79 que es ocasionado por el cambio de domicilio del observatorio entre los años 1973-1974, anterior a esta fecha se ubicaba en el centro de la ciudad y posteriormente fue establecido en la periferia.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del análisis de regresión lineal.

	Pachuca		Ixmiquilpan	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	Existe relación 0.0332	0,394887, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.0975	-0,174052, indicando una relación relativamente débil
1950-1959	No existe relación 0.1821	0,479532, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.1484	0,510743, indicando una relación moderadamente fuerte
1960-1969	No existe relación 0.7847	0,134302, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.8085	0,112316, indicando una relación relativamente débil
1970-1979	No existe relación 0.5895	a -0,180408, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.7251	a 0,151165, indicando una relación relativamente débil
1980-1989	No existe relación 0.2274	-0,375479, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0135	-0,738127, indicando una relación moderadamente fuerte
1990-1999	No existe relación 0.8157	0,113227, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.9217	0,0438609, indicando una relación relativamente débil

	Tepic		Ahuacatlán	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	Existe relación 0.0050	0,482269, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0000	-0,562707, indicando una relación moderadamente fuerte
1950-1959	No existe relación 0.2720	0,408906, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.7456	0,16116, indicando una relación relativamente débil
1960-1969	No existe relación 0.4371	-0,216254, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0363	0,691591, indicando una relación moderadamente fuerte
1970-1979	Existe relación 0.0215	0,750041, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.4683	0,327748, indicando una relación relativamente débil
1980-1989	Existe relación 0.0036	-0,802294, indicando una relación moderadamente fuerte	Existe relación 0.0000	-0,940919, indicando una relación relativamente fuerte
1990-1999	No existe relación 0.7230	-0,0739465, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.4302	-0,281791, indicando una relación relativamente débil

	Toluca		Atotonilco	
	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación	Valor de significancia positiva o negativa	Coefficiente de correlación con designación
Todo el periodo	Existe relación 0.0000	-0,862154, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.1398	-0,21668, indicando una relación relativamente débil
1950-1959	No existe relación 0.7032	-0,109805, indicando una relación relativamente débil	----	----
1960-1969	No existe relación 0.3095	0,387061, indicando una relación relativamente débil	Existe relación 0.0298	0,916497, indicando una relación relativamente fuerte
1970-1979	Existe relación 0.0185	-0,792315, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.1718	-0,452, indicando una relación relativamente débil
1980-1989	Existe relación 0.0438	-0,636901, indicando una relación moderadamente fuerte	No existe relación 0.1573	-0,473032, indicando una relación relativamente débil
1990-1999	No existe relación 0.3748	-0,304827, indicando una relación relativamente débil	No existe relación 0.4292	-0,314202, indicando una relación relativamente débil

Tabla 15. Análisis de regresión lineal por décadas y periodo completo de los observatorios del Grupo 3.

En Pachuca, que de acuerdo a las anomalías, presentaba un incremento, con la regresión lineal de todo el periodo se encontró que éste es relativamente débil, además, también se presentan décadas con decrementos de temperatura, lo cual indica que el aparente incremento es parte de la oscilación natural.

El observatorio de Tepic muestra un comportamiento semejante al de Pachuca. En Toluca se presentan dos periodos muy distintos, el primero corresponde a las décadas de los años 50 y 60 en que las anomalías de las temperaturas mínimas se presentaban muy elevadas, la segunda etapa a partir de los 70 en que las temperaturas fueron más bajas, como ya se mencionó, esto se debe al cambio de domicilio del observatorio.

En Toluca, las dos últimas décadas presentan relaciones al decremento lo mismo que la estación de Atotonilco.

Temperatura máxima. Se observa un comportamiento oscilatorio a lo largo de la serie en los observatorios y en las estaciones.

Pachuca, en la Figura 32 a, se muestra que el comportamiento es oscilatorio lo mismo que en Ixmiquilpan, pero en esta última las oscilaciones presentan valores mayores.

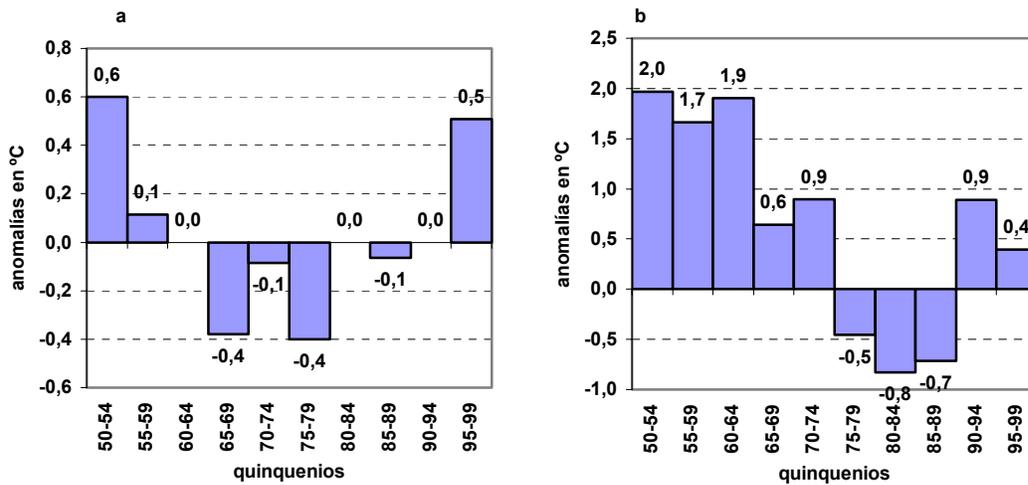


Figura 32. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Pachuca b Ixmiquilpan.

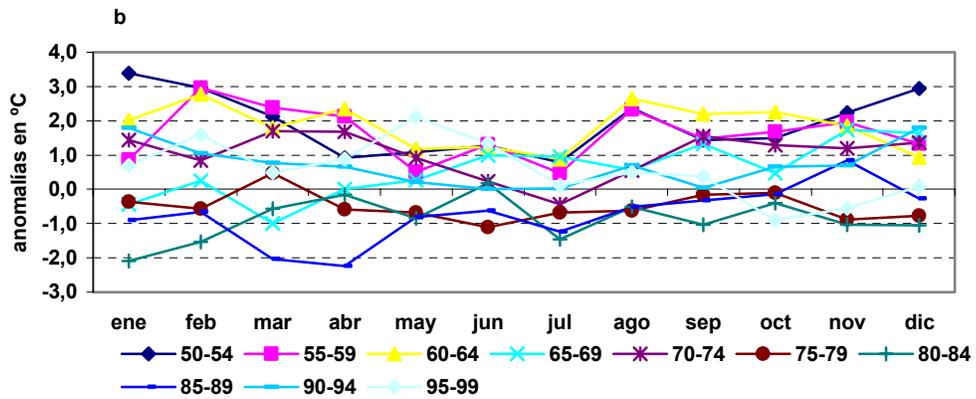
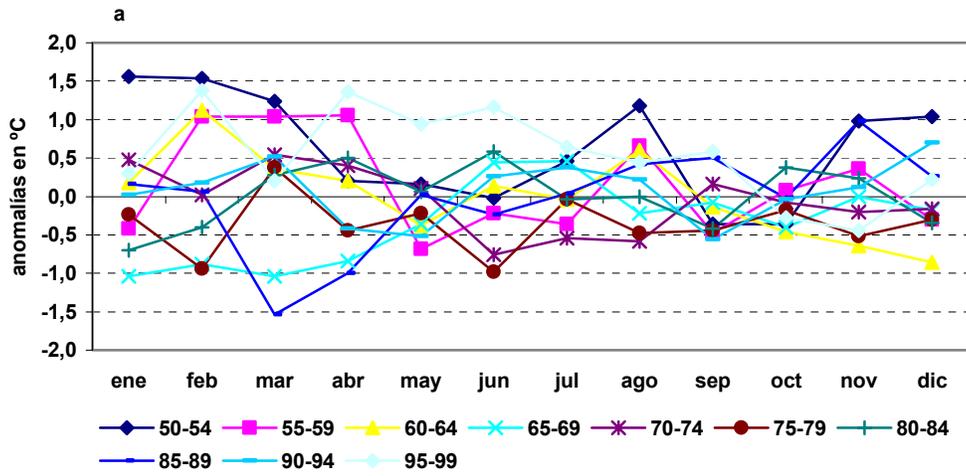


Figura 33. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Pachuca b Ixmiquilpan.

En Tepic, la última década muestra anomalías positivas mientras que en Ahuacatlán se observa un comportamiento contrario.

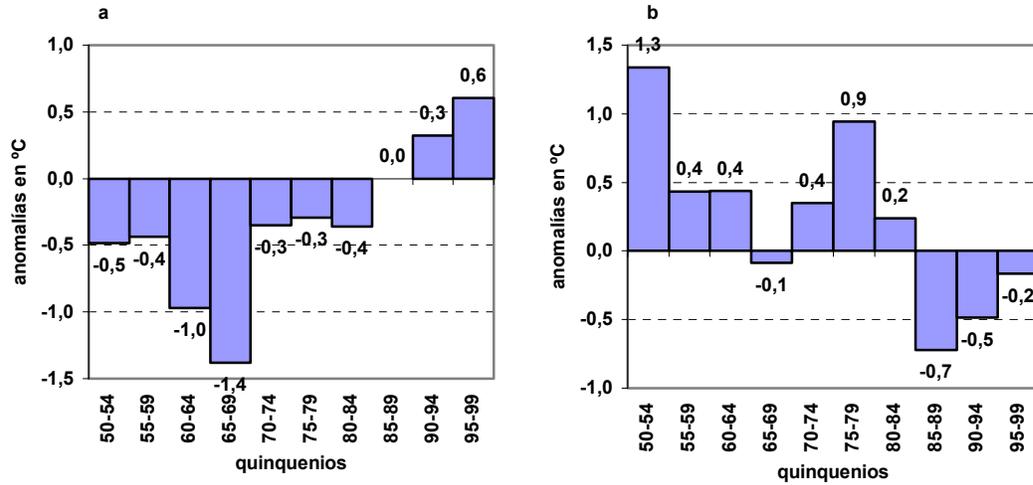


Figura 34. Anomalías de temperaturas Máximas por quinquenio a Tepic b Ahuacatlán.

