

Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007

José Isabel Juan Pérez*, Xanat Antonio Némiga*, José Francisco Monroy Gaytán*, Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo*, Miguel Ángel Balderas Plata*, Michael E. Loik**, Margarita Marina Hernández González*** y José Manuel Camacho Sanabria*

Recepción: 7 de julio de 2009

Aceptación: 6 de abril de 2010

* Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

** Universidad de California, Santa Cruz, Estados Unidos.

*** Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Correo electrónico: jijp1958@hotmail.com;

xanynemiga@rocketmail.com;

fmonroyg2001@yahoo.com; j_gaston@hotmail.com;

mplata@colpos.mx; mloik@ucsc.edu; marh1953@

hotmail.com y jmanuelcs@live.com

Resumen. Los científicos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2001), han analizado las posibles consecuencias que pueden representar los cambios climáticos en distintos espacios geográficos de la Tierra. En México, el cambio climático empieza a ser notorio, por esta razón se realizó una investigación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca y su *hinterland* para estudiar el comportamiento de la temperatura y la precipitación entre 1960 y 2007, y demostrar la existencia de variaciones que pueden contribuir al cambio climático. El sustento teórico de esta investigación fue la geografía ambiental, y el metodológico se basó en la estadística, trabajo de campo, el método comparativo y la cartografía automatizada. Con los resultados obtenidos se puede concluir que el clima en la ZMCT y su *hinterland* están en proceso de cambio y, de acuerdo con las investigaciones e informes de la NASA y el IPCC, éste seguirá cambiando globalmente.

Palabras clave: geografía ambiental, variaciones climáticas, zona metropolitana.

Climate Variations in the Metropolitan Area of Toluca City, State of México: 1960-2007

Abstract. The scientists of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) analyzed the possible consequences that can bring climate change in different Earth's geographic spaces. In Mexico, the climate change begins to be notorious; therefore made this investigation in the Metropolitan Area of Toluca City (ZMCT) to study the behavior of the temperature and precipitation between the 1960-2007 to demonstrate climate variations. The theoretical support that sustains this research was environmental geography and the methodology was based on statistics, fieldwork and automatized cartography. It is possible to conclude that the climate in the ZMCT and its *hinterland* are changing, according to the information and reports of the NASA and the IPCC.

Key words: environmental geography, climate variations, metropolitan zone.

Introducción

Investigaciones como las de Pastrana, (2000); Raso, (2002 y 2007); Lovelock, (2007) y Henson, (2008) han demostrado que el cambio ambiental global tiene su origen en las actividades que realizan las sociedades humanas en el mundo, provocando variaciones climáticas locales, pero también, son muchos los individuos que no logran percibir sus causas y efectos, posiblemente debido a la interacción e interrelación

de factores que influyen, condicionan o determinan sus manifestaciones. El cambio ambiental global y de manera específica el cambio climático y sus variaciones locales, traen consigo diversos efectos a los componentes físicos y biológicos del planeta: inundaciones, incendios forestales, escasez de agua, disminución del nivel en los mantos acuíferos, incremento del nivel del mar, derretimiento de glaciares, enfermedades, la población humana, pérdida de producción agrícola, plagas y enfermedades agrícolas, entre otros.

Ante esta situación es importante que los científicos —de las ciencias naturales, sociales, de la salud, de las ciencias exactas y de la aplicación tecnológica—, así como los tomadores de decisiones en la política internacional, nacional y regional promuevan acciones para capacitar, sensibilizar e informar a la sociedad para realizar actividades que coadyuven en el amortiguamiento o disminución de los efectos que ocasiona el cambio ambiental global y el cambio climático.

El reciente calentamiento, más que reflejar un proceso que haya afectado de manera más o menos homogénea al conjunto del planeta, es el resultado de estimaciones y cálculos estadísticos sobre observaciones que comprenden realidades distintas y complejas. En primer lugar, el incremento de las temperaturas medias, sobre todo durante la segunda mitad del pasado siglo, fue más notorio en invierno y primavera que en verano y otoño y, en segundo término, la existencia de importantes diferencias regionales en cuanto a la intensidad de los incrementos termométricos e, incluso, de espacios que fueron objeto de un cierto enfriamiento (Raso, 2007).

Diversos científicos afirman que los cambios climáticos han ocurrido desde el origen del planeta, y se generan a un ritmo lento, de manera que pueden resultar imperceptibles, toda vez que éstos han ocurrido en periodos de tiempo geológicos. Cuando se habla de cambio climático, se piensa más en la temperatura que en los cambios en otras características del medio físico (Lovelock, 2007). La temperatura media de la Tierra ha tenido variaciones, pero desde 1840 se ha registrado calentamiento. Esto se puede asociar con el inicio de la revolución industrial, aunque, no es posible establecer una relación de causa-efecto, ya que la atmósfera es un sistema que reacciona gradualmente. También, se han registrado periodos más fríos (1950-1970), pero desde entonces, el calentamiento en la Tierra ha sido continuo, esto se puede atribuir a la influencia de las actividades humanas (deforestación, incendios, industrialización, emisiones de CO₂, detonaciones nucleares atmosféricas), Pastrana (2000) e IPCC (2001).

En la década de 1980, los científicos dedicados al estudio del clima, se dieron cuenta de que había iniciado un periodo más caliente. Para explicar este fenómeno se comenzó a relacionarlo con diversos procesos y fenómenos: la deforestación, la desertificación, la emisión de contaminantes a la atmósfera, el agujero de la capa de ozono, a el Niño, a la Niña, entre otros.

Las variaciones climáticas han existido en el pasado y existirán siempre a consecuencia de diferentes manifestaciones y fenómenos naturales, como los cambios fraccionales en la radiación solar, las erupciones volcánicas y las fluctuaciones naturales en el propio sistema climático, sin embargo, al relacionar estas condiciones naturales con otros factores antropogénicos, se

generan ambientes “hostiles” para la vida de los seres humanos y otras formas de vida existentes en el planeta.

Al comparar lo establecido por el IPCC (1995 y 2001) y los datos de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2008), esta última señala que el cambio climático o calentamiento global es el aumento de la temperatura ambiental provocada por las actividades humanas y los gases del efecto invernadero. En la actualidad, según algunos, el cambio climático está generando impactos apreciables, que van desde el incremento del nivel del mar como consecuencia del derretimiento de los casquetes polares, pasando por tormentas e inundaciones, cada vez más frecuentes. Algunos prevén que el cambio climático incremente la frecuencia y severidad de las olas de calor que ocurren en las metrópolis. Un clima más caluroso causará más muertes y enfermedades entre las personas pobres y de mayor edad que habitan en las zonas urbanas (Raso, 2002 y 2007).

