

Planeación, gobernanza y sustentabilidad

Retos y desafíos desde el enfoque territorial

Carlos Alberto Pérez-Ramírez
Juan Roberto Calderón-Maya
(coordinadores)



Universidad Autónoma
del Estado de México



Edición financiada por el Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa PFCE-2016 proyecto K03131010

Planeación, gobernanza y sustentabilidad : retos y desafíos desde el enfoque territorial / Carlos Alberto Pérez-Ramírez y Juan Roberto Calderón-Maya, coordinadores. - - México : Universidad Autónoma del Estado de México : Juan Pablos Editor, 2018

1a. edición

375 p. : ilustraciones ; 17 x 23 cm

ISBN: 978-607-422-915-8 UAEMéx

ISBN: 978-607-711-454-3 Juan Pablos Editor

T. 1. Desarrollo sustentable - México T. 2. Política ambiental - México

HC140.E5 P53

PLANEACIÓN, GOBERNANZA Y SUSTENTABILIDAD.
RETOS Y DESAFÍOS DESDE EL ENFOQUE TERRITORIAL
de Carlos Alberto Pérez-Ramírez y Juan Roberto Calderón-Maya
(coordinadores)

D.R. © 2018, Carlos Alberto Pérez-Ramírez y Juan Roberto Calderón-Maya

D.R. © 2018, Universidad Autónoma del Estado de México

Instituto Literario # 100, Col. Centro
C.P. 50000, Toluca, Estado de México
Tel.: (01 722) 226 23 00
<<http://www.uaemex.mx>>

D.R. © 2018, Juan Pablos Editor, S.A.

2a. Cerrada de Belisario Domínguez 19, Col. del Carmen
Del. Coyoacán, 04100, Ciudad de México
<juanpabloseditor@gmail.com>

Fotografía de portada: Leopoldo Islas Flores

Diseño de portada: Daniel Domínguez Michael

ISBN: 978-607-422-915-8 UAEMéx

ISBN: 978-607-711-454-3 Juan Pablos Editor

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.

Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización por escrito del editor en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y en su caso de los tratados internacionales aplicables.

Impreso y hecho en México

Juan Pablos Editor es miembro de la Alianza de Editoriales Mexicanas Independientes (AEMI)

Distribución: TintaRoja <www.tintaroja.com.mx>

Índice

Presentación	11
I. DINÁMICAS Y PROCESOS DE LA PLANEACIÓN	
La planeación urbana mexicana en la coyuntura de Hábitat III <i>Juan José Gutiérrez Chaparro y Teresa Becerril Sánchez</i>	17
Urbanización neoliberal y proceso de expansión urbana en el corredor industrial del Bajío <i>Tonahtiuic Moreno Codina, Netzahualcóyotl López Flores y Mónica de la Barrera Medina</i>	33
Planteamientos teóricos para el análisis de los equipamientos de seguridad y justicia <i>Elsa Mancilla González, Pedro Leobardo Jiménez Sánchez y Francisco Javier Rosas Ferrusca</i>	57
La vivienda mínima de interés social y sus efectos sociales <i>José Juan Méndez Ramírez y Yadira Contreras Juárez</i>	69
Planeación y seguridad urbana desde lo local: Delegación San Lorenzo Tepaltitlán, Toluca <i>Graciela M. Suárez Díaz, Norma Hernández Ramírez y Teresa Becerril Sánchez</i>	93

Modificación de la estructura urbana mediante las urbanizaciones cerradas <i>Miriam Romero Valdez, Héctor Campos Alanís</i> <i>y Pedro Leobardo Jiménez Sánchez</i>	107
La gestión de residuos sólidos urbanos sustentable, una mirada al Estado de México <i>Elizabeth Díaz Cuenca, Carlos Alberto Pérez-Ramírez</i> <i>y Alejandro Rafael Alvarado Granados</i>	129

II. ENFOQUES DE GOBERNANZA E INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN

Gobernanza metropolitana: perspectiva integral para la innovación pública en Toluca, Metepec y Zinacantepec <i>Francisco Javier Rosas Ferrusca, Verónica Miranda Rosales</i> <i>y Juan Roberto Calderón Maya</i>	143
Hacia un hábitat sustentable en Toluca y Metepec <i>Verónica Miranda Rosales y Francisco Javier Rosas Ferrusca</i>	167
Gobernanza ambiental y turismo rural: escenarios de desarrollo en áreas naturales protegidas <i>Carlos Pérez-Ramírez, Elizabeth Díaz Cuenca</i> <i>y Alejandro Rafael Alvarado Granados</i>	193
La ciudad turística: desarrollo contra sustentabilidad <i>Octavio Castillo Pavón y Alberto Javier Villar Calvo</i>	211

III. COMPLEJIDAD AMBIENTAL Y SUSTENTABILIDAD

La construcción del conocimiento ambiental en México desde lo ontológico, epistemológico y metodológico <i>Edgar Hernández-Quiroz, Lilia Zizumbo-Villarreal</i> <i>y Sergio González-López</i>	233
Conservación de la biodiversidad del Área Natural Protegida Parque Hermenegildo Galeana <i>Leopoldo Islas Flores y Lilia Angélica Madrigal García</i>	255

Resiliencia agrícola: una propuesta metodológica para su análisis en el nivel local en sistemas agrícolas de maíz y papa <i>Belina García Fajardo, Carla Liliana García Celaya y Eufemio Gabino Nava Bernal</i>	277
Variabilidad de la temperatura y la precipitación en la ciudad de Toluca y su correlación con el crecimiento urbano <i>Adriana Guadalupe Guerrero Peñuelas, Ana Marcela Gómez Hinojos y Alberto Primo Salazar</i>	299
De lo ancestral a lo actual, captación y aprovechamiento de agua de lluvia <i>Ana Marcela Gómez-Hinojos y Adriana Guadalupe Guerrero-Peñuelas</i>	319
Remoción de cromo hexavalente, Cr (VI), empleando residuos de <i>Zea mays</i> <i>Eduardo Campos Medina, María del Carmen de Sales Peralta y Salvador Adame Martínez</i>	335
Sustentabilidad y complejidad urbana: análisis del área de manejo ambiental Ecozona de la Ciudad de Toluca <i>Ricardo Farfán Escalera, Erle García Estrada e Isidro Rogel Fajardo</i>	359

Variabilidad de la temperatura y la precipitación en la ciudad de Toluca y su correlación con el crecimiento urbano

*Adriana Guadalupe Guerrero Peñuelas**

*Ana Marcela Gómez Hinojos***

*Alberto Primo Salazar****

INTRODUCCIÓN

Los microclimas urbanos tienen su principal manifestación en “islas” de calor y de lluvia. En el primer caso, la naturaleza y el color de los materiales de construcción empleados en las edificaciones facilitan la absorción de energía solar que, posteriormente, es irradiada en forma de calor, sobre todo al atardecer. Asimismo, rasgos característicos de las ciudades como los vehículos automotores o las industrias manufactureras actúan como fuentes de calor adicional. Por su parte, las islas de lluvia son resultado de las mayores temperaturas, puesto que se desarrollan a partir de nubes convectivas causadas por el ascenso de aire caliente. Incluso, se estima que en una ciudad pueden encontrarse varios microclimas, por ejemplo áreas más cálidas con predominancia de edificios de gran altura contiguas a zonas más frescas causadas por la presencia de áreas verdes o pequeños cuerpos de agua.