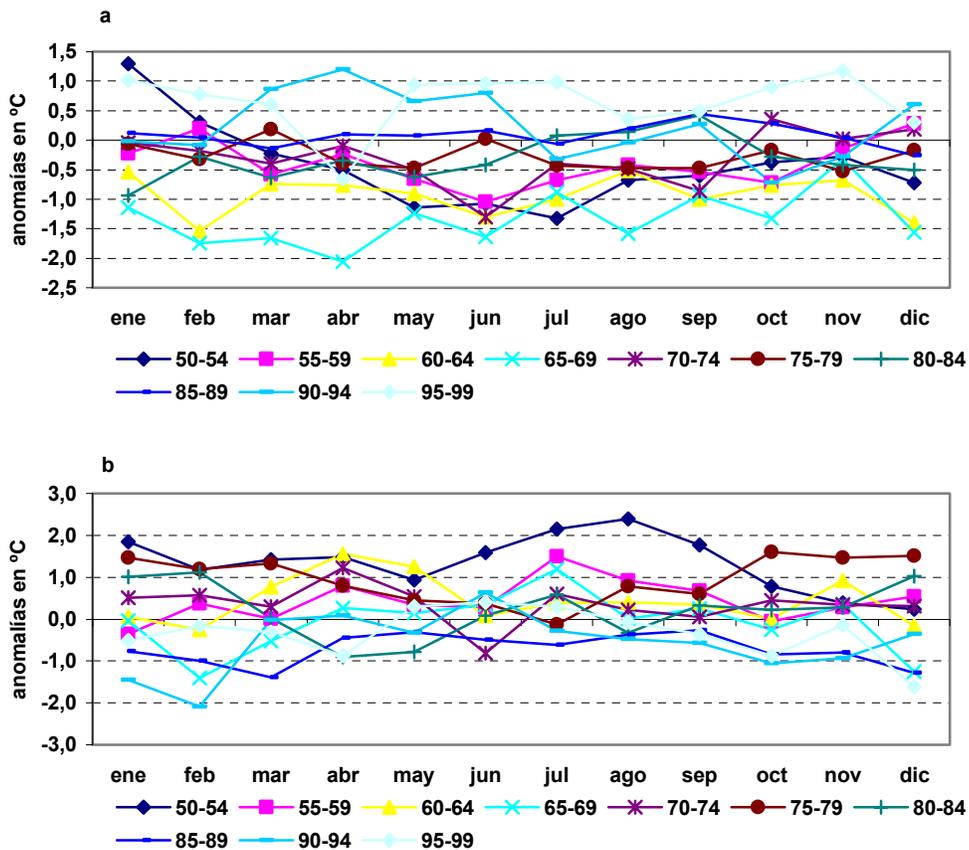
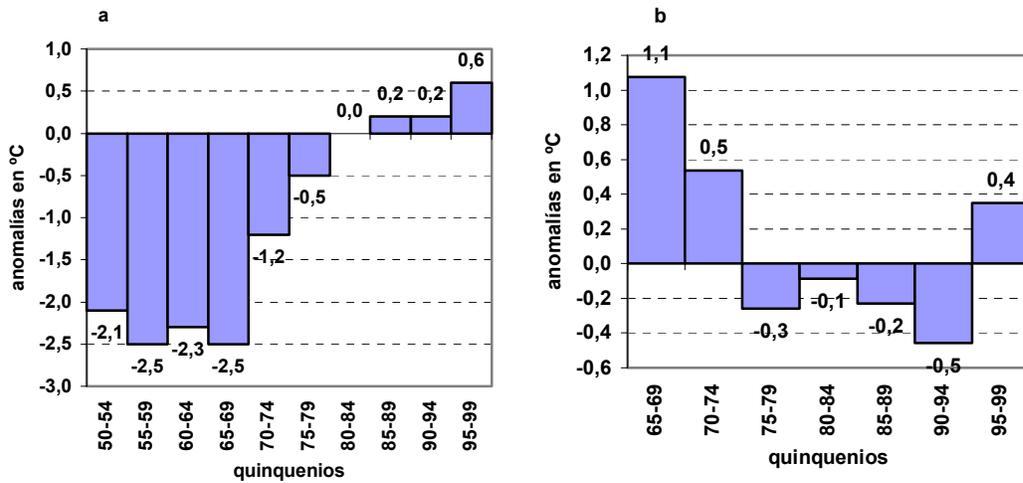
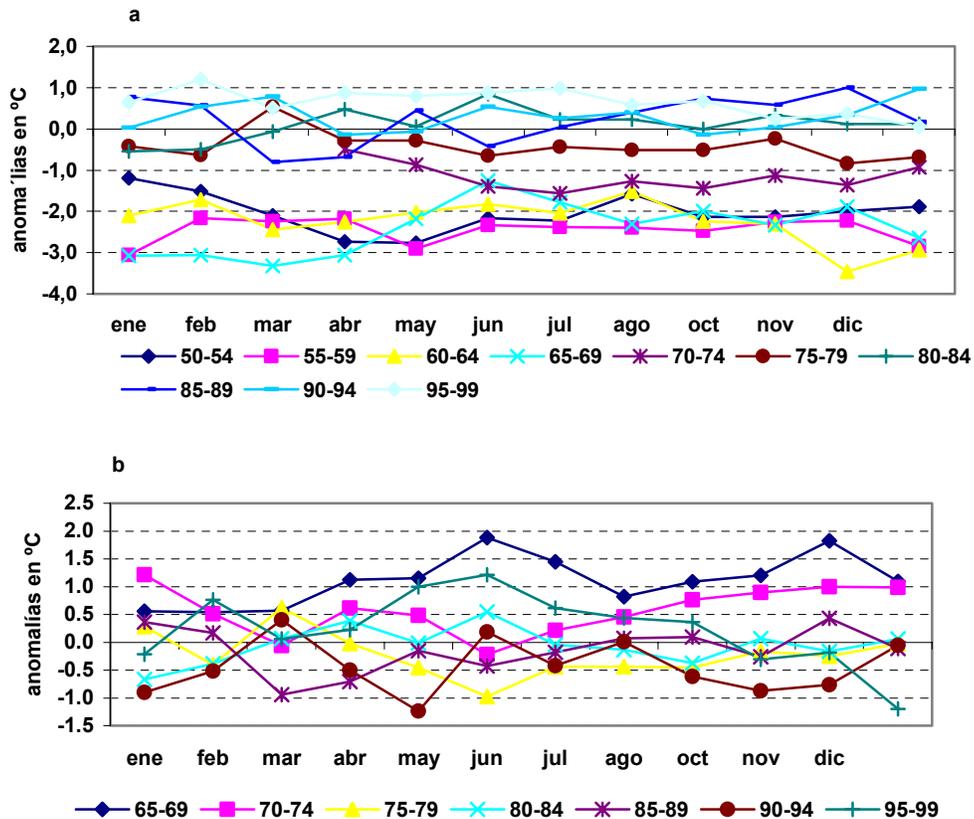


Figura 35. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Tepic b Ahuacatlán.

En Toluca se observa que desde la década de los años 70 las anomalías fueron mayores, pero como ya se dijo, estas diferencias a lo largo de la serie en el comportamiento de la temperatura están dadas por el cambio de domicilio. En Atotonilco (Figura 36 b), se presenta un comportamiento oscilatorio.



Gráfica 36. Anomalías de temperaturas máximas por quinquenio a Toluca b Atotonilco.



Gráfica 37. Anomalías de temperaturas máximas por mes y por quinquenio a Toluca b Atotonilco.

Rango de temperatura. Se obtuvo en este grupo lo siguiente:

Observatorio Estación rural	Rango de temperatura máxima-mínima en °C por quinquenio		Población		Clasificación de acuerdo a la cantidad de población*	
	1950- 1954	1995- 1999	1950	2000	1950	2000
Pachuca	1.5	0.4	58 658	231 602	mediana	mediana
Ixmiquilpan	2.3	0				
Tepic	0.2	0.2	24 595	265 817	chica	mediana
Ahuacatlán	0.5	1.9				
Toluca	5.1	0.8	52 983	435 125	mediana	mediana
Atotonilco A. de Juárez	0.9 (65- 69)	0.3				

Tabla 16. Rango de temperatura de los observatorios del Grupo 3.

En Pachuca se tiene un decremento en el rango de 1.1°C y en Tepic se mantiene igual; con estos resultados y la regresión lineal se puede suponer que estas ciudades no se ven afectadas por el crecimiento poblacional que han tenido. En Toluca el rango es de 4.3°C, pero como ya se mencionó esto se debe a la oscilación natural y la segunda al cambio de domicilio.