En México, Garduño (1994) y Jáuregui (2000 y 2004) han realizado investigaciones para relacionar los procesos de cambio de uso de suelo y de urbanización con el régimen termal en la Ciudad de México. Jáuregui (2004), utilizando datos de temperatura y precipitación para un periodo aproximado de 25 años, documenta los cambios climáticos interdecadales inducidos por las modificaciones del uso del suelo. Los resultados muestran que en extensas áreas de la cuenca de la Ciudad de México las temperaturas máximas anuales mantienen una tendencia positiva (de 0.07 °C/año). Este contraste se hace más marcado cuando se utiliza la temperatura mínima, ya que en sitios suburbanos el incremento promedio por áreas es de 0.15 °C/año.

En el valle de Toluca las variaciones climáticas están presentes, así lo demuestran algunas investigaciones recientes de Hernández *et al.* (2005) y Morales *et al.* (2008). Los estudios de Hernández *et al.* (2005) demuestran que la Ciudad de Toluca tiene una temperatura media anual de 12.9 °C, que en invierno suele disminuir hasta -2.0 °C y en verano asciende a 28.0 °C, por lo que, la amplitud térmica es de 30.0 °C, situación que de acuerdo con ellos puede incrementarse como consecuencia del cambio de uso del suelo y otros factores relacionados con la dinámica demográfica.

En otra porción del valle de Toluca, Morales *et al.* (2008), realizaron la investigación “*Islas de Calor en Toluca, México*”, con la finalidad de asociar las modificaciones climáticas con el cambio de uso de suelo, la expansión urbana, la deforestación, el abatimiento de los mantos de agua y la contaminación ambiental. Mediante el análisis de datos climatológicos de la temperatura, precipitación, humedad relativa y vientos se determinó que el 13 de enero de 2005 la distribución de la temperatura fue irregular, presentándose los valores menores en la periferia de la ciudad, con 13.0 °C. Los valores térmicos

más elevados (15 °C) se presentaron en el centro de la ciudad y en la zona del aeropuerto internacional, que se ubica en la Delegación de San Pedro Totoltepec, siendo éstas dos áreas donde estos autores reportan que se forman las islas de calor más evidentes, pues coinciden con la mayor infraestructura urbana y actividades humanas.

En este trabajo sobre la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México (ZMCT) y su *hinterland*¹, ubicada en el Altiplano Mexicano, se realizó una investigación de geografía ambiental para analizar si entre 1960 y 2007 ocurrieron variaciones significativas de la temperatura y precipitación. Esta investigación es una estrategia para apoyar otros estudios –con distinta escala temporal y espacial–, sobre las condiciones actuales del clima, toda vez que este tema empieza a ser centro de interés para muchos científicos. Con esta investigación se da respuesta a dos cuestionamientos: a) ¿Entre el periodo 1960–2007 han existido variaciones de la temperatura y precipitación en la Zona Metropolitana de la ciudad de Toluca, Estado de México? y b) ¿Qué factores influyen, condicionan o determinan las variaciones climáticas en la ZMCT?

Desde el punto de vista geográfico, ambiental y sociocultural, la ZMCT y su entorno adyacente o *hinterland* se ubica en el Altiplano mexicano y presenta una heterogeneidad de condiciones que le diferencian del resto del territorio estatal, ya que es un espacio profusamente construido –sociocultural– con asentamientos humanos urbanos en las cabeceras municipales adyacentes a la ciudad de Toluca y asentamientos rurales en las áreas más alejadas de la ciudad. La ZMCT se ubica en la porción central del territorio estatal, entre los 19° 02' y 19° 32' latitud norte y 99° 19' y 99° 56' longitud oeste. Las porciones montañosas se ubican entre los 2 600 y 4 680 msnm, factor geográfico que ha influido en el crecimiento y desarrollo de los bosques de coníferas, y desde luego, ha condicionado las características ambientales, ecológicas, demográficas y socioculturales de las comunidades adyacentes a sus estribaciones.

Para esta investigación, la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca y su *hinterland*, está conformada por 12 municipios: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicalcingo, Ocoyoacac, Oztoltepec, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec (todos conformados por cabeceras municipales, delegaciones municipales y rancharías). Tiene una superficie total de 1 963.41 km² donde viven 1 610 786 habitantes (INEGI, 2005) (figura 1).

1. El clima y la geografía ambiental

El clima se define como el estado medio de las diversas condiciones atmosféricas, la temperatura, la presión, la humedad y la nubosidad, entre otros, que suceden a lo

largo de un número de años determinados (García, 1998 y Raso, 2007). Por su parte, Conde (2006) define al clima como las condiciones promedio del sistema climático, en el cual interaccionan la atmósfera, los océanos, las cubiertas de hielo, nieve, los continentes, la vegetación y la radiación solar. Para caracterizar el clima de un lugar se deben conocer los valores medios de los elementos climáticos, los valores extremos y las variaciones, siendo los elementos climáticos más importantes la temperatura y la precipitación (García, 1986).

El estudio del clima y el cambio climático debe hacerse en asociación con otros componentes y factores, toda vez que las actividades humanas determinan y condicionan el bienestar de la población humana. Raso (2007) establece que el clima es la media de los distintos tiempos o estados atmosféricos cambiantes propios de cada región o registrados durante un periodo de varios años y no es estable.

La geografía como ciencia de integración que estudia las relaciones, interacciones e interrelaciones entre las sociedades humanas y su ambiente, incluye disciplinas que analizan de manera específica el espacio, el territorio, la sociedad, la economía, el ambiente rural, el ambiente urbano, el campo, la salud en asociación con el ambiente y desde luego, los problemas que se suscitan en el ambiente.

Figura 1. Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca en el contexto de la República Mexicana.



Fuente: Gobierno del Estado de México, 1995.

1. El *hinterland* en el campo de la geografía se refiere a la zona de influencia de un asentamiento urbano, industrial o comercial en donde ocurren interacciones e interrelaciones que mantienen la dinámica económica. El *hinterland* en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca se ubica en los espacios adyacentes a las cabeceras municipales de Toluca, Metepec, Lerma, San Mateo Atenco, Zinacantepec y Almoloya de Juárez; y los territorios próximos a los corredores industriales, parques industriales y zonas comerciales.

En este sentido, la geografía ambiental cada vez tiene mayor importancia en el campo de las ciencias sociales, naturales y aplicadas, pues permite el conocimiento del ambiente. Es a partir de esta disciplina, que los diversos componentes del ambiente pueden ser estudiados para conocer la distribución y comportamiento de los factores que provocan impactos, primero a la naturaleza y después al bienestar de la población humana (Goudi, 1989; Johnston *et al.*, 1995; Strahler *et al.*, 1997; Canter, 2003; Kerski y Ross, 2005 y Lovelock, 2007).

2. El cambio climático

El clima concebido como la media de los distintos tiempos o estados atmosféricos cambiantes propios de cada región o registrados durante un periodo de varios años, no es estable (Raso, 2007).

Los científicos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2001), han analizado las posibles consecuencias que pueden representar los cambios climáticos para la salud de la población mundial, su incidencia en la distribución latitudinal de la vegetación—tanto terrestre como acuática—, los efectos en los animales silvestres y domésticos, la alteración de los ciclos agrícolas de cultivos que abastecen de alimento a la población mundial, así como la aparición de microorganismos que puedan afectar a la salud (IPCC, 2001; SEMARNAT-INE, 2006; Raso, 2007).