Las consideraciones anteriores ilustran la ya de por sí compleja dinámica de los climas urbanos, que se verá agudizada por el calentamiento global y sus efectos asociados. De ahí que sea importante continuar realizando trabajos que contribuyan a la comprensión de los microclimas urbanos, tanto en su estado actual como en el futuro, sobre todo si se considera que la mayor parte de la población habita en ciudades y es altamente vulnerable a las variaciones climáticas.

En este sentido, el presente trabajo analizó el comportamiento de la temperatura y la precipitación de la ciudad de Toluca a lo largo de varias décadas; en un primer

* Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional. Maestra en ciencias. Correo electrónico: <adris_gp@hotmail.com>.

** Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional. Doctora en administración. Correo electrónico: <nicemarcelagomez@yahoo.com.mx>.

*** Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional. Licenciado en ciencias ambientales. Correo electrónico: <egre_cia@yahoo.com.mx>.

momento el objetivo era identificar si se presentaban cambios significativos en estas variables, y en caso de ser así, determinar si podían explicarse a partir del crecimiento urbano y las actividades productivas desarrolladas.

Para este propósito se examinaron registros de temperatura máxima promedio anual, media anual, mínima promedio anual y precipitación total anual de 1970 a 2013. Los datos se procesaron por periodos de diez años, que permitieran observar variaciones intra e inter décadas. El comportamiento de la temperatura y precipitación fue comparado con las etapas de crecimiento de la ciudad y de los sectores productivos con el fin de determinar si los incrementos de estas variables correspondían con sucesos importantes de crecimiento urbano y/o el aumento de las actividades industriales y de servicios.

Entre los resultados obtenidos se puede destacar el incremento de la temperatura en sus tres variantes (media, máxima y mínima promedio anual) a lo largo del periodo de estudio. En contraparte, se observó una disminución en los volúmenes de precipitación. El aumento en la temperatura ha ido aparejado con la consolidación de la ciudad, encontrándose correlaciones estadísticas positivas entre la primera y algunos indicadores de crecimiento urbano.

CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA CIUDAD DE TOLUCA

A continuación se hará referencia a algunas características geográficas de la ciudad de Toluca, es importante mencionar que sólo se retomaron aquellos elementos relevantes para el tema de la investigación.

Aproximadamente en el centro del municipio de Toluca se encuentra la ciudad del mismo nombre, con más exactitud entre los paralelos 19°17'32" de latitud Norte; y 99°39'14" de longitud Oeste (INEGI, 2010). Toluca se alza entre los 2400 y 2600 metros sobre el nivel del mar (msnm). La ciudad se considera como una cuenca atmosférica, ya que está delimitada por formaciones montañosas que determinan en gran medida sus características climáticas afines, y modifican la circulación general de la atmósfera libre sobre la superficie terrestre, dando lugar a la formación de vientos locales (Caetano e Iniestra, 2008).

Según García (1987), Toluca presenta un tipo de clima C (w2) (w) (i') g, clima templado con verano fresco largo, dos estaciones lluviosas separadas por una temporada seca corta en el verano y una larga en la mitad fría del año, clima con invierno seco, oscilaciones mayores comprendidas entre 5° y 7°, mes más caliente antes del solsticio de verano. La temperatura media del mes más frío es inferior a 18°C, pero superior a -3°C. La temperatura media del mes más caliente es menor de 22°C y superior de 6.5°C, con verano fresco largo. El rango de temperatura media anual es de 12°C a 18°C. Por otra parte, la precipitación total anual es de 791.6 milímetros, presentan-

do un régimen de lluvias de verano (por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco).

En el mismo sentido, Conabio (2008) señala que el valor del clima es C (w2) (w) b (i') g templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C (12°C-14°C)1, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C (0°C-4°C)1 y temperatura del mes más caliente bajo 22°C (22°C-26°C)1, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1800 milímetros (mm) (800-1000 mm) y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano de 5 a 10.2% anual.

Actualmente la población de Toluca se estima en 489 333 habitantes. Los sectores económicos mantienen el comportamiento del contexto estatal, predominando las actividades terciarias con 98.1% de la población ocupada; en segundo término la actividad secundaria con 1.9% y, finalmente, se reporta que las actividades agrícolas tienen una participación nula en la economía de la capital mexiquense (INEGI, 2010).

MÉTODO

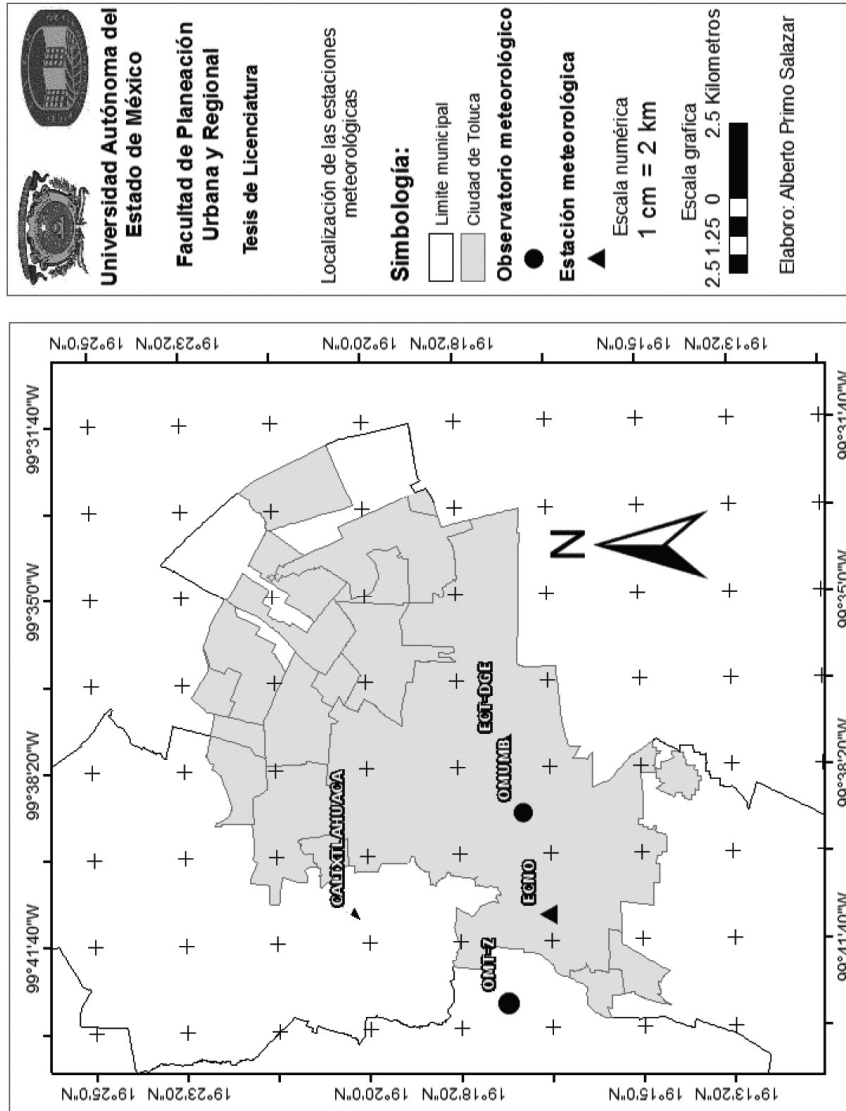
Para el desarrollo del presente trabajo, se recopilaron registros de temperatura y precipitación de cinco estaciones meteorológicas que se ubican al interior de la ciudad o próximas a ésta (véanse la figura 1 y la tabla 1). Particularmente, se obtuvieron datos de temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima diaria, así como precipitación total, correspondientes al periodo 1970-2013. Aunque inicialmente se planteó que la serie de datos se remontara a 1960, década durante la cual inicia de manera más evidente la urbanización de la ciudad, la mayoría de las estaciones carecían de los registros completos.