Conclusiones

Jáuregui y Luyando (1992) mencionan que las temperaturas registradas en los observatorios muestran un incremento causado por el crecimiento urbano de las ciudades donde están ubicados; sumado a esto, se tiene que en México el crecimiento demográfico ha sido una constante durante la segunda mitad del Siglo XX y de acuerdo con el análisis de los resultados se concluye lo siguiente:

- El comportamiento de la temperatura máxima y mínima es distinto en todos los observatorios analizados. Estos diferentes comportamientos resultan de la interacción entre la naturaleza de la oscilación del clima, a las particularidades geográficas de cada lugar como la orografía, los vientos, etc, y la actividad humana.
- Las temperaturas máximas registradas en los observatorios no se vieron tan afectadas como las mínimas; sólo mostraron incremento en los observatorios de las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, que son las tres ciudades más grandes y que tienen más de dos millones de habitantes.
- El análisis de regresión lineal muestra que, al considerar todo el periodo de estudio, algunas ciudades, incluso algunas clasificadas como medias, pueden mostrar incrementos de la temperatura mínima, sin embargo, con el análisis a nivel decadal, se obtuvo que aún en observatorios ubicados en ciudades como Guadalajara o Puebla que tienen más de 2 000 000 de habitantes, se observa una oscilación de la temperatura mínima en las décadas de los años 50 y 60.
- Sólo en los observatorios localizados en las ciudades clasificadas como millonarias: Guadalajara, Monterrey y Puebla, presentan un incremento de la temperatura mínima principalmente a partir de la década de los años 70 principalmente, periodo en que se convirtieron en ciudades millonarias. En la Ciudad de México, que en todo el periodo ha sido una ciudad millonaria y

posteriormente se convirtió en megaciudad, el incremento de temperatura muestra mayores valores de significancia que en las anteriores.

- El crecimiento poblacional afecta principalmente los registros de las temperaturas mínimas de la mitad fría del año en el observatorio de la ciudad de México (Tacubaya), corrobora lo planteado en la hipótesis, los meses de la mitad fría del año (octubre-marzo) son los que muestran mayores incrementos. En verano, el incremento se presenta con un valor de significancia menor que en el invierno. En los demás observatorios del grupo 1 no se establece el mismo patrón, pues los coeficientes de correlación indican relaciones relativamente débiles. La posible causa es que aún no tienen la cantidad de habitantes que presenta la Ciudad de México.
- El rango de temperatura de los observatorios del Grupo 1 va disminuyendo con el tiempo, esto quiere decir que en las ciudades, las temperaturas son cada vez menos extremas, esto concuerda con lo que menciona Easterling et al (1997), en el sentido de que se espera que en las ciudades, este rango disminuya con el tiempo, lo cual afecta la biodiversidad de cada lugar.
- Las temperaturas registradas en observatorios ubicados en ciudades inferiores a 1 000 000 de habitantes no se ven afectadas por el crecimiento poblacional y de acuerdo con la regresión lineal, no existe un patrón común para ellas, sólo presentan oscilaciones a lo largo de la serie de datos.
- El análisis de la temperatura mínima decadal por medio de la regresión lineal, sirve para detectar las tendencias ya sean positivas o negativas a través del periodo estudiado ó el comportamiento oscilatorio de este parámetro.
- El efecto de urbanización es capaz de modificar las anomalías de las temperaturas de los observatorios ubicados en las grandes ciudades del país. Sin embargo, como menciona Jones et al (1990), la urbanización puede alterar

los registros de las temperaturas pero no existe una relación lineal entre el ritmo de crecimiento de la ciudad y la intensidad del incremento de las temperaturas.

- Utilizar periodos quinquenales resulta conveniente ya que así se observa el comportamiento de la variable en periodos cortos, esto ayuda a detectar si el comportamiento es oscilatorio o existen tendencias, además de suavizar los datos extremos que pudieron haber ocurrido.
- El análisis de los datos a nivel estacional (mitad cálida y fría del año) de las temperaturas mínimas y del rango de temperatura, representan una aportación al campo de la climatología urbana en México

El presente trabajo no pretende concluir con una contradicción al planteamiento acerca del calentamiento global, sin embargo, los resultados obtenidos resaltan la importancia de considerar el crecimiento urbano de los sitios donde se ubican los observatorios, como un elemento que puede afectar las temperaturas a nivel local (en algunas de las grandes ciudades); y cualquiera que haga referencia al cambio climático global, antes de emitir un juicio, debe analizar si el sitio en estudio es o no afectado por el calentamiento urbano, además de no generalizar el resultado de un lugar para una región de mayor tamaño.

Recomendaciones

Ya que se pueden presentar situaciones extraordinarias como cambio de domicilio de observatorios o estaciones lo que produce diferencias en los registros en periodos cortos de tiempo (como el caso del observatorio de Toluca), ó que puedan existir errores en los registros o del instrumental de medición, se debe ser cauto en el procesamiento de la información y en la interpretación de los resultados.

Es necesario para estudios climatológicos, que tanto observatorios como estaciones cuenten con largos y continuos periodos de registro de información.

Es de vital importancia que no se suspenda el funcionamiento de estaciones climatológicas.

Referencias

- Barry, R. G, Chorley R. J., 1985. *Atmósfera tiempo y clima*. 4ª ed. Ediciones Omega. Barcelona España. 395 pp.
- Bautista L.H.M. 2007. Algunas bases de datos climáticos de estaciones climatológicas para México. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM
- Bustos, T.G., 1981. Tendencias climáticas en la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. Tesis de maestría. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM
- Case, C. E., Bergsmark D.R. 1965. *Geografía general, regional y económica*. Ediciones Omega. Barcelona España. 880 pp.
- Cervantes, S. O., 1999. El clima de la ciudad de México en el siglo XX. *Memorias IX Congreso Nacional de Meteorología, Variabilidad Climática en México. Universidad de Guadalajara*. 127-130.
- Contreras, C. C.1999. *El clima de la República Mexicana en el siglo XIX*. Tesis doctoral. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Comisión Nacional del Agua. Junio 1992. Sistema Nacional de Telecomunicaciones Meteorológicas. Manual de Organización.
- Comisión Nacional del Agua, julio 1998. Boletín mensual del Observatorio Meteorológico.
- D' Entremont, A., 1997. *Geografía económica*. Editorial Cátedra. Madrid, España. 567 pp.
- Easterling, D. R, Horton B, Jones P. D, Peterson T. C, Karl T. R, Parker D. E, Salinger M. J, Razuvayev V, Plummer N, Jameson P, Folland C. K., 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* **277**: 364-367.
- Englehart, P. J, Douglas A. V., 2003. Urbanization and seasonal temperature trends: observational evidence from a data-sparse part of north America. *International journal of climatology* **23**: 1-11
- García, M. E.†, 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Serie Libros núm. 6. Instituto de Geografía, UNAM.
- Garza, G., 2005. *La urbanización de México en el Siglo XX*. Colegio de México. Centro de estudios demográficos y de desarrollo urbano. 208 pp.
- Gil, O., Olcina C. J., 1999. *Climatología básica*. Ed. Ariel S.A. Barcelona. 572 pp

- Gómez, M. L., Sánchez H. B., 2004. Tendencias de las variables meteorológicas del observatorio del Colegio de Geografía. *Ciclo de conferencias del día meteorológico mundial*, 21 de marzo 2004.
- Gómez, R. J., Márquez J., 1994. *Geografía general*. Publicaciones culturales. México. 248 pp.
- Hernández, M. P. noviembre 1999. El cambio climático bajo el nuevo orden internacional. *Memorias del IX congreso nacional de meteorología, variabilidad climática de México universidad de Guadalajara*. 42-44.
- INEGI 2001. *Indicadores sociodemográficos de México 1930-200*.
- INEGI 1994. *Estadísticas históricas de México*, tomo II.
- INEGI 2004. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México*. SEDESOL, CONAPO, INEGI.
- Jáuregui, O. E., 1990. Tropical urban climatology and the truce Project. *World Meteorological Organization (WMO). World Climate Programme. Urban climatology in África*. Vol 5 num 1 y 2.
- Jáuregui, O. E., Luyando E., 1992. Patrones de flujo de aire superficial y su relación con el transporte de contaminantes en el Valle de México. *Investigaciones Geográficas* **24**. 51-78
- Jáuregui, O. E., 1993. La isla de calor urbano de la Ciudad de México a finales del siglo XIX. *Investigaciones Geográficas*. **26**: 31-39
- Jáuregui, O. E., 1995. Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización. *Investigaciones Geográficas*. **31**. 9-44
- Jáuregui, O. E., 2000. *El clima de la Ciudad de México*. Instituto de Geografía. UNAM. 131 pp
- Jáuregui, O. E., 2004. Impact of land use changes on the climate of the Mexico City region. *Investigaciones Geográficas*. **55**. 46-60
- Jáuregui, O. E., 2005. Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmosfera* **18(4)**: 249-252
- Jones, P. D., Groisman P. Ya, Coughlan M., Plummer N., Wang W. C., Karl T. R., 1990 Assessment of urbanization effects in times series of surface air temperature over land. *Nature* **347**. 169-172.
- Karl, T. R., Jones F. D., 1989 Urban bias in area averaged surface air temperature trends. *Bulletin of the American Meteorological Society* **70**. 265-270

- Kukla, G., Gavin J., Karl T. R., 1986 Urban warming. *Journal of Climate Appl. Meteor.* **25**. 1265-1270.
- Landsberg, H. E., 1981. *The Urban Climate*. Academic Press: New York. 275 pp.
- Magaña, R.V., Pérez J.L. 1994-1995. Variabilidad climática regional en México. Memorias del VII Congreso Nacional de Meteorología.
- Moreno, G. M. C., 1999. *Climatología urbana*. Ediciones de la Universidad de Barcelona. 1ª Ed. 67 pp.
- Oke, T.R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 108. No. 455. 1-24
- Olsson, L. E., 1990. Activities in urban and building climatology. *World Meteorological Organization (WMO). World Climate Programme. Urban climatology in África*. Vol 5 num 1 y 2.
- OMM, 1980. No. 540. Plan General y bases del Programa Mundial Sobre el Clima 1980-1983. 68 pp.
- OMM. 1990. No. 100. Instrumentos y métodos de observación.
- OMM Julio 1993. Apuntes para la formación de personal meteorológico clase III.
- OMM 1996. No. 8. Guía de instrumentos meteorológicos y métodos de observación. Sexta edición.
- Rosengaus, M.M. 1994-1995. Una propuesta para el manejo eficiente de la información climatológica en México. Memorias del VII Congreso Nacional de Meteorología.
- Schneider, S. H., 1996. *Enciclopedia of climate and weather*. New York Oxford University Press. 926pp
- Tereshchenko, I. E, Filinov A. E., 2001. Air temperature fluctuations in Guadalajara, México, from 1926 to 1994 in relation to urban growth. *International journal of climatology*. **21**: 483-494.
- Türkes, M., Sümer U. M, Demir I., 2002 Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999. *International Journal of Climatology* **22**: 947-977.
- Villalvazo, P. P, Corona J. P., García M. S., 2002. Urbano-rural, constante búsqueda de fronteras conceptuales. *Revista de información y análisis*. núm. 20.

www.inegi.gob.mx
www.conapo.gob.mx
<http://smn.cna.gob.mx>

ANEXO 1. Anomalías de temperatura mínima por quinquenio de los observatorios del grupo 1.