Los diez años más calientes a nivel mundial han sido registrados desde 1990 (IPCC, 1995, 2001 y 2007); es sabido que 1998 fue el año más cálido registrado, seguido de 2002, 2003, 2001 y 1997. De hecho, el siglo pasado fue el más cálido, y la década de 1990, ha sido la más calurosa en los últimos mil años.

Según el IPCC (1995 y 2001), el cambio climático es la modificación del clima con respecto a su historial, a una escala global o regional. Tales cambios se producen en diversas escalas de tiempo y sobre los parámetros climáticos de temperatura, precipitación, nubosidad. Estos cambios se deben a causas naturales y, en los últimos siglos se presume que también a la acción de la humanidad; para algunos científicos, se trata pues de ciclos naturales del clima, toda vez que éstos pueden repetirse o presentarse en periodos determinados, otros expertos, opinan que no existe tal cambio climático, y que solamente se trata de variaciones naturales del tiempo.

2. Este procedimiento fue utilizado a causa de una falla técnica (margen de error) al utilizar el software Arc View 3.2. Al momento de ubicar puntualmente las estaciones meteorológicas correspondientes a la ZMCT, éste las ubicaba en otras coordenadas que no corresponden a las correctas, desplazándolas de las coordenadas exactas (el trabajo de campo facilitó ubicar los puntos exactos).

Para la NASA, los cinco años más calurosos son: 2005, 1998, 2002, 2003 y 2004. Según la National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2008), durante el último siglo, la temperatura media global ha aumentado 0.6 °C, llegando a aumentar 1 °C en Europa, lo que es un calentamiento inusualmente rápido.

En México, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2006) expresa que el cambio climático al que se hace referencia hoy día, es un cambio antropogénico, originado por emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las actividades humanas a partir de la revolución industrial.

3. Método, equipo y materiales

El método utilizado para el análisis del comportamiento de la temperatura y la precipitación en la ZMCT se integró en dos dimensiones: teórica conceptual desde la geografía ambiental (Strahler *et al.*, 1997), (Johnston *et al.*, 1995), (Goudi, 1989) y (Fellows, 1985) y técnica-cartográfica, desde la perspectiva del método comparativo y el trabajo de campo por una parte, el análisis estadístico y la cartografía automatizada por otro (Box *et al.*, 2008), (Hirabayashi, 1999) y (Tomlinson, 2007). El análisis de la asociación entre las variables temperatura y precipitación se realizó en el contexto de un espacio condicionado por factores geográficos: altitud, elementos topográficos, dirección de los vientos y la presencia de asentamientos urbanos con alta densidad de población (INEGI, 2005). Como complemento al análisis de los datos de temperatura y precipitación, fue aplicado un instrumento de investigación a 1 000 personas mayores de 60 años que habitan en la ZMCT, con el fin de obtener datos y antecedentes acerca de las variaciones que están ocurriendo en el clima.

Los datos de las variables temperatura y precipitación se obtuvieron en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y corresponden a 26 estaciones meteorológicas ubicadas en la ZMCT y su *hinterland*. La forma de representar los valores obtenidos fue mediante la elaboración del mapa de localización, utilizando las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) con su respectivo valor (temperatura y precipitación). Para localizar con mayor exactitud las estaciones meteorológicas en el mapa, se corrigió su ubicación a través de la verificación de campo con el sistema de posicionamiento global (GPS)². Mediante la utilización del software Arc View 3.2, fue posible georeferenciar las estaciones meteorológicas y dar mayor calidad y exactitud al mapa.

Las estaciones meteorológicas están ubicadas en diferentes altitudes, en el Volcán Xinantécatl (Nevado de Toluca) se ubica la de mayor altitud (figura 2).

4. Características climáticas de la zona de estudio

Por las razones anteriores, fue importante el análisis de las condiciones de las variables temperatura y precipitación en un espacio con condiciones geográficas peculiares: altitudes mayores a 2 500 msnm, heterogeneidad topográfica, diversas geoformas, presencia de cuerpos de agua (contaminados), diversos climas (templados y fríos), circulación de vientos de las montañas hacia las planicies, y desde luego la ZMCT que se caracteriza por alta concentración de asentamientos humanos, industriales y de servicios.

En los ambientes de la ZMCT y su *hinterland* se presentan diversos climas, condicionadas por la heterogeneidad topográfica y otros elementos geográficos. Según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen, modificado por García (1986) en la ZMCT hay tres tipos de climas:

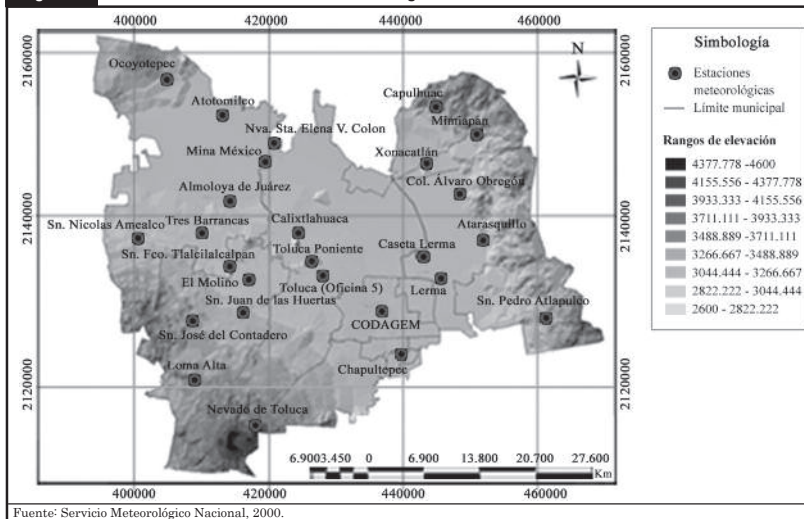
a) C (w2)(w)b(i)g: clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, poca oscilación térmica, verano fresco y lluvioso, la temperatura más alta se presenta antes del solsticio de verano. Este clima se presenta en las partes bajas de la ZMCT.

b) C (w2)(w)b(i): clima semifrío subhúmedo con régimen de lluvias en verano, cuatro meses o más con temperaturas superiores a 10 °C (verano largo), poca oscilación térmica (entre 5 y 7 °C), la temperatura más alta se presenta después del solsticio de verano. Este clima se presenta en las partes bajas de la ZMCT.

c) ETCH: clima frío con temperatura media anual entre -2 °C y -5 °C, característico de grandes altitudes, con régimen de lluvias en verano. Este clima se presenta en las partes altas de la ZMCT (figura 3).