TABLA 1
OBSERVATORIOS Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CIUDAD DE TOLUCA

<i>Nombre de las estaciones meteorológicas</i>	<i>Latitud (N)</i>	<i>Longitud (W)</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
Observatorio Meteorológico Universitario Mariano Bárcena (OMUMB)	19°17'07"	099°39'10"	2 668.0
Estación climática Toluca DGE (ECT-DGE)	19°17'30"	099°37'50"	2 638.0
Estación climática Nueva Oxtotitlan-Toluca (ECNO)	19°16'44"	099°41'09"	2 695.0
Observatorio Meteorológico Toluca-Zinacantepec (OMT-Z).	19°17'28"	099°42'51"	2 726.0
Estación climática Calixtlahuaca (ECC)	19°20'20"	099°41'03"	2 630.0

FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

FIGURA 1
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS



Al observar que las series de información presentaban vacíos, se decidió utilizar un método estadístico para su saneamiento, considerando al promedio móvil centrado como el más adecuado. Éste se define como un método de suavización que usa el promedio del número de datos más recientes en la serie de tiempo, como el pronóstico para el siguiente periodo (Mendehall, 2009).

Una vez corregida la información, se procedió a analizarla por periodos de diez años; y de esta manera identificar las posibles variaciones inter e intra década. En un primer momento, el tratamiento se hizo por estación meteorológica; el propósito era observar si la información corregida estadísticamente mostraba patrones diferentes a los derivados de estaciones con series de datos más completas. Posteriormente, se integraron los parámetros de las cinco estaciones meteorológicas para determinar valores medios, oscilaciones y variaciones a lo largo del periodo de estudio.

Por último, a través del programa SPSS se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson para identificar posibles correspondencias entre el incremento de temperatura y algunas variables asociadas al crecimiento urbano.

RESULTADOS

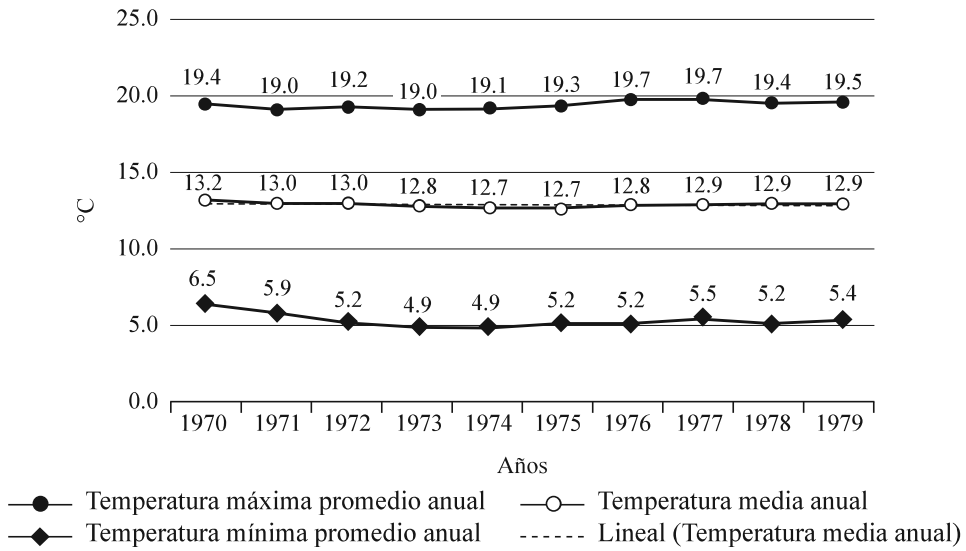
A continuación se presentan los resultados obtenidos al promediar los valores de temperatura y precipitación de las cinco estaciones climáticas por década. Asimismo, se destacan algunas características demográficas y de la dinámica económica de la ciudad. Esto con el propósito de examinar la información de manera paralela.

Periodo 1970-1979

Para la década de los setenta del siglo pasado, la temperatura máxima promedio anual (TMAPA) se estimó en 19.3°C, presentando una oscilación de 0.7°C a lo largo del periodo. En 1976 y 1977 se observan las mayores temperaturas máximas; sin embargo, éstas descendieron hasta retornar a los valores con los cuales inició el decenio. Por otra parte, la temperatura media mostró un descenso paulatino al inicio de la década, para posteriormente mantenerse constante, con poca variación respecto al valor medio de 12.9°C. La temperatura mínima promedio anual (TMIPA) mostró un comportamiento similar, ya que de 1970 hasta 1974 registró valores descendentes, para después mantenerse con variaciones mínimas de entre +/-0.2 con respecto al promedio de 5.4 grados centígrados.

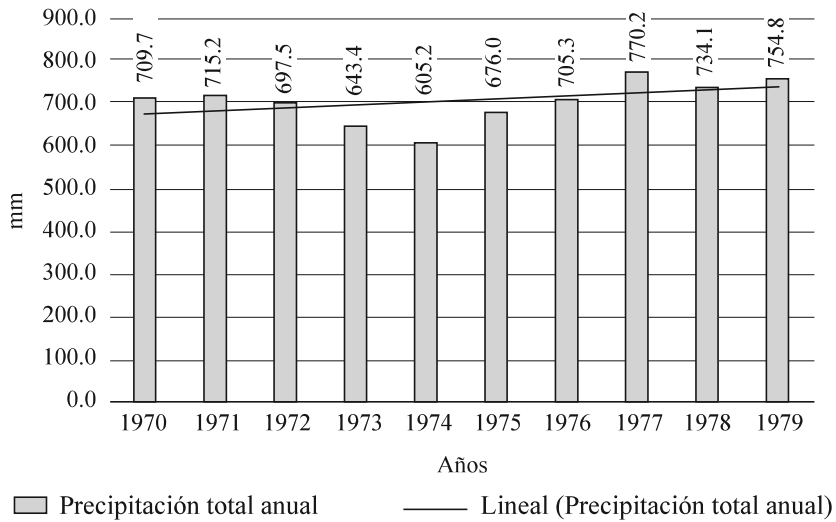
La precipitación promedio anual (PPA) para la década de 1970 fue de 701.1 mm. La gráfica 2 revela que durante el periodo 1973-1975 ocurrió un descenso en la ocurrencia de este elemento climático, sin embargo la línea de tendencia sugiere que se restableció al final de esta etapa. Es importante destacar que tanto los promedios anuales