Guadalajara

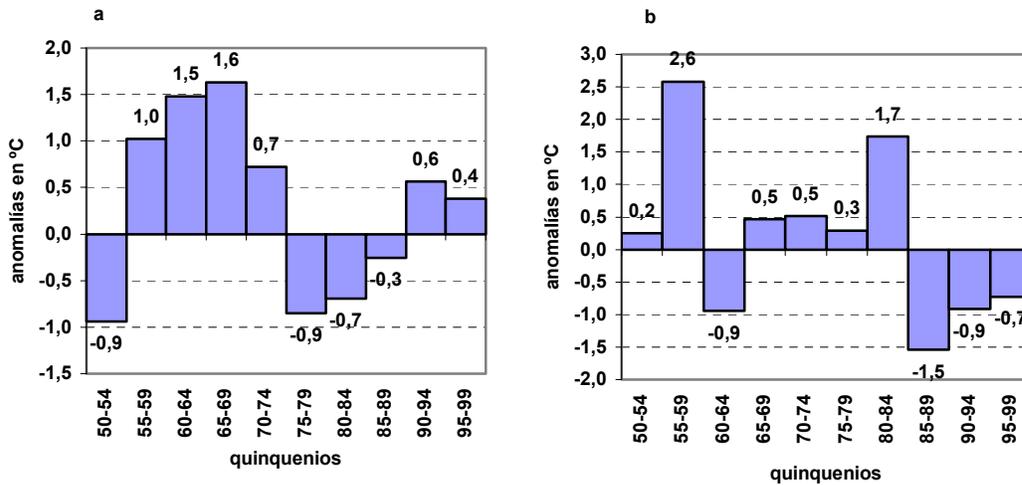


Figura 38. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Guadalajara b Coquio.

México D.F. (Tacubaya)

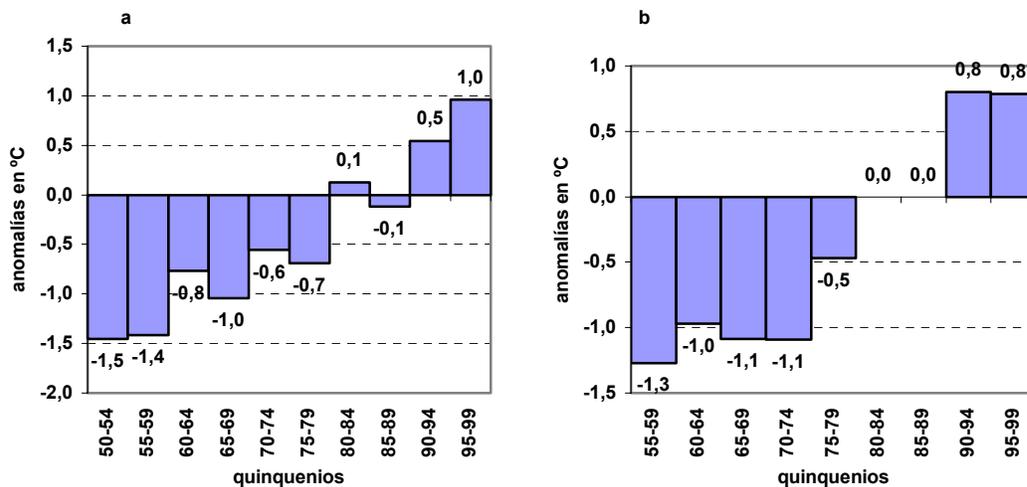


Figura 39. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Tacubaya b Chapingo.

Monterrey

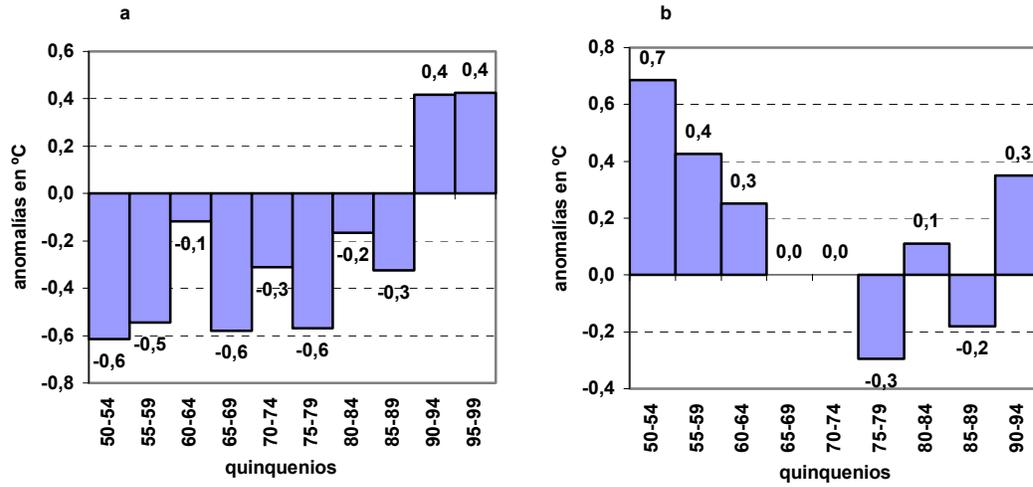


Figura 40. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Monterrey b El Cuchillo.

Puebla

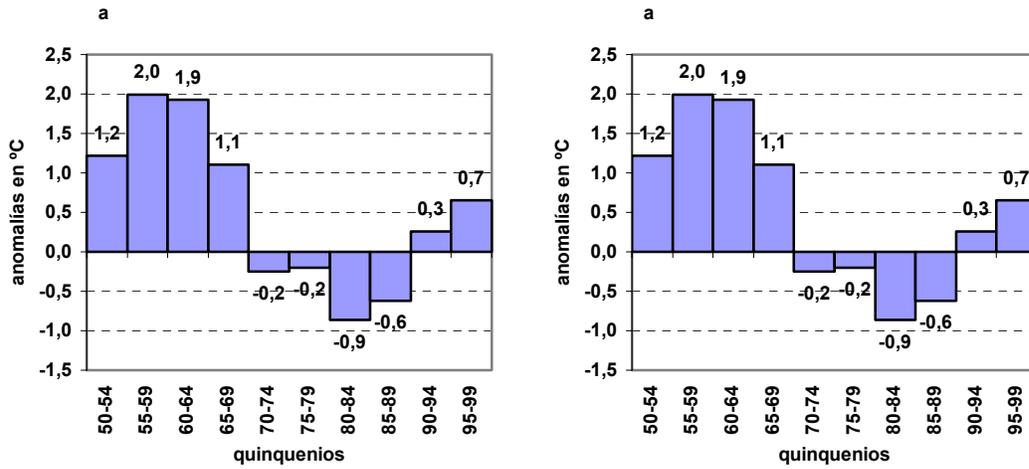
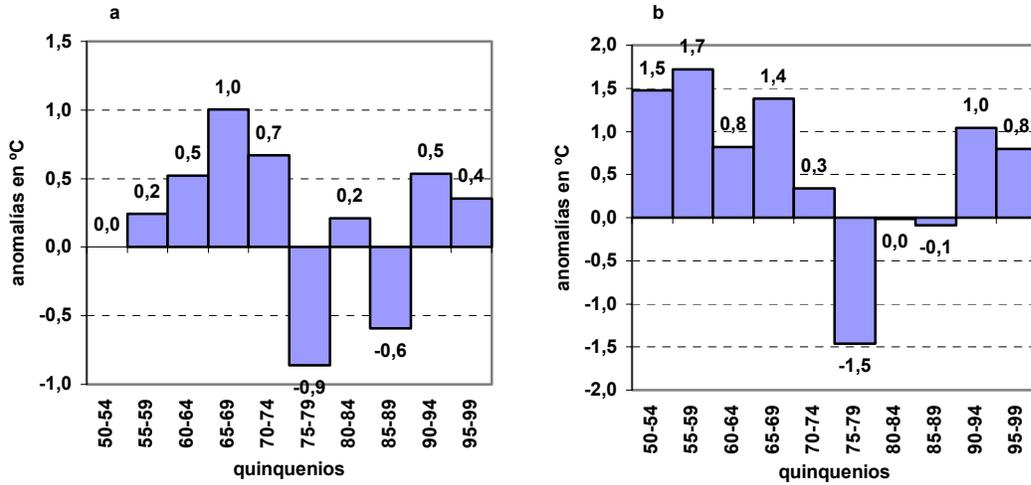