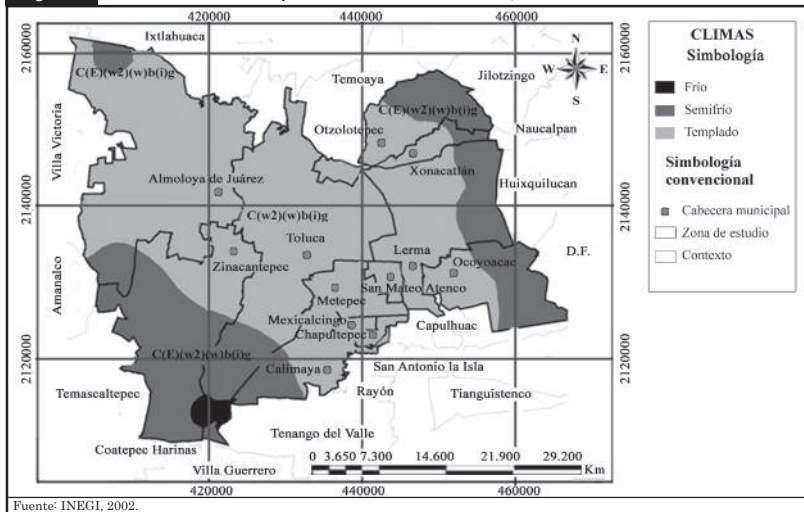
Con relación a la temperatura, es importante referir que las temperaturas más altas se registran antes del solsticio de verano, durante dicha estación ocurre un periodo interestival denominado

Figura 2. Localización de las estaciones meteorológicas en la ZMCT.



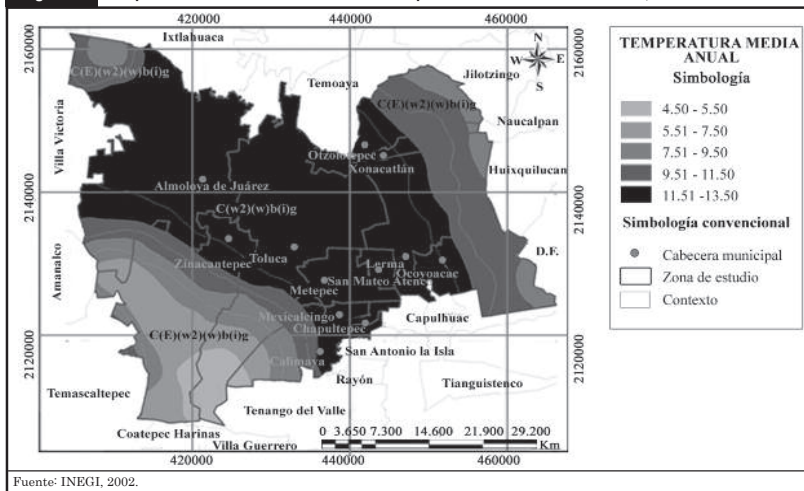
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2000.

Figura 3. Climas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, México.



Fuente: INEGI, 2002.

Figura 4. Temperatura media anual de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, México.



Fuente: INEGI, 2002.

regionalmente como “*canícula*”, que se caracteriza por altas temperaturas, las que vinculadas con el consumo de algunos alimentos generan enfermedades gastrointestinales, infecciosas y de la piel (figura 4).

En la ZMCT, las heladas se presentan generalmente cuando la temperatura del aire, registrada en el abrigo meteorológico (a 1.50 metros sobre el nivel del suelo), es de 0 °C. Desde el punto de vista de la climatología agrícola, no se puede considerar helada a la ocurrencia de una determinada temperatura, ya que existen vegetales que sufren las consecuencias de las bajas temperaturas sin que ésta llegue a cero grados (García, 1986 y GEM-SEMARNAT-UAEM, 2003). Otro fenómeno hidrometeorológico son las granizadas, éstas ocurren generalmente durante el periodo de lluvias. El granizo se genera

en tormentas intensas en las que se producen gotas de agua sobreenfriadas, líquidas pero a temperaturas por debajo de su punto normal de fusión (0 °C), y ocurre tanto en verano como en invierno (figura 5).

En la figura 5 se observa que los sitios donde se presenta la menor precipitación (de 750 mm a 950 mm), corresponde al centro de la ZMCT. Los sitios donde se presenta la mayor precipitación (1 050 mm a 1 250 mm) son las partes más altas (Sierra de las Cruces y en las pendientes del Nevado de Toluca).

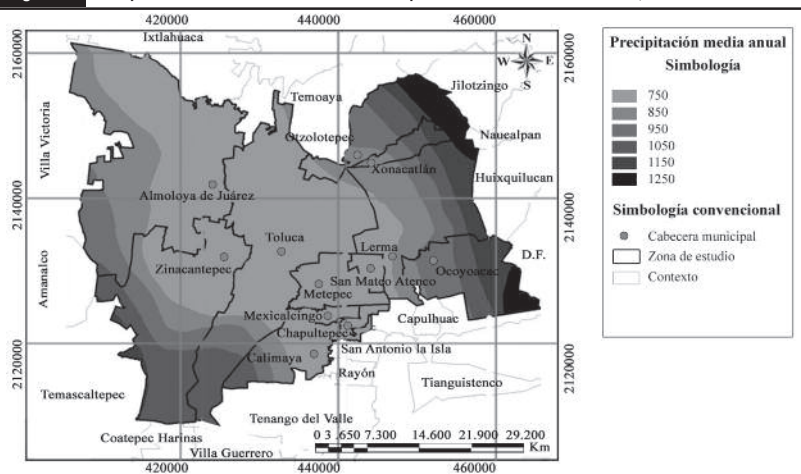
5. Resultados

La ZMCT se caracteriza por presentar condiciones geográficas, climáticas y antropogénicas muy peculiares, toda vez que existen factores –Volcán Xinantécatl, altitudes mayores a 2 600 msnm, sistemas montañosos, cuerpos de agua temporales y permanentes y zonas industriales–, que pueden influir, condicionar o determinar cierto comportamiento de los componentes del clima.

Las variables temperatura y precipitación en la ZMCT para el periodo 1960-2007 tienen un comportamiento propio de las zonas con altitudes mayores a los 2 500 msnm, desde luego con influencia de otros factores geográficos. En las siguientes gráficas se presentan la temperatura máxima promedio anual (*T_{max}*), la temperatura media anual (*T_{ma}*), la temperatura mínima promedio anual (*T_{min}*) y la precipitación media anual (PMA). Éstas fueron elaboradas por década para las 26 estaciones, como promedio de todas ellas.

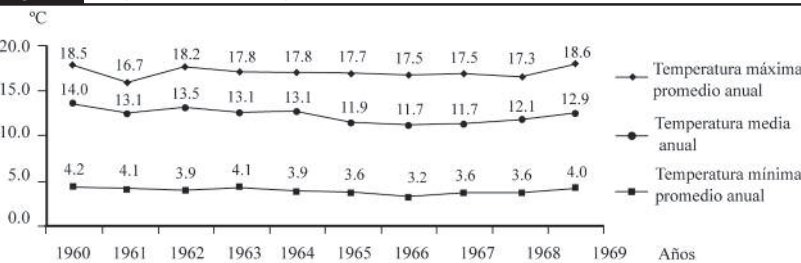
En la ZMCT, la temperatura media anual para el periodo 1960-1969 registró valores mínimos (11.7 °C) en 1966 y el valor más alto fue registrado en 1960, con 14.0 °C. Respecto a la precipitación, se observa que 1963, fue el año con mayor precipitación, con 947.7 mm. En 1960 se registró la menor precipitación (662 mm). Al asociar los datos de temperatura y la precipitación, es evidente que, precisamente en 1960, la *T_{ma}* y la *T_{min}* fueron mayores para la década de 1960 a 1969. Los encuestados señalan que en tiempos

Figura 5. Precipitación Media Anual en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, México.