GRÁFICA 1
 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
 PERIODO: 1970-1979



FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

GRÁFICA 2
 COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
 PERIODO: 1970-1979



FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

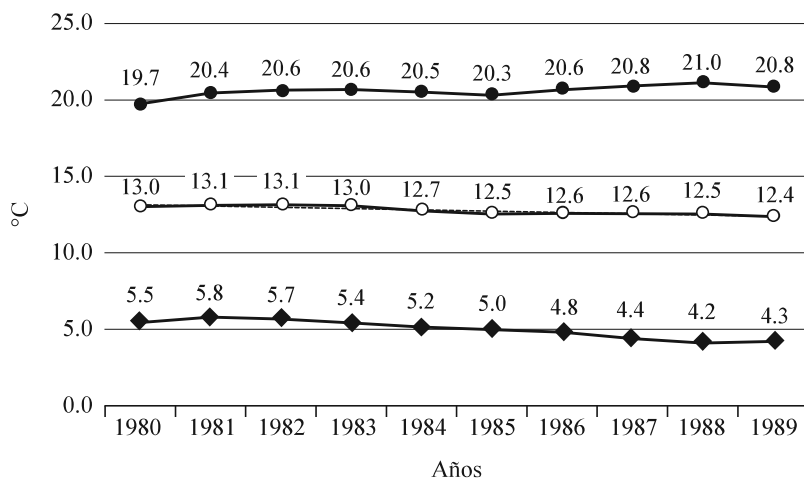
como el correspondiente a la década, están muy por debajo de los valores de precipitación señalados para el área de estudio por García (1987).

En cuanto a la dinámica de la ciudad de Toluca, durante esta etapa se intensificó su crecimiento físico, económico y social, con importantes repercusiones en las tierras ejidales de uso agrícola (Castillo, 1992). Derivado de ello, el sector primario contribuyó únicamente con 16.89% de la población ocupada; por otra parte, las actividades secundarias (31.5%) y terciarias (43.7%) siguieron incrementando su participación. El número de habitantes para este momento ascendía a 239 261 (INEGI, 1970).

Periodo 1980-1989

A lo largo de la década de 1980, la TMAPA tuvo una tendencia ascendente, y un valor medio de 20.5°C, lo cual representó un incremento de 1.2°C en relación con el periodo anterior. Así, también la oscilación de este parámetro prácticamente se duplicó, al pasar de 0.7 (1970) a 1.3°C. En contraparte, la temperaturas media y mínima fueron disminuyendo gradualmente hacia 1989 (véase la gráfica 3). A pesar de ello, la temperatura media únicamente presentó un descenso de 0.1°C con respecto a la década anterior. Por su parte, la TMIPA correspondiente a esta etapa se estimó en 5.0°C, -0.4°C comparada con el periodo previo.

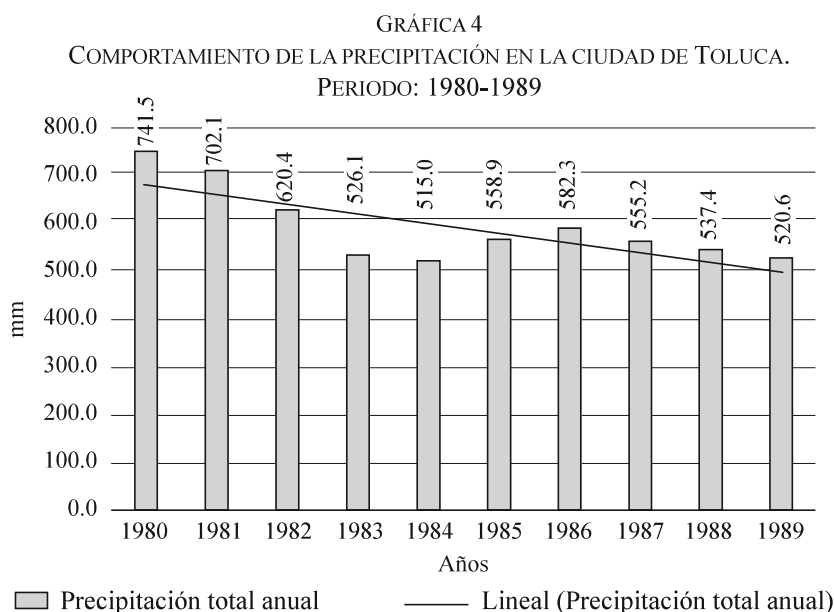
GRÁFICA 3
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
PERIODO: 1980-1989



● Temperatura máxima promedio anual ○ Temperatura media anual
 ◆ Temperatura mínima promedio anual - - - - - Lineal (Temperatura media anual)

FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

En la siguiente gráfica se observa que, al igual que las temperaturas media y mínima, el volumen de precipitación disminuyó en el transcurso de la década, siendo en orden descendente 1984, 1983 y 1989 los años más secos. La precipitación promedio fue de 585.9 milímetros anuales.



FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

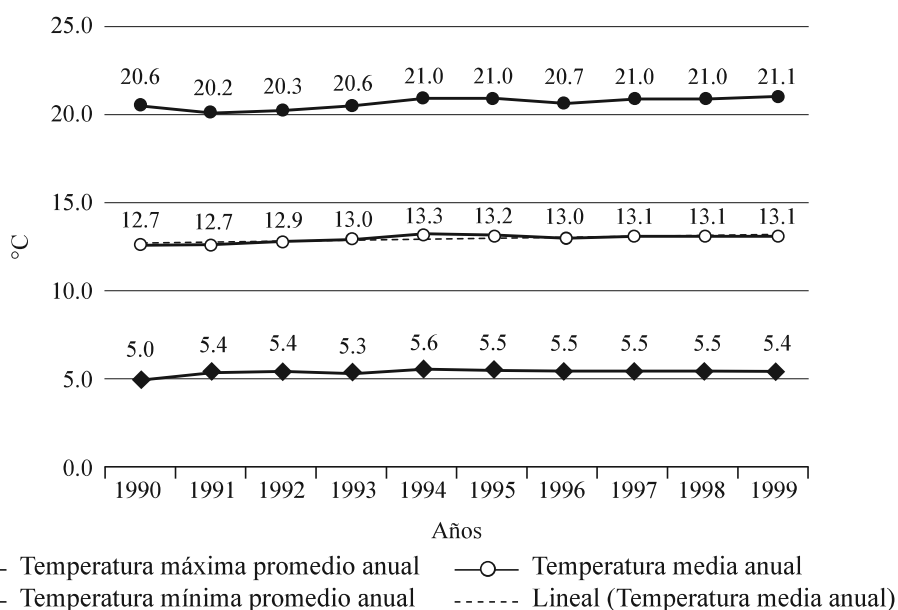
A principio de los años ochenta, Toluca contaba con 357 071 habitantes (INEGI, 1980). Sin embargo, a mediados de esta etapa y como resultado del sismo ocurrido en la capital del país, se presentó una oleada de migrantes, que contribuyó significativamente al incremento poblacional. Según Aranda (2000), en este periodo Toluca empezó a desempeñar un papel destacado como centro para la generación y transmisión de crecimiento económico; debido a la planta industrial y el impacto que provocó en actividades de comercio y servicio. Para este momento, las tiendas comerciales no contaban con una ubicación específica, proliferaban, creando nuevas áreas de desarrollo. En cuanto a las actividades productivas, la población ocupada se distribuyó en los tres sectores de la siguiente manera: 54% estaba inserta en el sector servicios, 32.05% en el industrial y 15.12% en el agrícola (Moral, Rodríguez y Mejía, 2008).