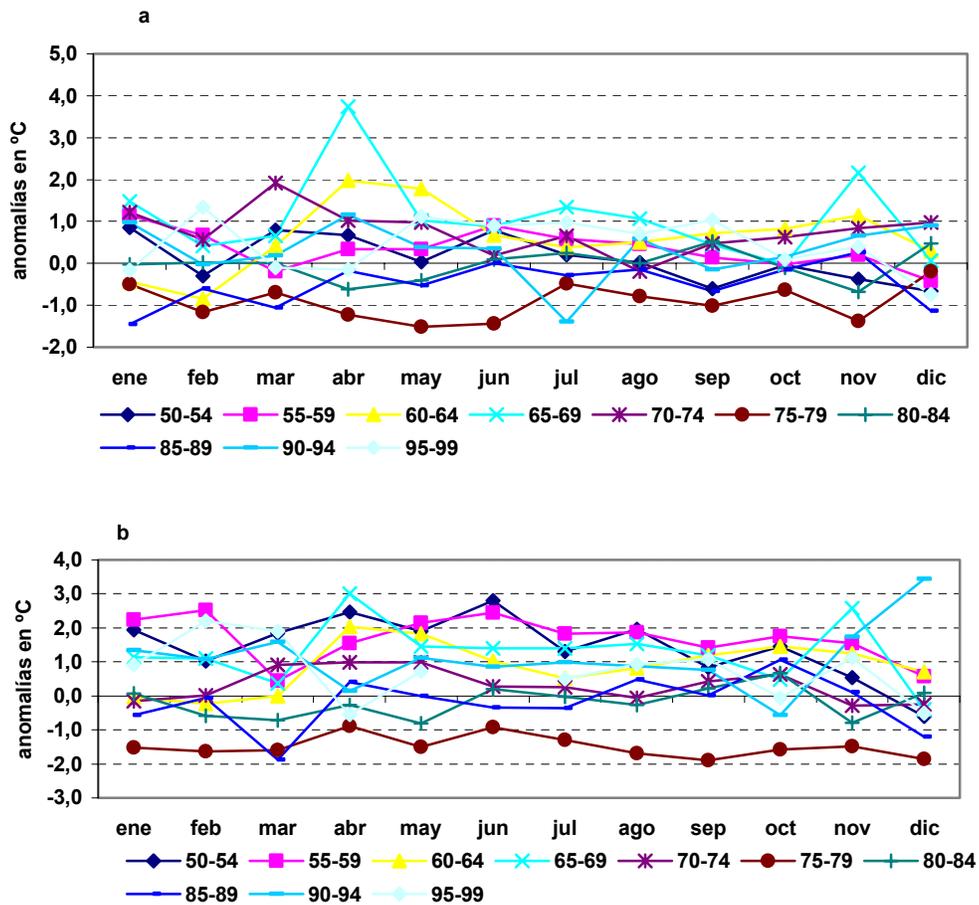
Figura 41. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Puebla b Acatzingo.

ANEXO 2. Anomalías de temperatura mínima por quinquenio y mes-quinquenio de los observatorios del grupo 2.

Chihuahua



Gráfica 42. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Chihuahua b Las Burras.



Gráfica 43. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Chihuahua b Las Burras.

Hermosillo

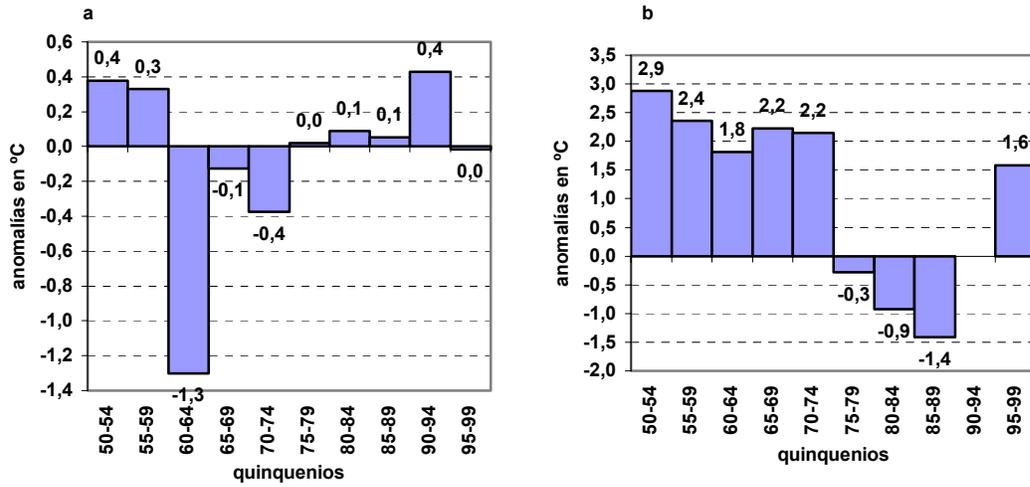


Figura 44. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio. a Hermosillo b El orégano.

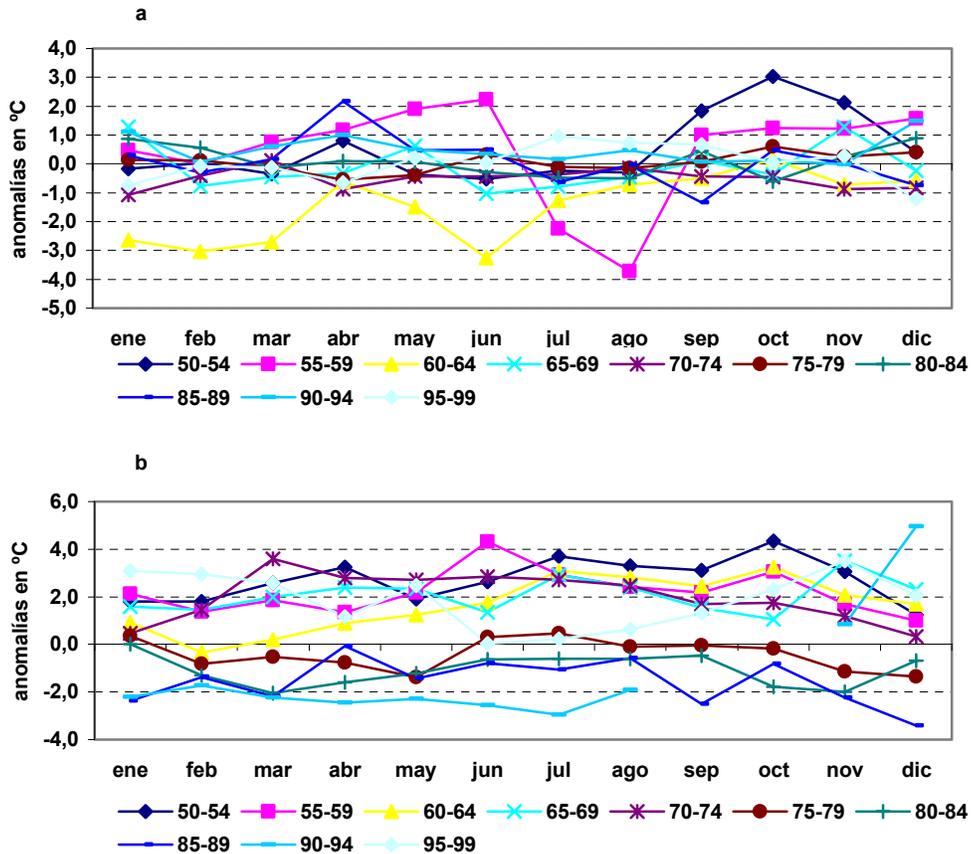


Figura 45. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio. a Hermosillo b El orégano.

Mérida

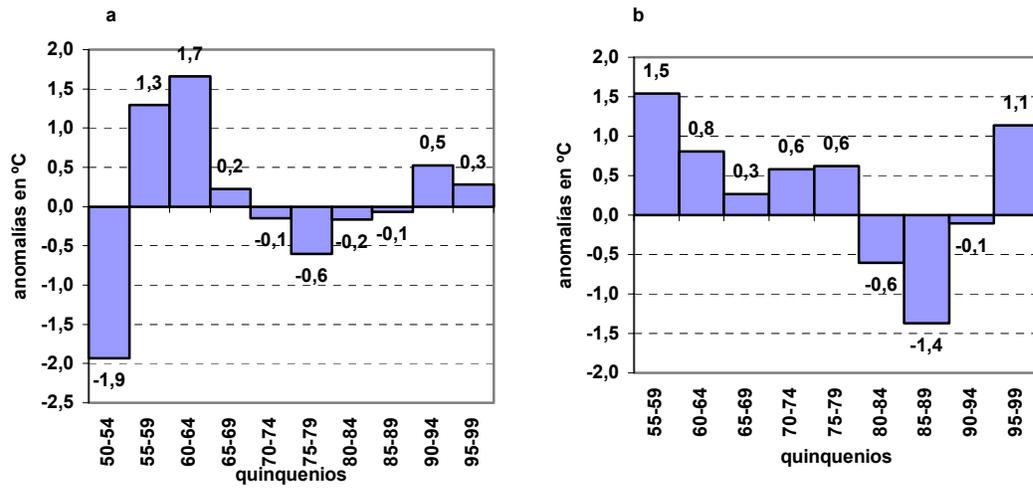


Figura 46. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio. a Mérida b Telchaquillo.