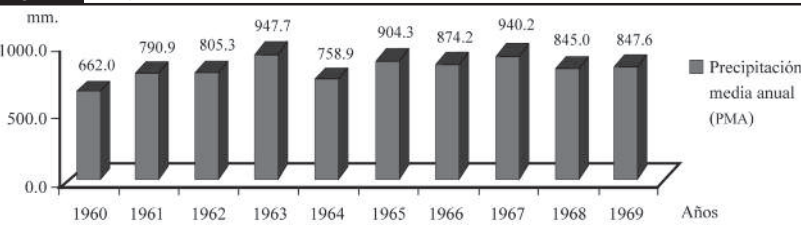
Fuente: INEGI, 2002.

Figura 6. Comportamiento de la temperatura en la ZMCT. Periodo: 1960-1969.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

Figura 7. Precipitación Media Anual en la ZMCT. Periodo: 1960-1969.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

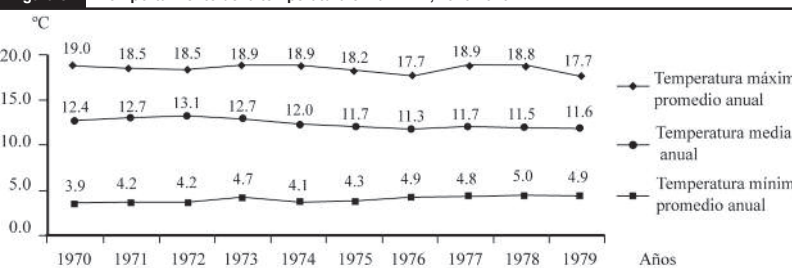
pasados, las estaciones del año estaban bien determinadas y, por lo tanto, los ciclos agrícolas también estaban bien definidos, pues se iniciaba la siembra de maíz al final de marzo, y la cosecha se realizaba a principios de noviembre, situación que ahora presenta variaciones, pues la siembra se hace en los primeros días de mayo (figuras 6 y 7).

Para el periodo 1970-1979, el valor menor correspondiente a la temperatura media anual fue registrado en 1976, con 11.3 °C, y el valor mayor de esta misma variable fue de 13.1 °C y correspondió al año 1972. Los valores mayores de precipitación se registraron en los años de 1976 y 1978, y los menores fueron en los años 1977 y 1979. Aunque en la gráfica de la década que se analiza, se observa que 1977, fue el año con menor precipitación (en realidad no fue así, pues en ese año, solamente se registró el dato correspondiente a 59.1 mm, es decir, el de una estación meteorológica). En el año 1976 se presentaron la *T_{ma}* y la *T_{mapa}* más bajas (figuras 8 y 9).

Entre el periodo de 1980-1989, existieron algunas variaciones en las condiciones del clima. Los años que registraron las menores temperaturas fueron 1984 y 1989, que en promedio fue de 11.1 °C, en cambio, el año en que se registró la mayor temperatura fue 1982, y de igual forma la *T_{mapa}* fue la más alta para este año, con 19.0 °C, y la más baja de 18.3 °C, que corresponde a los años 1981 y 1985.

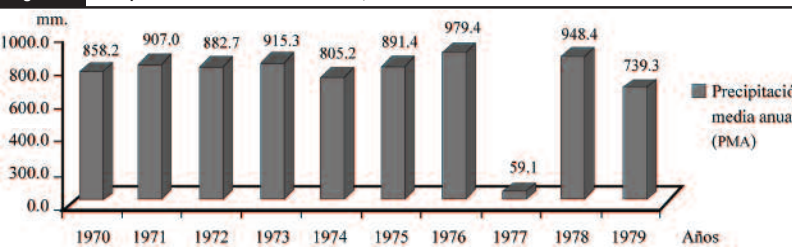
Al asociar los datos de temperatura con precipitación se observa que 1982, fue el año que registró las mayores temperaturas, pero, también registró uno de los menores promedios de precipitación media anual (657.7 mm). Es importante señalar que la menor precipitación media anual fue en el año 1983. Entre los años 1984 y 1989, hubo intervalos significativos donde la temperatura y la precipitación pueden permitir realizar otros análisis, tal es el

Figura 8. Comportamiento de la temperatura en la ZMCT, 1970-1979.



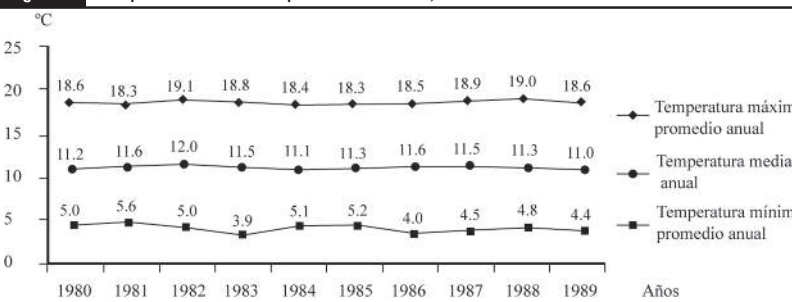
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

Figura 9. Precipitación Media Anual en la ZMCT, 1970-1979.



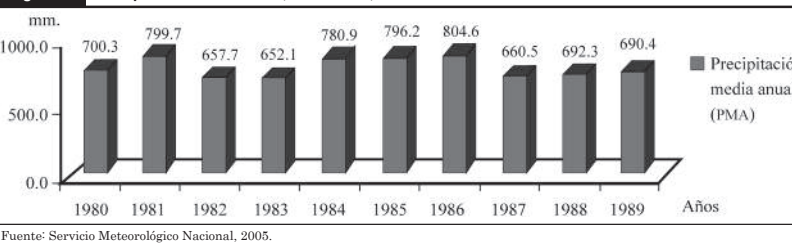
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

Figura 10. Comportamiento de la temperatura en la ZMCT, 1980-1989.