Periodo 1990-1999

Con base en la gráfica que se presenta a continuación se puede considerar que aunque con ligeras oscilaciones, las tres temperaturas se mantuvieron constantes durante

la década de 1990, especialmente en la segunda parte de este decenio. Al comparar los valores promedio con los calculados para los años ochenta, se aprecia un incremento de 0.3, 0.2 y 0.4°C en las temperaturas máxima, media y mínima promedio anual, respectivamente.

GRÁFICA 5
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
PERIODO: 1990-1999

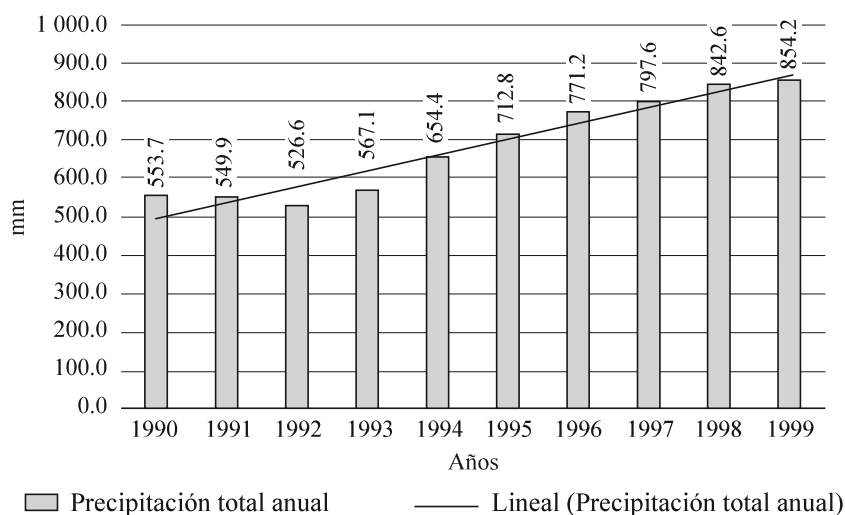


FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

La precipitación en el periodo 1990-1999 se promedió en 683 mm anuales, casi 100 unidades por arriba de lo registrado en el periodo 1980-1989. Aunque esta etapa inicia con valores bajos e incluso descensos, a partir de 1993 el volumen de las lluvias se incrementó constantemente hasta alcanzar su mayor valor al cierre.

De acuerdo con el INEGI, en 1990 el número de habitantes para la capital del Estado de México se estimó en 327 865. Este incremento de población estuvo acompañado de la ampliación del equipamiento urbano y de los servicios básicos (Martínez, 1997). En lo concerniente al comportamiento de las actividades productivas, la población ocupada redujo su participación en el sector primario a sólo 1.6%; de la misma forma, la población empleada en el sector industrial disminuyó al 28.3%; en contraparte, el sector servicios se fortaleció al absorber el 66.95% de población económica. En esta etapa se observaba un giro hacia los fenómenos de metropolización (transporte).

GRÁFICA 6
 COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
 PERIODO: 1990-1999



FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

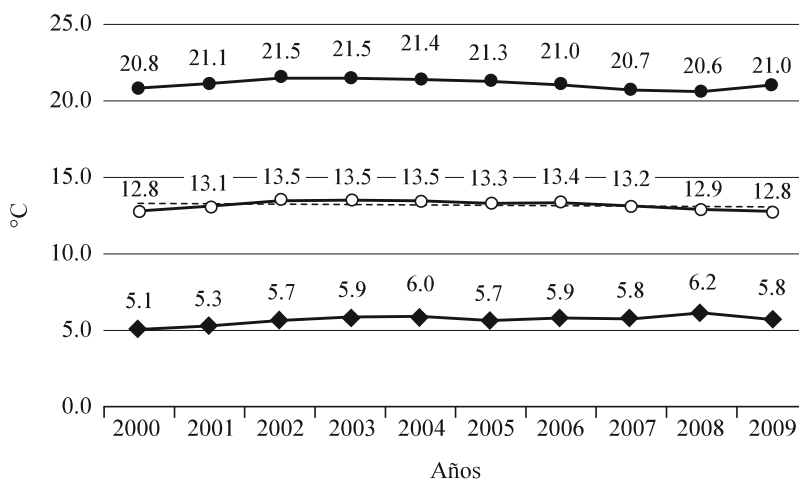
Periodo 2000-2009

La gráfica 7 permite apreciar que a lo largo de esta etapa el comportamiento de la TMAPA traza una curva convexa suave, lo cual significó un ascenso de temperatura de 2000 a 2004, seguido de decrementos anuales que oscilaron entre 0.1 y 0.3°C. Sin embargo, en el último año del lapso referido las temperaturas máximas presentaron un repunte. Este parámetro exhibió un incremento de 0.3°C en relación con la temperatura máxima promedio correspondiente a los años noventa.

La temperatura media mostró el mismo patrón, aunque la curva es menos evidente puesto que posterior a su incremento se mantuvo invariable por algunos años. A diferencia de la temperatura máxima, las temperaturas promedio cerraron la década con los registros más bajos. A pesar de esto, su valor promedio fue superior al periodo que le antecede, ya que incrementó de 13 a 13.2°C. En tanto que la temperatura mínima presentó una tendencia positiva al inicio de la década, para posteriormente tener un comportamiento irregular, con ascensos y descensos alternados. Finalmente, esto se manifestó en un aumento de temperatura importante, equivalente a 0.8°C, esto tomando como referencia el decenio previo.