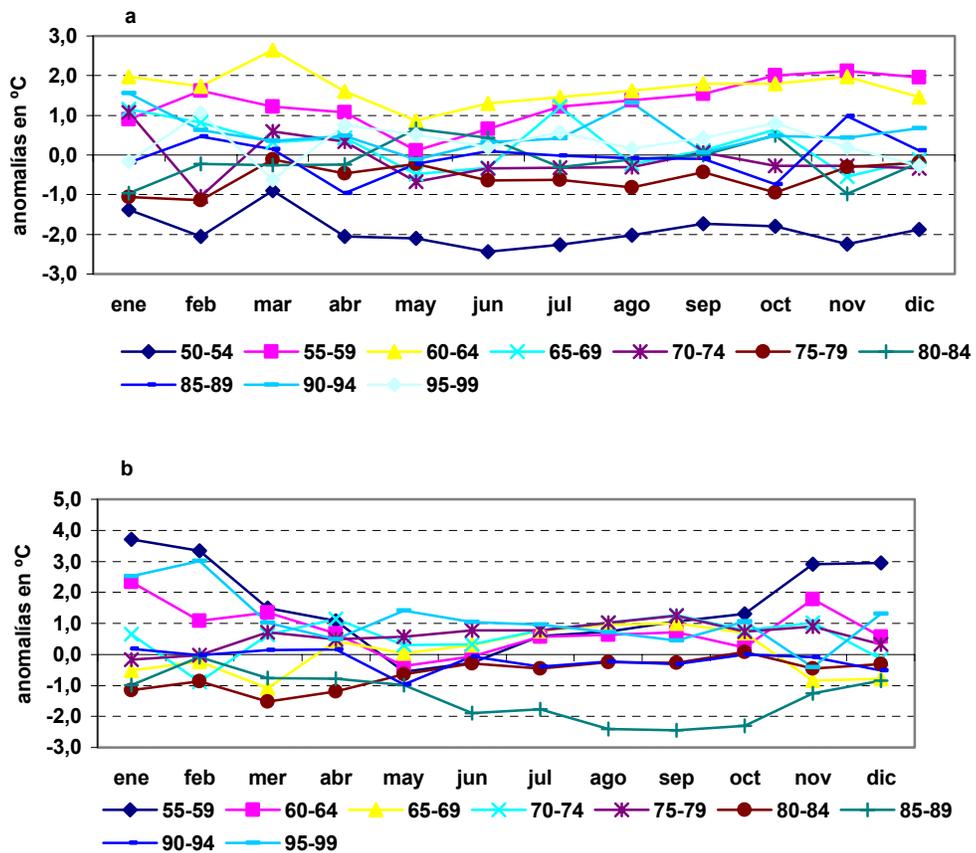


Figura 47. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio. a Mérida b Telchaquillo.

Morelia

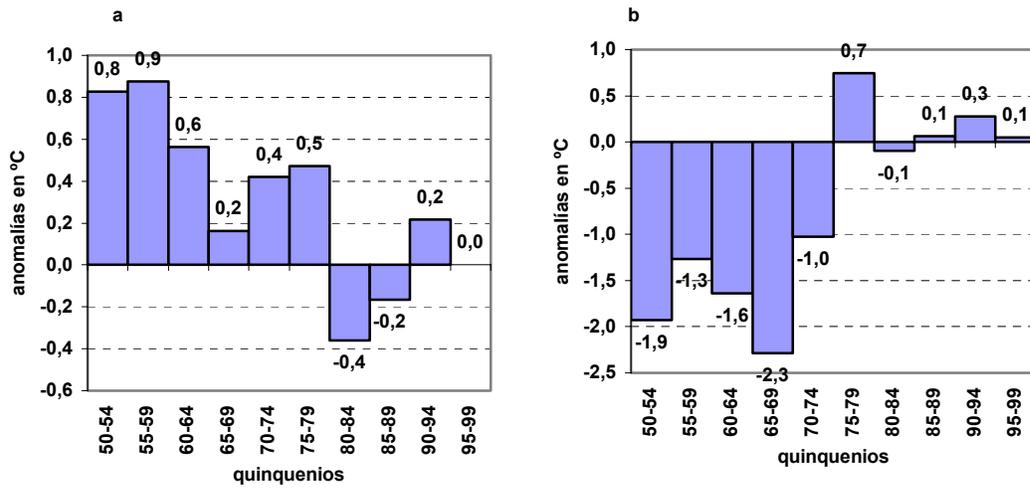


Figura 48. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio. a Morelia b Cuitzeo.

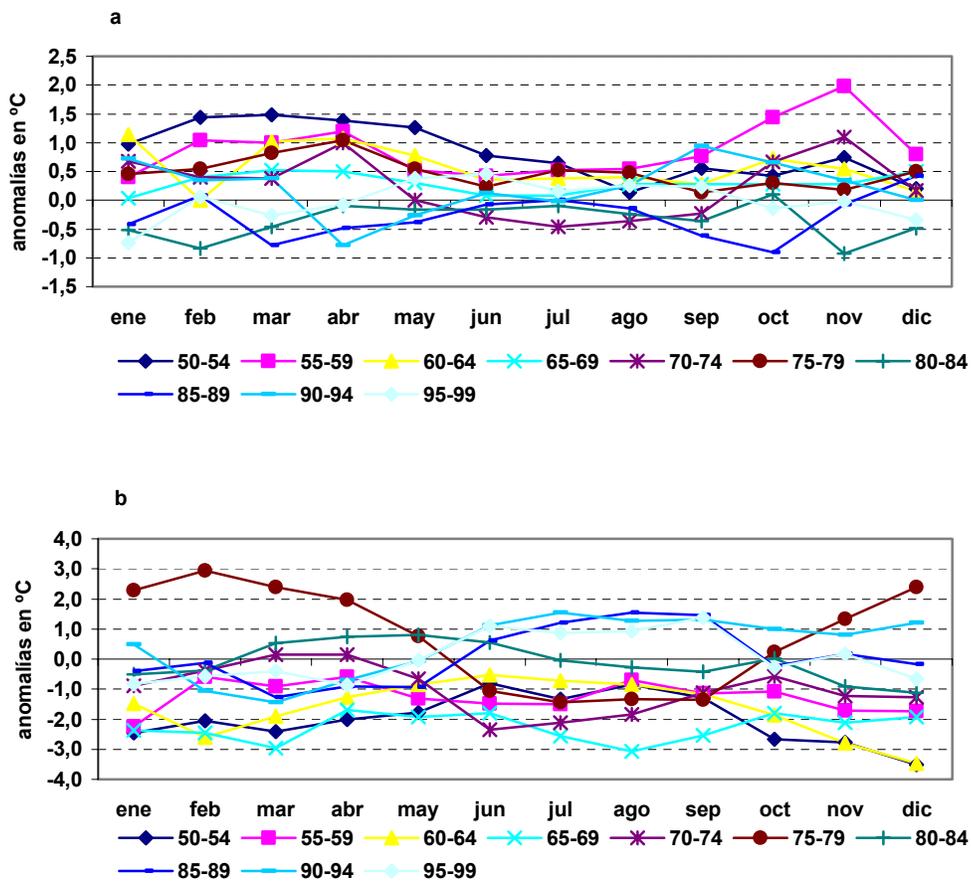


Figura 49. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio. a Morelia b Cuitzeo.

Saltillo

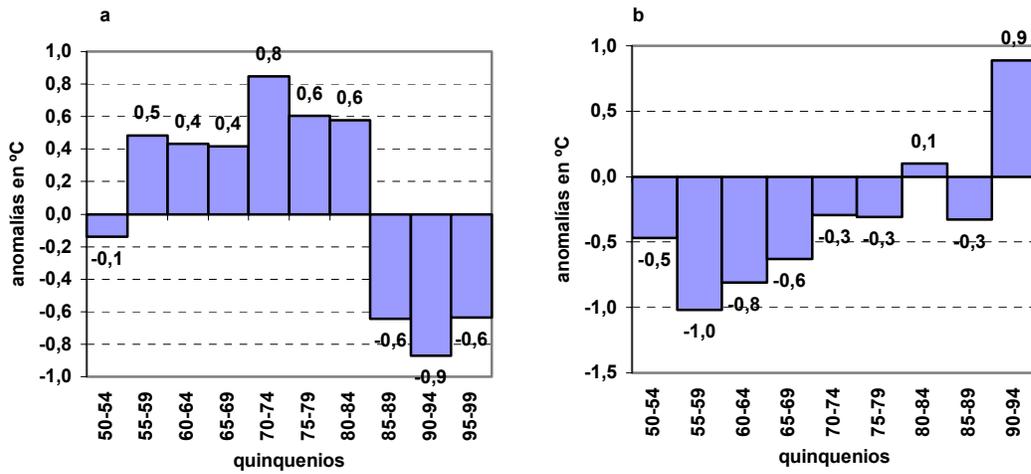


Figura 50. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio. a Saltillo b Ramos Arizpe.

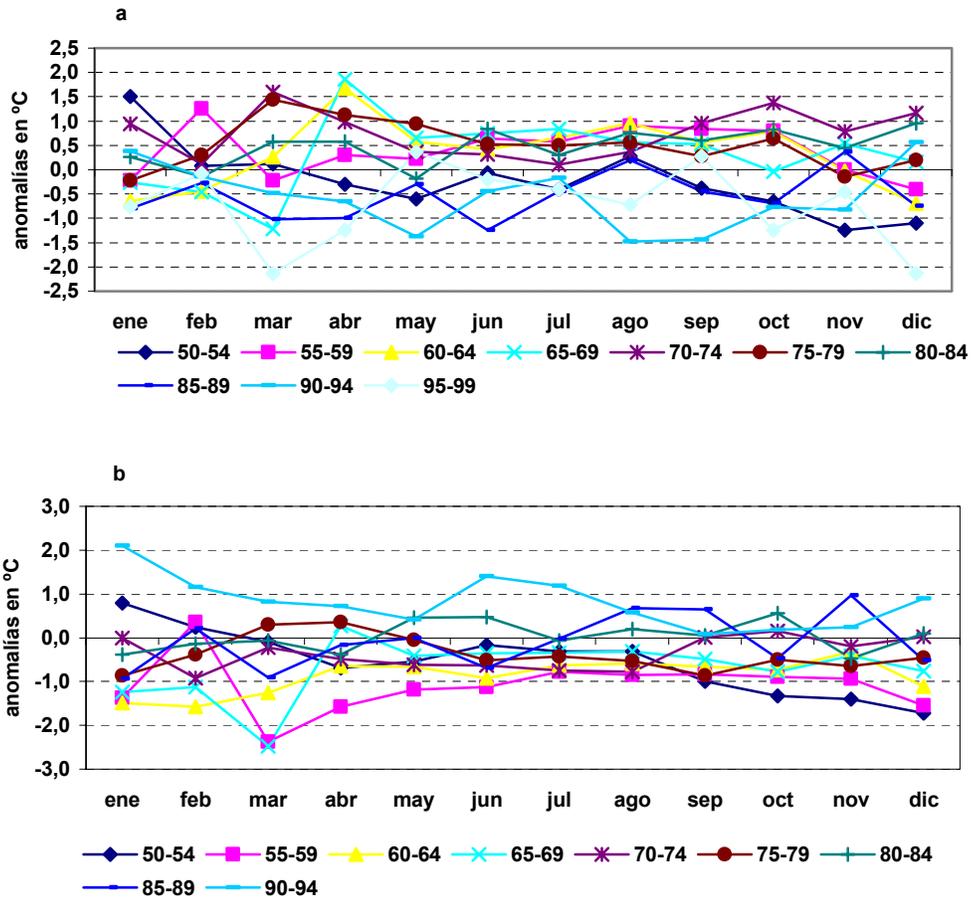


Figura 51. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio. a Saltillo b Ramos Arizpe.