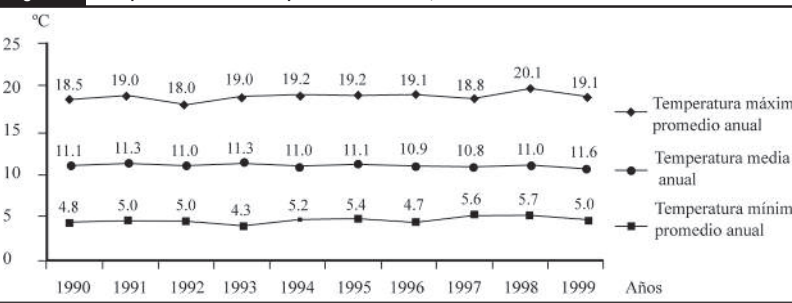
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

Figura 11. Precipitación Media Anual, en la ZMCT, 1980-1989.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

Figura 12. Comportamiento de la temperatura en la ZMCT, 1990-1999.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

caso del año 1986, donde la precipitación presentó el valor máximo promedio. En México, al principio de este periodo, los niveles de precipitación fueron mínimos, los depósitos de almacenamiento de agua para generación de energía eléctrica registraron niveles bajos. Para el área de estudio el 95% de los encuestados, recuerdan que en 1980, el suministro de energía eléctrica fue dosificado en la ZMCT (figuras 10 y 11).

De 1990 a 1999, el comportamiento de la temperatura media anual y la precipitación media anual muestra condiciones peculiares. Se observan ligeras oscilaciones de la *Tma* entre 10.6 °C y 11.3 °C, siendo una de las décadas con menores temperaturas medias anuales. Entre los años 1991 y 1994 hubo temperaturas similares en alternancia de años, por ejemplo, en 1991 y 1993, se registró la misma *Tma* (11.3 °C); en los años de 1992 y 1994, también se registraron temperaturas iguales (11.0 °C).

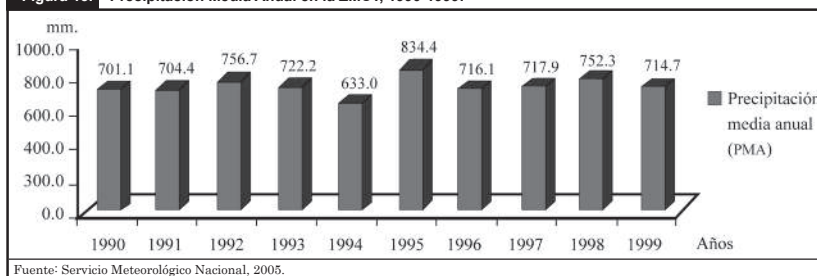
Los años con menor *Tma* y *Tmipa* (más fríos) fueron 1997 y 1993. La información de los encuestados coincide con el análisis de los datos del SMN, pues en el periodo 1990-2007, algunos años han sido muy fríos (bajas temperaturas), recuerdan a 1993, como uno de los años con otoño e invierno muy fríos. El 95% consideran que el cambio del clima ha influido en la agricultura. La precipitación media anual en esta década, también fue muy variable. Los años que registraron mayores precipitaciones fueron 1995 y 1992 (figura 13).

Aunque el periodo 2000 a 2007 no conforma una década completa para realizar análisis en relación con los intervalos anteriores, fue necesario, considerar éstos, toda vez que han existido variaciones significativas con respecto a los años anteriores, por ejemplo, en el año 2005 se registró la *Tma* mayor (11 °C). En el año 2000 se registró el mayor volumen de lluvia (848.4 mm) (figuras 14 y 15).

El análisis de la variable temperatura por década, refleja que en la ZMCT la temperatura máxima promedio anual y la temperatura mínima promedio anual se han incrementado a partir de la década de 1970 hasta el año 2007 (figura 16). Probablemente a causa de las actividades antrópicas –construcción de conjuntos habitacionales, centros comerciales, parques industriales– infraestructura (materiales concentradores de temperatura: asfalto y metal) y equipamiento existente en la ZMCT.

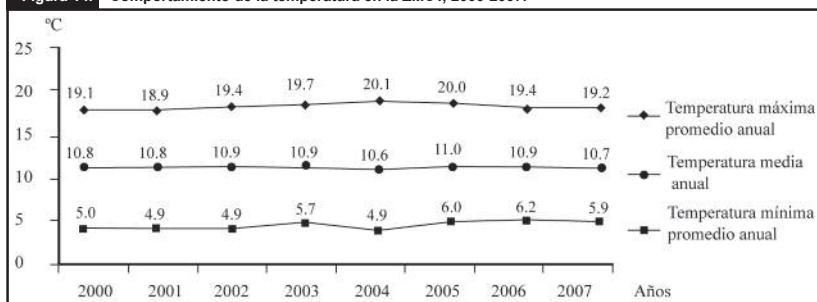
Para la temperatura media anual, se observa un decremento, probablemente

Figura 13. Precipitación Media Anual en la ZMCT, 1990-1999.



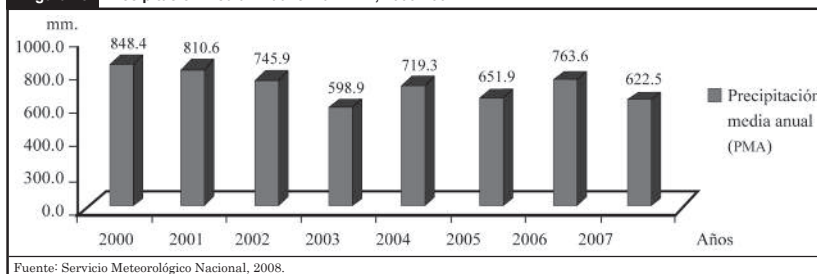
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2005.

Figura 14. Comportamiento de la temperatura en la ZMCT, 2000-2007.



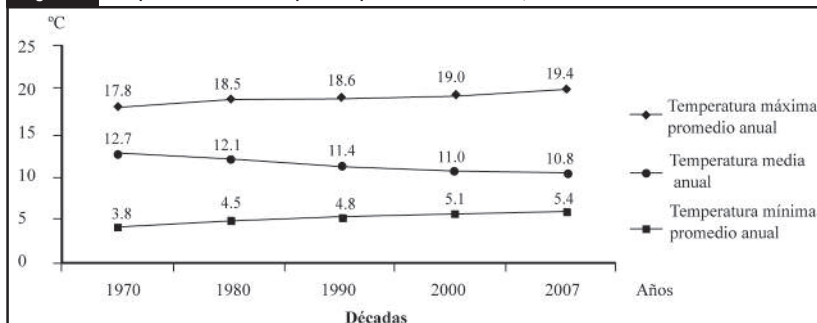
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2008.

Figura 15. Precipitación Media Anual en la ZMCT, 2000-2007.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2008.

Figura 16. Comportamiento de la temperatura por década en la ZMCT, 1970-2007.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2008.

como consecuencia del sistema de registro de las temperaturas, puesto que las temperaturas máximas se registran regularmente después de medio día y las temperaturas mínimas por la mañana y la noche. Al momento de sumar y promediar éstas, mientras menores sean las temperaturas mínimas al momento de promediarlas con las máximas, el valor será menor. El factor altitudinal de las estaciones meteorológicas también influye, ya que algunas estaciones están ubicadas en altitudes superiores, por lo que, al momento de promediar sus valores con las estaciones ubicadas a altitudes inferiores, el valor de esta variable disminuye.