En cuanto a la precipitación, el mayor volumen se concentró en la primera parte del periodo, aunque con un comportamiento errático (véase la gráfica 8). A partir de 2005, que se registró como el año más lluvioso, se observa una caída en las precipi-

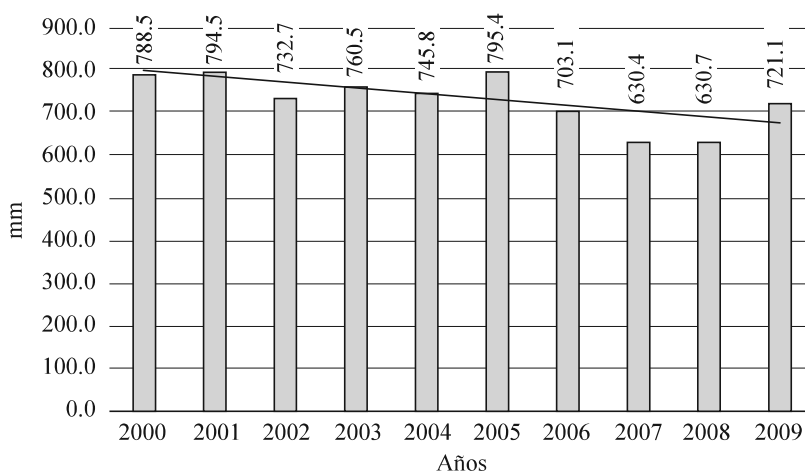
GRÁFICA 7
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
PERIODO: 2000-2009



● Temperatura máxima promedio anual ○ Temperatura media anual
 ◆ Temperatura mínima promedio anual - - - - Lineal (Temperatura media anual)

FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

GRÁFICA 8
COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
PERIODO: 2000-2009



■ Precipitación total anual — Lineal (Precipitación total anual)

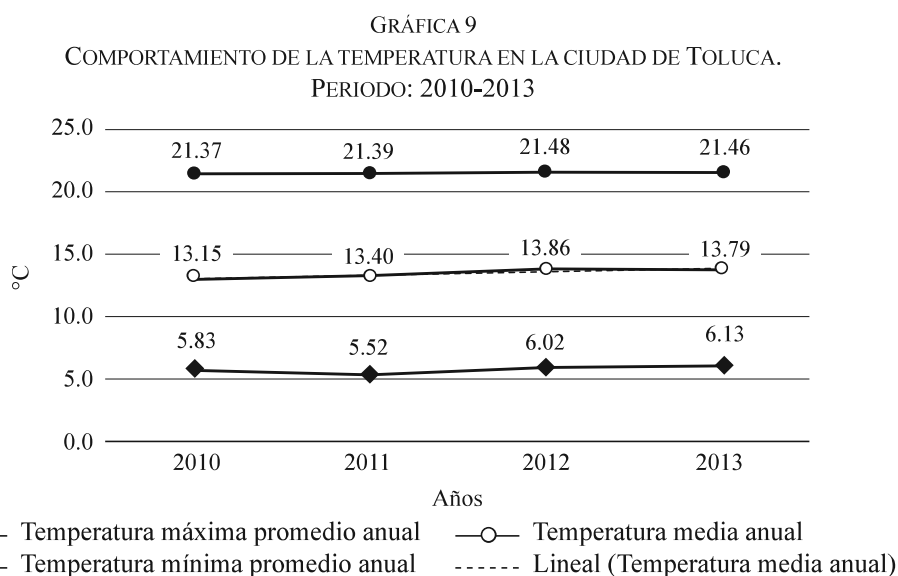
FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

taciones, seguida de un incremento significativo para 2009. Esta década destaca como la más húmeda desde 1970.

En el año dos mil, la capital del Estado de México contaba con una población de 435 125 habitantes (INEGI, 2000) y ya se había consolidado como un espacio que concentraba una importante actividad económica prestadora de servicios, industrial y comercial (H. Ayuntamiento de Toluca, 2016). El sector económico que continuaba dominando era el terciario, empleando 68.48% de la población ocupada, seguido del secundario con 26.55% y, finalmente, el primario con apenas 0.8% de participación.

Periodo 2010-2016

Para el lapso 2010-2016 únicamente se contó con información correspondiente a los primeros cuatro años, misma que se presenta. En el breve periodo de análisis se puede observar que las temperaturas máximas promedio fueron estables en cuanto a su comportamiento inter década; sin embargo, su promedio (21.5°C) revela una variación entre décadas de +0.4°C. La temperatura media tuvo una tendencia ascendente, presentando la mayor diferencia entre 2011 y 2012. Al obtener el valor promedio de esta variable se hace evidente una diferencia de +0.4°C con referencia al año 2000. En el caso de la temperatura mínima, aunque entre 2010 y 2011 mostró un descenso, posteriormente y al igual que las variables anteriores, exhibió incrementos.

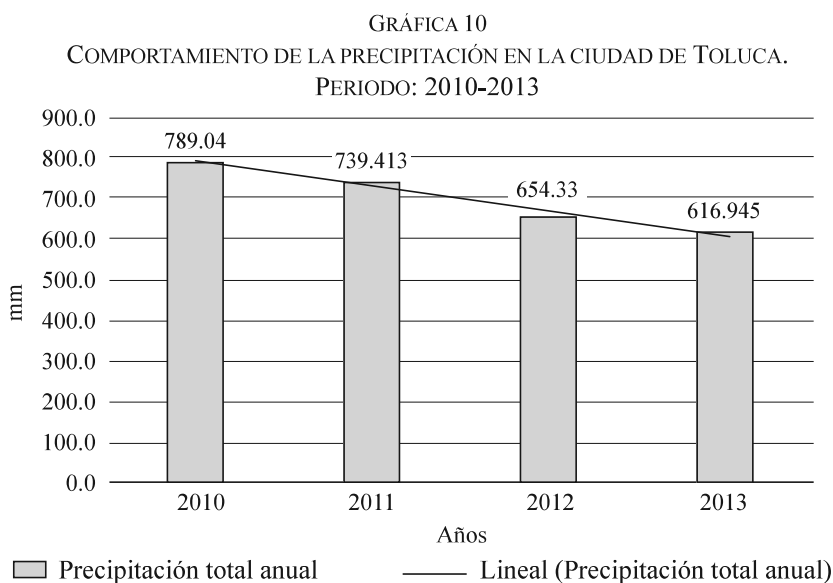


FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

Las precipitaciones muestran una clara tendencia a la baja durante este periodo. Es importante notar que incluso el volumen promedio, estimado en 699.9 mm está por debajo de los valores mínimos señalados en las clasificaciones climáticas para el área de estudio.

Reyes y Gutiérrez (2010) afirman que “durante los últimos años, el crecimiento de la ciudad de Toluca se ha caracterizado no sólo por el aumento de su población y la tercerización de las actividades, sino también por la dinámica de expansión metropolitana”. Actualmente la población de Toluca se estima en 489 333 habitantes. Los sectores económicos mantienen su comportamiento, predominando las actividades terciarias que absorben 98.1% de la población ocupada, en segundo término la actividad secundaria con 1.81% y, finalmente, se reporta que las actividades agrícolas tienen una participación nula en la economía de la capital mexiquense (INEGI, 2010).

Los siguientes gráficos resumen el comportamiento de las temperaturas por década.