Torreón

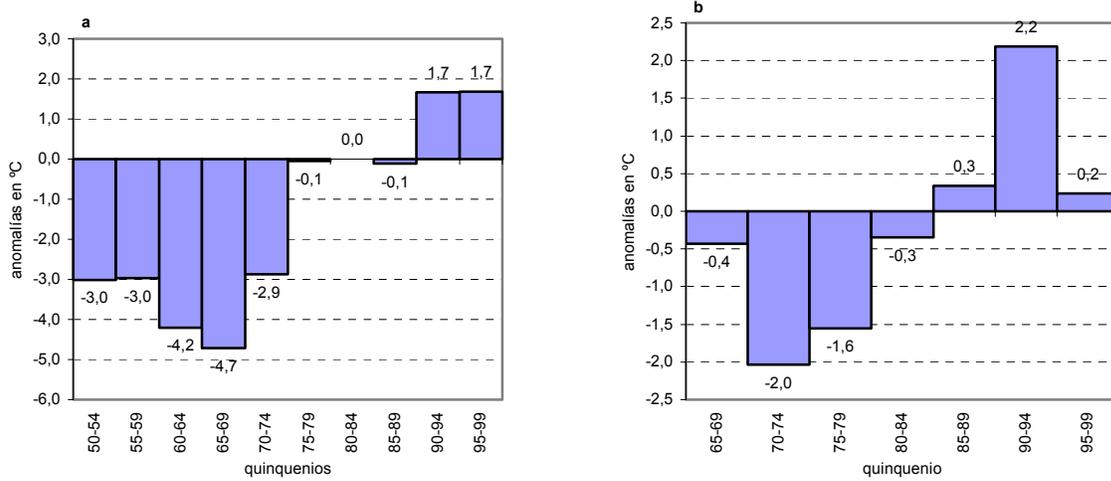


Figura 52. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Torreón b Presa Cuije Matamoros.

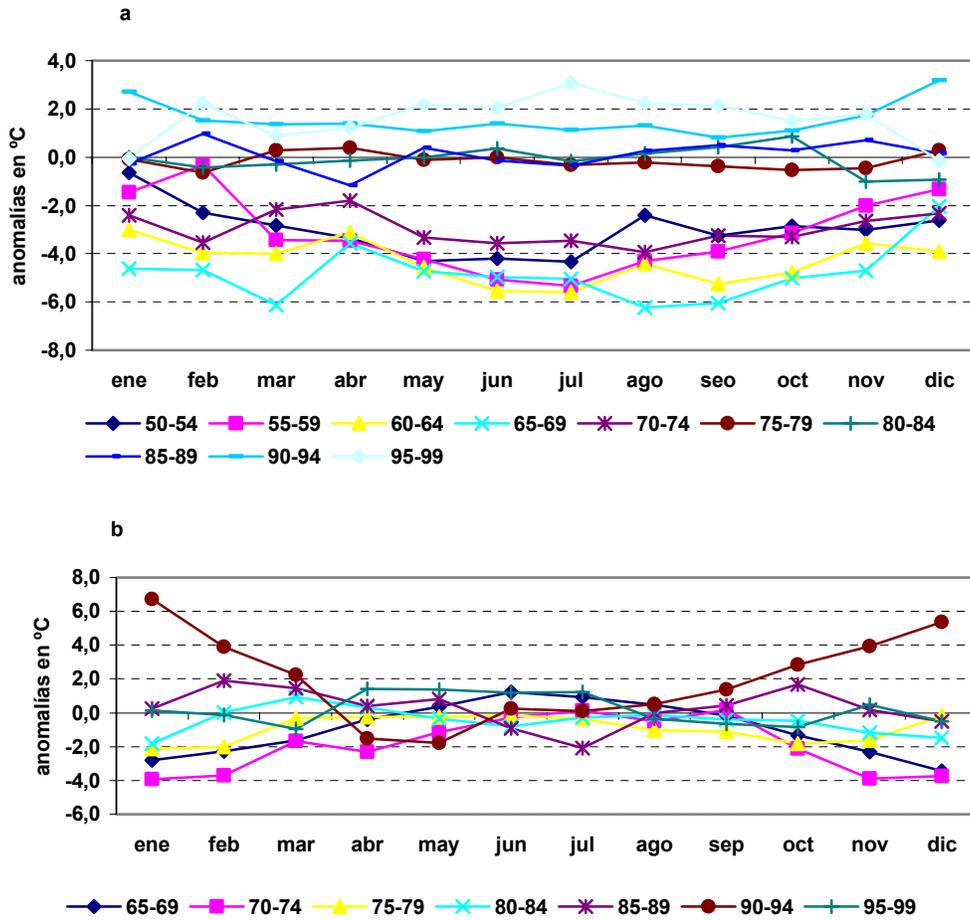


Figura 53. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Torreón b Presa Cuije Matamoros.

ANEXO 3. Anomalías de temperatura mínima por quinquenio y mes-quinquenio de los observatorios del grupo 3.

Pachuca

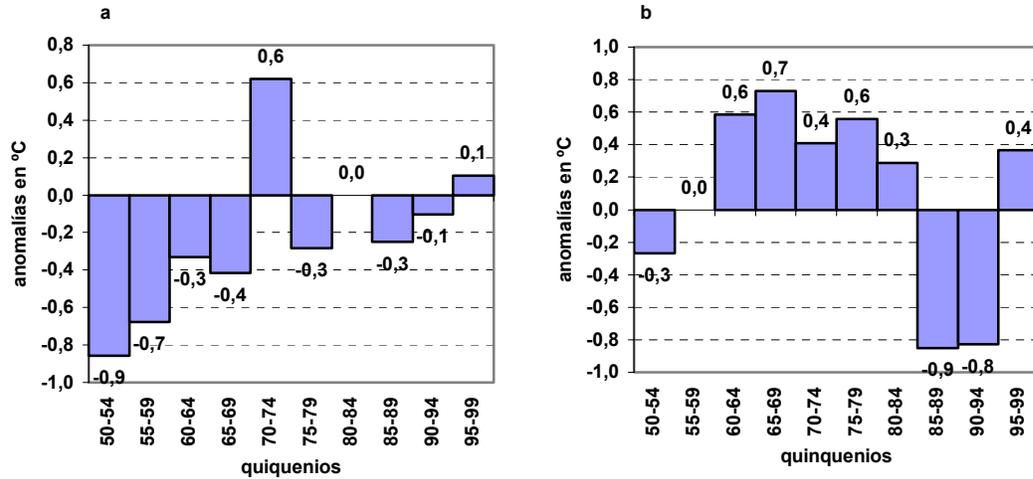


Figura 54. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Pachuca b Ixmiquilpan.

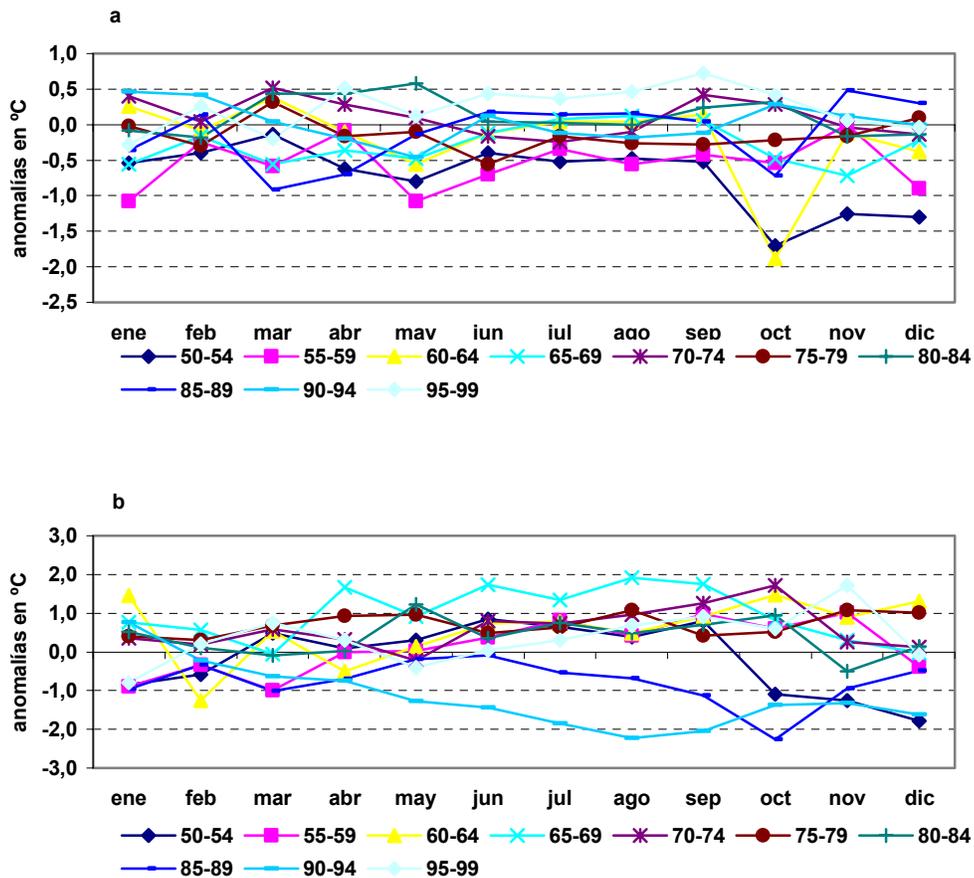


Figura 55. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Pachuca b Ixmiquilpan.