Al comparar la información de la estación meteorológica del Observatorio Meteorológico de la UAEM con las demás, principalmente con las ubicadas en la planicie con asentamientos humanos, muestra un comportamiento semejante, es decir, las temperaturas máximas anuales y las mínimas anuales se están incrementando (figura 17).

La precipitación media acumulada en la ZMCT ha disminuido con relación al incremento de las temperaturas. Como se observa en la figura 18, las décadas de 1970 y 1980 presentaron mayor cantidad de precipitación (mm) en comparación con el periodo 1990-2007, que es cuando hubo un incremento en la temperatura a nivel mundial, esto de acuerdo con la NASA (2008) y el IPCC (1995 y 2001).

Los datos de precipitación muestran una tendencia similar en las décadas de 1970 a 1990, pero en los últimos años registra valores mayores que el promedio de las estaciones. En este caso pueden estar influyendo los procesos estadísticos, ya que solamente se está considerando una estación (figura 19).

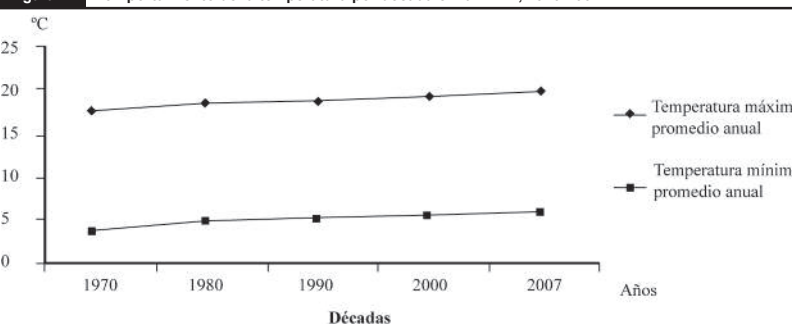
6. Discusión

Para todo el periodo (1960-2007), la temperatura y precipitación presentaron variaciones. En cuanto a la *Tma* mayor, ésta se registró en 1960, con 14.0 °C, y la menor fue registrada en el año 2004, con 10.6 °C respectivamente. Conforme a estos datos, se observa

que la *Tma* está disminuyendo aproximadamente 1 °C por década, pudiéndose asociar a fenómenos naturales y componentes geográficos presentes en la ZMCT y su *hinterland* como es el caso de la inversión térmica y los elementos topográficos (Volcán Xinantécatl y Sierra de las Cruces).

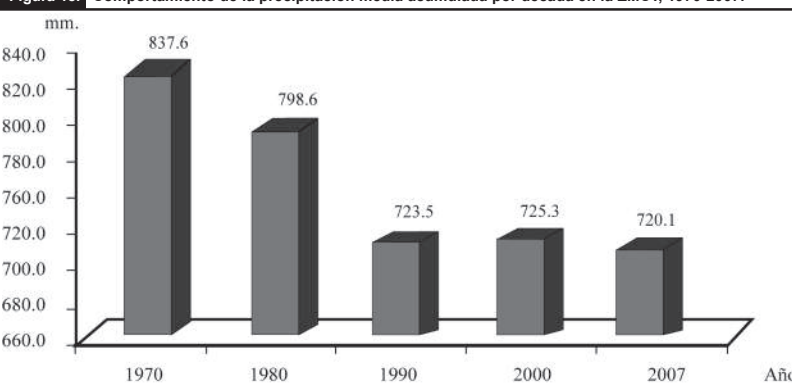
La *Tmapa* mayor se registró en los años 1998 y 2004, con 20.1 °C, para ambos, estos registros se relacionan con los datos emitidos por el IPCC y la NASA, pues en sus informes señalan que las temperaturas mayores en todo el planeta corresponden a los años 2005, 1998, 2002, 2003 y 2004.

Figura 17. Comportamiento de la temperatura por década en la ZMCT, 1970-2007.



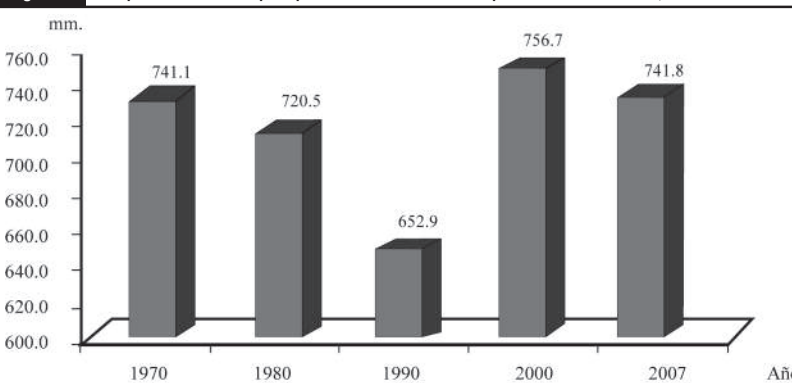
Nota: Cifras observadas por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Figura 18. Comportamiento de la precipitación media acumulada por década en la ZMCT, 1970-2007.



Nota: Cifras observadas por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Figura 19. Comportamiento de la precipitación media acumulada por década en la ZMCT, 1970-2007.



Nota: Cifras observadas por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Tmipa menor para el periodo de estudio fue de 3.2 °C, que corresponde al año 1966; y la *Tmipa* mayor fue 6.2 °C para el año 2006.

Al relacionar los datos de las temperaturas registradas en las estaciones meteorológicas de la ZMCT, se observa que entre 1960 y 2007 en la ZMCT y su *hinterland* existieron variaciones climáticas. Las temperaturas se han incrementado a partir de la década de 1990, siendo ésta la más calurosa en los últimos 100 años en la zona; se registraron las temperaturas máximas anuales más altas en los años 1998 y 2004.

Posiblemente los factores que están influyendo en estas variaciones de temperatura se relacionan con el efecto de invernadero, propiciado por las actividades antrópicas, incremento poblacional con la consecuente utilización de diversas fuentes de energía, las zonas industriales y el Aeropuerto Internacional de la ciudad de Toluca.

En la ZMCT el clima es uno de los factores físicos que pueden influir, condicionar o determinar la presencia de enfermedades, principalmente del sistema respiratorio, toda vez que con frecuencia se registran variaciones extremas, por ejemplo, en cuanto se presenta la precipitación, inmediatamente disminuye la temperatura. La asociación de las condiciones del clima –temperatura, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, precipitación y humedad–, con otros componentes geográficos como la altitud, son factores que en interacción e interrelación con otros componentes pueden provocar impactos.

Al asociar estas variaciones climáticas con la agricultura en la ZMCT, mediante trabajo de campo y entrevistas estructuradas, aplicadas a los habitantes campesinos que en algún momento se dedicaban a cultivar productos agrícolas, ellos opinan que este cambio ha afectado a los cultivos, pues argumentan que ahora la lluvia no se presenta como en tiempos pretéritos, que las temporadas de siembra y cosecha han cambiado, y que por tales razones, ya no se cultivan muchos espacios que antes eran agrícolas, por lo que está cambiando el uso de suelo y en el peor de los casos, se abandonan los campos de cultivo. Estos resultados indican que los ciclos agrícolas de los cultivos pueden ser utilizados como indicadores de variaciones climáticas.