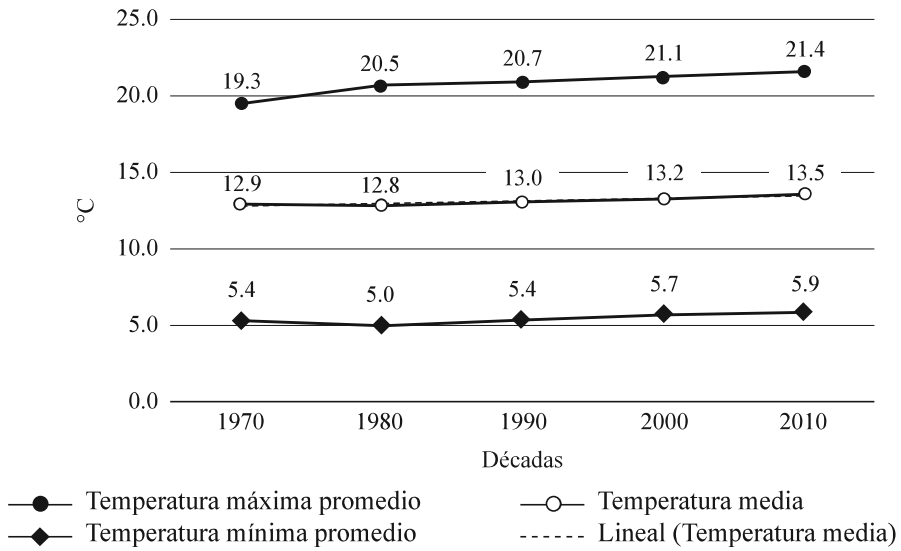


FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

La gráfica 11 revela que en mayor o menor medida las tres variantes de temperatura ascendieron a lo largo del periodo de estudio, siendo la temperatura máxima la que sufrió los mayores cambios.

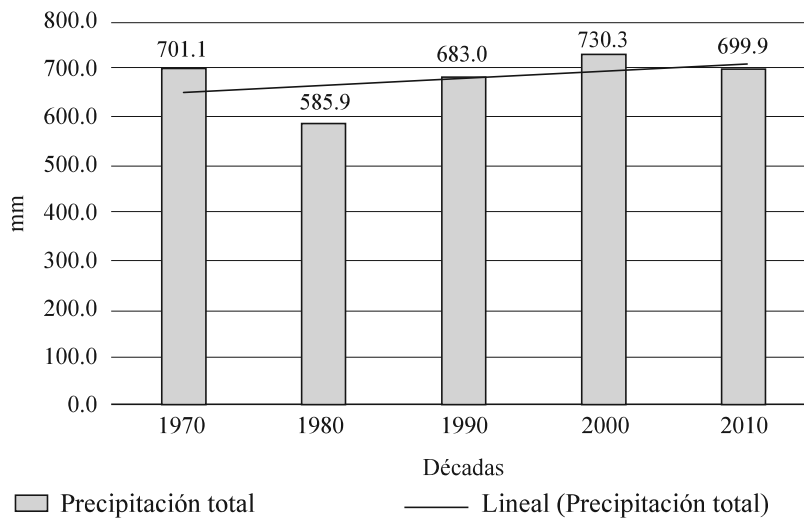
El valor medio de la TMAPA durante el periodo analizado ascendió a 20.6°C, oscilando entre 19.3 (1970) y 21.4°C (2010). Este parámetro es el que presentó la mayor variación entre décadas, calculándose un incremento promedio de 0.53°C. La diferencia de temperaturas máximas entre 1970 y 1980 fue la más acusada.

GRÁFICA 11
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA POR DÉCADA EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
PERIODO: 1970-2013



FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

GRÁFICA 12
COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN POR DÉCADA EN LA CIUDAD DE TOLUCA.
PERIODO: 1970-2013



FUENTE: elaboración propia con base en CNA (2010).

Por otra parte, la temperatura media se estimó en 13.08°C con una oscilación de 0.7°C y un incremento promedio inter década de 0.2°C. Las últimas dos décadas son las que presentaron tanto los valores más altos como la mayor oscilación térmica, cuyo valor fue de 0.3 grados centígrados.

En lo que respecta a la TMIPA, el valor promedio desde 1970 a 2013 fue 5.5°C, identificando una oscilación de 0.9°C y un incremento promedio de 0.33°C cada diez años.

La precipitación se distribuyó de manera irregular durante el periodo de estudio, aunque la línea de tendencia muestra un incremento, los números absolutos revelan periodos alternados de asensos y descensos de lluvia. Si se considera como referencia los valores medios señalados por García (1987) y la Conabio (2008), los datos procesados se mantuvieron por debajo de ellos, lo cual puede sugerir una menor ocurrencia de las precipitaciones.

CORRELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA Y LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL CON LA POBLACIÓN TOTAL, EL ÁREA URBANIZADA Y LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

En este apartado se discutirá el grado de correlación y el coeficiente de determinación (R^2) entre la temperatura media y la precipitación promedio anual con algunas características relacionadas al crecimiento urbano de la ciudad de Toluca, con el objeto de identificar si el comportamiento de las variables meteorológicas se puede asociar y explicar a partir del proceso de urbanización.

TABLA 2
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON
TOMANDO COMO VARIABLE DEPENDIENTE LA TEMPERATURA

	<i>Población total</i>	<i>Población ocupada en el sector primario</i>	<i>Área urbanizada</i>
Temperatura media	0.816	-0.839	0.885
R cuadrado	0.665	0.704	0.784

FUENTE: elaboración propia.

En primer lugar, se determinó la correlación estadística entre los valores de las temperaturas medias y la población total durante el periodo de estudio, estimándose una correlación de 0.816 y una R^2 de 0.665, lo cual denota una correlación positiva alta. En relación con el coeficiente de determinación, éste advierte que 66.5% de la variación en las temperaturas promedio está ligada al incremento poblacional.

Posteriormente, se asociaron las variables de temperatura media y cantidad de población ocupada que se desempeña en el sector primario, esta última se seleccionó al considerarse como un indicador indirecto del uso de suelo y la cubierta vegetal. En este caso, el resultado arrojado por la correlación de Pearson fue de -0.839, el cual se interpreta como una correlación negativa alta. El valor de R^2 se estimó en 0.704, es decir, la temperatura se modifica en 70.4% cuando lo hace la población ocupada del sector agropecuario; en la medida que ésta disminuye los promedios de temperatura ascienden.

Una variable complementaria a la decreciente población que se emplea en el sector primario es la superficie considerada como urbana. El grado de correlación que existe entre la temperatura promedio y el área urbanizada ascendió a 0.885, con un coeficiente de variación de 0.784. Estos datos se traducen en una correlación positiva alta, y una dependencia en la varianza de 78.4% entre la temperatura y el área absorbida por la mancha urbana.

Es importante recordar que el coeficiente de correlación lineal de Pearson no evalúa causalidad, por lo tanto no se puede afirmar que el incremento de la población y la cada vez mayor superficie urbana en detrimento de la agrícola sean las causas únicas y directas del incremento de la temperatura, pero evidentemente sí están asociadas de manera significativa. Es decir, los datos de temperatura incrementan de manera paralela a la población total y al área urbana, así como al disminuir la agricultura.