Tepic

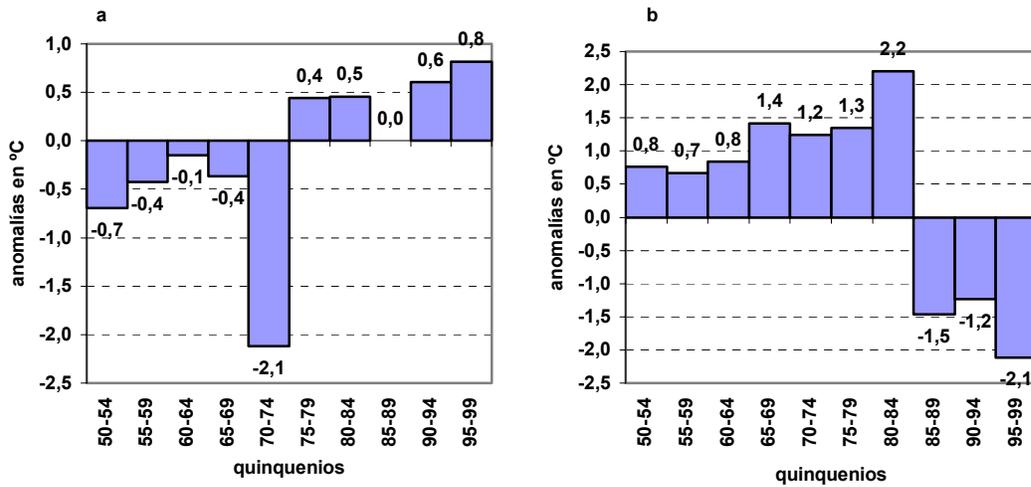


Figura 56. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Tepic b Ahuacatlán.

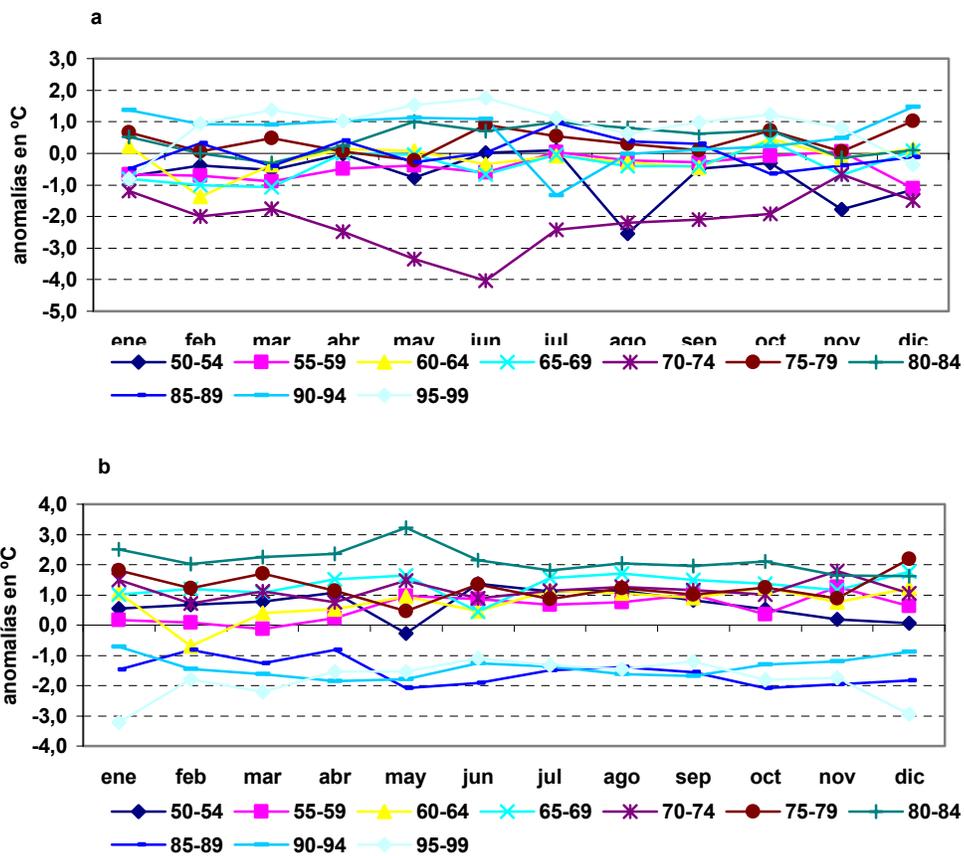
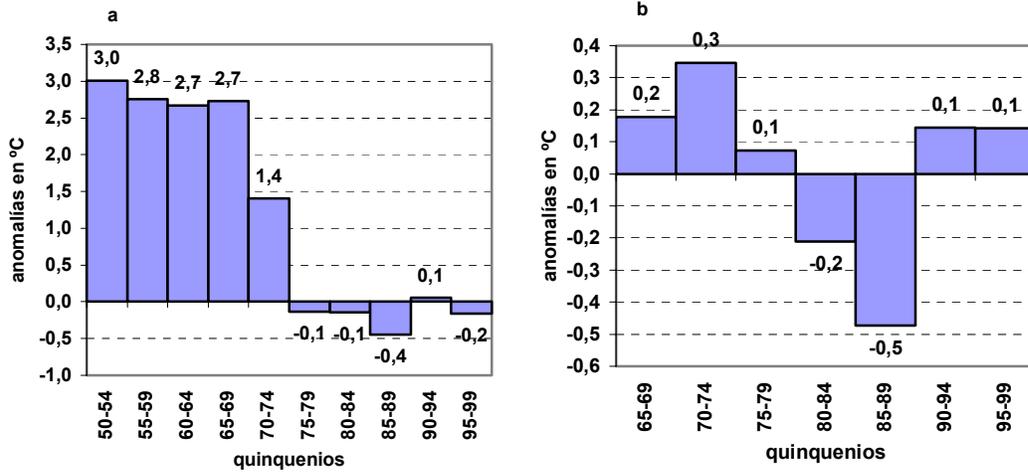
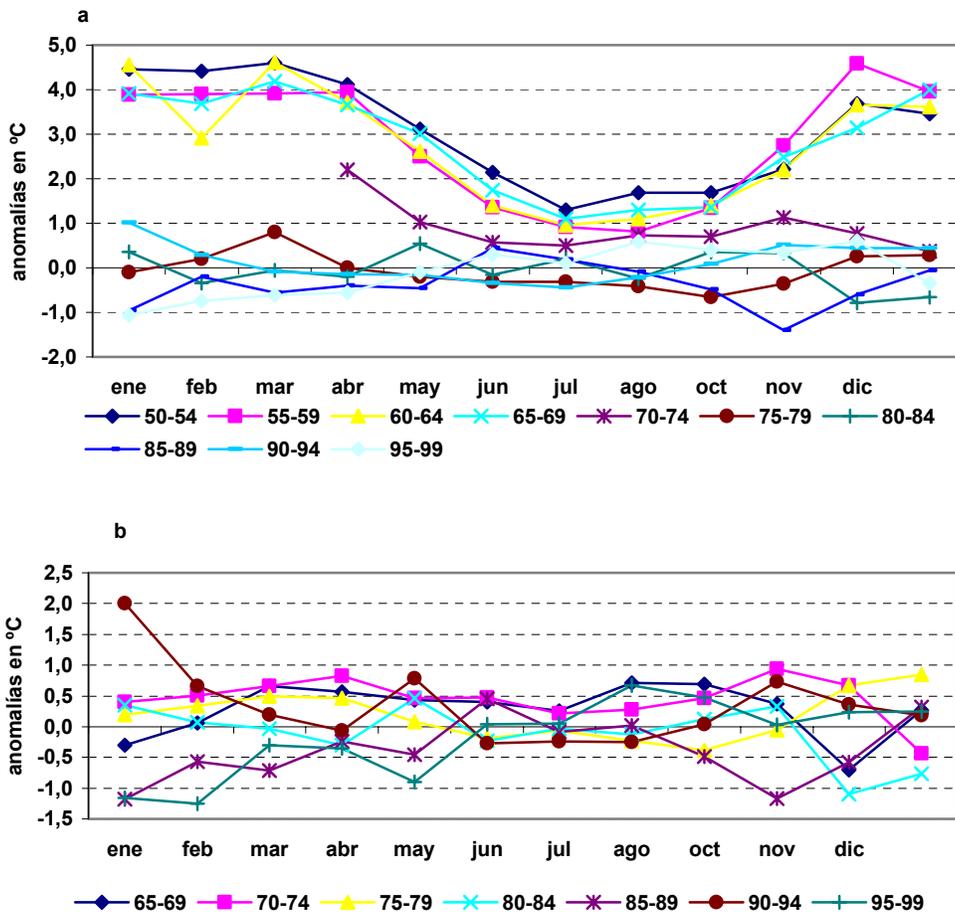


Figura 57. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Tepic b Ahuacatlán.

Toluca



Gráfica 58. Anomalías de temperaturas mínimas por quinquenio a Toluca b Atotonilco.



Gráfica 59. Anomalías de temperaturas mínimas por mes y por quinquenio a Toluca b Atotonilco.