El 90% de los encuestados³ percibe la existencia de variaciones climáticas y opinan lo siguiente:

[...]en los últimos años el clima ha cambiado, en la actualidad las temperaturas son más cálidas, cada vez llueve menos[...]

3. Se utiliza el lenguaje cotidiano de las personas encuestadas.

y, esto se puede observar en los árboles frutales, por ejemplo, antes de 2000, los ciruelos, las peras y los capulines empezaban a florear en la primavera, y ahora en el mes de enero ya tienen flor y hojas nuevas[...].

Las condiciones topográficas, la cercanía o lejanía respecto al mar y la altitud de la ZMCT y su *hinterland* pueden influir o determinar ciertos comportamientos y alteraciones en los componentes del clima, situación que en interacción con otros factores geográficos, ambientales, ecológicos y socioculturales, coadyuvan a incrementar las consecuencias de la contaminación atmosférica, al efecto de invernadero y generación de olas de calor.

En el *hinterland* de la ZMCT, tres factores geográficos están influyendo en las condiciones del clima: a) el Volcán Xinantécatl y la Sierra de las Cruces, con altitudes superiores a 3 000 msnm; b) la dirección de los vientos del suroeste (Volcán Xinantécatl) hacia el norte; y c) la ubicación geográfica en el contexto de la Sierra Volcánica Transversal, pues, se ubica en un valle del Altiplano Mexicano.

Estos cambios se producen a diversas escalas de tiempo y sobre todo en los componentes del clima: temperatura, precipitación, nubosidad, humedad atmosférica. De acuerdo con esta apreciación, en la ZMCT y su *hinterland*, los climas: templado subhúmedo, semifrío subhúmedo y frío son peculiares de la región, sin embargo entre el periodo 1960-2007, la variable temperatura se ha modificado, lo cual puede contribuir a un proceso de variación climática.

Conclusiones

El clima en la ZMCT y su *hinterland* está sufriendo variaciones, posiblemente a causa de las actividades humanas no sustentables, por deterioro de los recursos naturales renovables y no renovables, y por los impactos ambientales que ocasionan las actividades mal planificadas. Con base en este concepto, en la ZMCT y su *hinterland* ya se tienen registros de incrementos de temperatura (principalmente en la *Tmapa* y la *Tmipa*) y variaciones en la precipitación.

De acuerdo con las investigaciones e informes de la NASA (2008) y el IPCC (1995 y 2001), el cambio climático, es la modificación de esta variable con respecto al historial climático a una escala global o regional. Los cambios climáticos se producen a un ritmo lento, de manera que, al menos en el pasado, han resultado prácticamente imperceptibles en periodos de tiempo geológicos. Actualmente no es posible prever el alcance preciso de los cambios climáticos que se puedan producir en el futuro.

- Box, G.; J. Stuart y W. Hunter (2008). *Estadística para investigadores. Diseño, innovación y descubrimiento*. 2ª ed., Reverté, México.
- Canter, L. (2003). *Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impacto*. Mc Graw Hill, España
- Fellows, D. (1985). *Our Environment. An Introduction to Physical Geography*, Willey. New York.
- García, E. (1986). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- García, R. (1986). "Conceptos básicos para el estudio de los sistemas complejos", en E. Leff (coord.) *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. Siglo XXI Editores. México.
- Garduño, R. (1994). *El veleidoso clima*. FCE, México.
- Gobierno del Estado de México-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México (GEM-SEMARNAT-UAEM) (2003). *Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco, Estado de México*. México.
- Gobierno del Estado de México (1995). *Atlas de riesgos del Estado de México*. México.
- Goudi, A. (1989). *The Nature of the Environment*. Blackwell, Oxford.
- Henson, R. (2008). *The Rough Guide to Climate Change*. Royal Society Prizes for Science Books 07. New York USA.
- Hernández, R.; J. Madrigal y C. Morales (2005). "El monóxido de carbono y el clima en Toluca, de 1995 a 2001", *CIENCIA ergo sum*. Vol. 11. Número 3. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Hirabayashi, L. (1999). *The Politics of Fieldwork. Research in American Concentration Camp*. The University of Arizona Press, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1990 and 1992). *Assessment*. (Combined Summary Publication). WMO.UNEP. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1995). *Second Assessment Report: Climate Change*. WMO.UNEP. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Third Assessment Report: Climate Change*. WMO.UNEP. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change*. WMO.UNEP. Cambridge University Press.
- INEGI (2005). *II Censo de población y vivienda*. México.
- INEGI (2002). *Cartografía topográfica y temática del Plan de Ordenamiento del Estado de México*. México.
- Jáuregui, E. (2000). "El clima de la Ciudad de México", *Investigaciones Geográficas*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Jáuregui, E. (2004). "Impacto del uso del suelo en el clima de la Ciudad de México", *Investigaciones Geográficas*, Núm. 055. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Johnston, R.; P. Taylor y M. Watts. (1995). *Geographies of Global Change*. Blackwell. Oxford.
- Kerski, J. y S. Ross. (2005). *The Environment*. Hodder Arnold. Spain
- Lovelock, J. (2007). *La venganza de la Tierra. La teoría de Gaia y el futuro de la humanidad*. Planeta, España.
- Martínez, J. (2006). "Algunos peligros del cambio climático", en S. J. Urbina y F. J. Martínez, (comps.). *Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global*. SEMARNAT-INE, UNAM-Facultad de psicología. México.
- Morales, C.; D. Madrigal y L. González (2008). "Isla de calor en Toluca, México". *CIENCIA ergo sum*. Vol. 14, Núm. 3. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2008). *El Calentamiento Global*. Cambridge University Press.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) (2008). *Campana de Acción Climática y el Clima*.
- Pastrana (2000). "Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales sobre el Cambio Climático (UNFCCC)". México. <<http://www.greenpeace.org/espana/campaigns/energ-a>> (17 de enero 2009).
- Raso, M. (2002). "Relación entre las temperaturas diarias y la mortalidad en Barcelona y ajuste mediante funciones polinómicas", en Guijarro, J.A. et al. (eds). *El agua y el clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, Núm. 3.
- Raso, M. (2007). *El clima y la salud*. Colección Nueva Geoambiente XXI. Editorial Davis Continental, España.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (2005). *Datos de temperatura y precipitación (1960 -2007)*. México.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE) (2006). *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México.
- Strahler, A.; A. Strahler y A. Newell (1999). *Physical Geography. Science and Systems of the Human Environment*. Willey. New York.
- Tomlinson, R. (2007). *Pensando en SIG. Planificación del sistema de información geográfica dirigida a gerentes*. USA. ESRI PRESS.
- Urbina, J. y J. Martínez (Comp.) (2006). *Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global*. INE-SEMARNAT-UNAM. Facultad de Psicología. México.