Al contrastar los valores de precipitación con los tres indicadores de crecimiento urbano, se obtuvieron correlaciones menos significativas que las ya descritas. Por ejemplo, al cruzar milímetros de precipitación promedio anual con datos de población, el programa arrojó un valor de 0.197, lo cual evidencia que no existe correlación alguna entre las variables.

TABLA 3
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON
TOMANDO COMO VARIABLE DEPENDIENTE LA PRECIPITACIÓN

	<i>Población total</i>	<i>Población ocupada en el sector primario</i>	<i>Área urbanizada</i>
Precipitación	0.197	-0.570	0.473
R cuadrado	***	0.325	0.224

FUENTE: elaboración propia.

En el vínculo precipitación y población ocupada que se desempeña en actividades primarias se obtuvo una correlación de -0.570. Aunque la relación de dependencia se puede calificar como negativa significativa y es la más alta de las tres, el valor

de R^2 es bajo, calculándose en 0.325. La varianza en el comportamiento de la precipitación a partir de la disminución de las actividades primarias sólo se explica en un 32 por ciento.

Finalmente, el análisis de correlación entre los registros de lluvia y el área urbanizada demostró un grado de correspondencia significativo, expresado en un valor numérico de 0.473. Sin embargo, nuevamente el coeficiente de relación es bajo (0.224), el cambio en la variable dependiente (precipitación) sólo está determinado en 22% por la variable independiente (superficie de área urbana).

Como se observó y discutió en apartados anteriores, los patrones de precipitación no presentaron una tendencia clara. Esto se ve reflejado al intentar establecer posibles correlaciones. La amplia falta de información en los registros de esta variable meteorológica puede estar determinando este comportamiento.

CONCLUSIONES

Se puede aseverar que las tres variantes de temperatura han presentado incrementos durante el periodo de estudio, tendencia que inicia más claramente a partir de los años ochenta. La temperatura máxima promedio anual es el parámetro que ha tenido las mayores variaciones entre décadas, con valores cercanos al medio grado Celsius. En segundo término, se encuentran las temperaturas medias, cuyos incrementos promedio por década se calcularon en 0.2°C . En tanto que en la temperatura mínima promedio, los registros permitieron estimar un incremento inter década de 0.3°C a través del periodo analizado.

Las precipitaciones promedio anuales estimadas a través de los datos obtenidos en las estaciones y observatorios meteorológicos arrojaron valores muy bajos, incluso menores a los mínimos señalados para el área de estudio, según diferentes fuentes. Incluso, ni los años ni los decenios considerados como los más húmedos alcanzaron los valores estipulados. En este sentido, es necesario considerar que las series de información para esta variable meteorológica presentaban extensos periodos sin datos registrados; cuando se consideró conveniente se corrigieron estadísticamente, sin embargo en ocasiones los vacíos eran tan prolongados que no permitían aplicar el método del promedio móvil centrado. No se puede pasar por alto que esta situación incide en los resultados, por lo cual se tomará con reservas el patrón de precipitaciones obtenido.

Por otro lado, los valores obtenidos a través de la correlación lineal de Pearson permiten identificar un alto grado de correspondencia entre el incremento de la temperatura media y el aumento de la población y del área urbanizada, así como una correlación negativa alta con respecto a la población ocupada que se desempeña en el sector primario.

Como se señaló con oportunidad, partiendo de que el coeficiente de correlación lineal de Pearson no evalúa causalidad, no se puede afirmar que el incremento de población y la cada vez mayor superficie urbana en detrimento de la agrícola sean las causas únicas y directas del incremento de temperatura, pero evidentemente sí existe sincronía en su comportamiento. Es decir, los datos de la temperatura se incrementan de manera paralela a la de la población total y a la expansión del área urbana, así como a la disminución de la agricultura.

En cuanto a los valores de precipitación, la correlación fue nula cuando se vincularon con la población total y significativa contra las variables de población ocupada perteneciente al sector agropecuario y superficie urbanizada. Aún con un aceptable nivel de significancia, las correlaciones estuvieron asociadas a bajos coeficientes de dependencia, lo cual no sustenta de manera fehaciente el vínculo entre las variables. Lo anterior no significa que el comportamiento de las precipitaciones no esté influido en absoluto por la dinámica de la ciudad. Debe considerarse que la falta de claridad en las correlaciones estadísticas también puede ser atribuible a los faltantes en los registros de información meteorológica.

Con base en lo anteriormente señalado, se puede considerar que sí existe una variabilidad de temperatura en el área de estudio, aunque los incrementos entre década y década parecieran ser mínimos en algunos casos, como por ejemplo en la temperatura media; estas modificaciones se han presentado en periodos de tiempo cortos. En este sentido, es necesario dar seguimiento al comportamiento de este elemento climático para identificar si llega a restablecerse o, por el contrario, su variabilidad se agudiza. En cuanto a la precipitación, se estima necesario aplicar otro método de corrección que permita reconstruir la serie de datos con mayor certidumbre, y de esta manera tener una idea más real de su dinámica en las últimas décadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aranda, J. (2000), *Conformación de la zona metropolitana de Toluca, 1960-1990*, Toluca, UAEMéx.
- Castillo, O. (1992), “El proceso de metropolización de la ciudad de Toluca”, tesis de maestría, Toluca, UAEMéx.
- Caetano, E. y R. Iniestra (2008), *Identificación de cuencas atmosféricas en México*, México, INE/Semarnat, disponible en <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgce_nica/pres_proname_ago2008_e_caetano.pdf>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) (2010), Bases de datos climatológica periodo 1970-2010.
- Comisión Nacional para la Biodiversidad (Conabio) (2008), “Catálogo de metadatos geográficos”, México, Conabio, disponible en <<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>>.

- García, E. (1987), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, México, UNAM.
- H. Ayuntamiento de Toluca (2016), *Plan de desarrollo municipal de Toluca 2016-2018*, Toluca, Gobierno Municipal de Toluca,
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1970), “IX Censo General de Población 1970”, México, INEGI, disponible en <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1970/default.aspx>>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1980), “X Censo General de Población 1980”, México, INEGI, disponible en <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1980/default.aspx>>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1990), “XI Censo General de Población 1990”, México, INEGI, disponible en <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1990/default.aspx>>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2000), “XII Censo General de Población 2000”, México, INEGI, disponible en <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx>>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010), “Censo General de Población 2010”, México, INEGI, disponible en <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>>.
- Martínez, J. (1997), “Áreas verdes de la ciudad de Toluca”, tesis de licenciatura, Toluca, UAEMéx.
- Mendehall, W. (2009), *Introducción a la probabilidad y estadística*, México, Cengage Learning.
- Moral, L. del; O. Rodríguez y P. Mejía (coords.) (2008), *Actividad económica regional en el Estado de México*, Toluca, Gobierno del Estado de México.
- Reyes, I. y J. Gutiérrez (2010), “Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca”, en *Quivera*, vol. 12, núm. 1, enero-junio, Toluca, UAEMéx, pp. 96-102.