



VARIABILIDAD DE LA
TEMPERATURA Y DE LA
PRECIPITACIÓN, EN LA CIUDAD DE
TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO.
PERIODO: 1970-2013



**Universidad Autónoma del Estado de
México.**

**Facultad de Planeación
Urbana y Regional.**

AUTOR:

Alberto Primo Salazar

Director (a):

**M. en C. Adriana Guadalupe Guerrero
Peñuelas**

Toluca, Estado de México.

Junio del 2015.

Índice

Introducción	2
Capítulo 1	7
Antecedentes y teoría sobre la variabilidad de la temperatura y de la precipitación.	7
1.1. Marco referencial	8
1.2. Marco teórico conceptual	13
1.2.1 El tiempo atmosférico y el clima	13
1.2.2 Componentes del sistema climático	13
1.2.3 Elementos y factores geográficos del clima	16
1.2.4 Efecto invernadero	23
1.2.5 Cambio climático y variación climática	24
1.3. Factores urbanos que influyen en la magnitud de la variabilidad de la temperatura y de la precipitación	26
1.3.1 Clima urbano	26
Capítulo 2	33
Características del área de estudio y de las estaciones meteorológicas	33
2.1. Caracterización geográfica de la ciudad de Toluca	34
2.2. Características socioeconómicas de la ciudad. Periodo: 1970 – 2013	39
2.3. Características de las estaciones meteorológicas	41
.....	46
Capítulo 3	47
Análisis de los registros de la temperatura y de la precipitación	47
3.1. Comportamiento de la temperatura y de la precipitación, por estación meteorológica	48
Capítulo 4	86
Triangulación de los datos de las 5 estaciones	86
Resultados	87
Discusión	98
Conclusiones	101
Citas bibliográficas	102
Anexos	111

Introducción

El cambio climático se ha definido como una importante variación en el estado medio del clima, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). Éste puede ocurrir como respuesta a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (IPCC, 2008). Fuentes (2000) señala que el cambio climático se genera cuando existe una variación permanente en los elementos del clima en un amplio espacio geográfico y es ejemplo de ello, la sucesión de periodos glaciares e interglaciares. Por otro lado, la variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad climática se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático, o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (IPCC, 2008). Un ejemplo de las variaciones climáticas es la sequía que puede padecer una determinada área geográfica, durante unos años seguidos, en un periodo corto y tras ellas se reestablecen las condiciones habituales (Fuentes, 2000).

De los doce años de 1995 a 2006, once figuran entre los doce más cálidos de la temperatura mundial (Desde 1850). Por otro lado, las emisiones mundiales de GEI (Gases de efecto invernadero) por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 80% entre 1970 y 2004. Entre 1956 y 2005, el calentamiento lineal (0,13 [entre 0,10 y 0,16] °C por decenio) ha sido casi el doble del experimentado en los cien años transcurridos desde 1906 hasta 2005 (IPCC, 2008).

La variabilidad climática de la temperatura es mayor a escala regional que a escala mundial, lo cual afecta la posibilidad de identificar los cambios acaecidos en respuesta al forzamiento externo. A escala regional, influyen otros factores no climáticos (por ejemplo, los cambios de uso de la tierra, la polución, o las especies invasivas) según el IPCC (2007:41)

Probablemente en los últimos 50 años los días y las noches frías así como las escarchas hayan sido menos frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, y los días y noches cálidas hayan sido más frecuentes. Es probable que la influencia humana haya contribuido a la tendencia mundial creciente que se aprecia en las extensiones afectadas por sequías desde los años 70 y en la frecuencia de las precipitaciones intensas. Entre 1900 y 2005 las precipitaciones han aumentado notablemente en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, aunque en otras partes ha disminuido como en el Sahel, el Mediterráneo, el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia.

Las variaciones climáticas traen como consecuencia; temperaturas máximas más elevadas: sequías, estrés térmico y riesgo de daños a varios cultivos; temperaturas mínimas más elevadas y menos días fríos, días de heladas y días de frío en casi todas las zonas terrestres: disminución de la morbilidad y natalidad humana relacionadas con el frío, distribución y actividad de algunas plagas y vectores de enfermedades; episodios de precipitaciones más intensas: daños provocados por inundaciones, desprendimientos de tierra y avalanchas, y erosión del suelo.

En el caso de las ciudades, la magnitud de la variabilidad de la temperatura y de la precipitación del clima regional está relacionada con la expansión urbana, la reducción de áreas verdes y las acciones antrópicas, de la misma. Por ejemplo en la ciudad de México las áreas de precipitaciones más intensas se desarrollan, una en el centro del área urbana, que parece ser inducida por la misma ciudad (isla de lluvia de origen convectivo) y otra en la zona que domina el efecto orográfico afectando los suburbios del sur al poniente de la ciudad (Jáuregui, n. d.:30).

Observaciones efectuadas en todos los continentes, evidencian que numerosos sistemas naturales están siendo afectados por cambios del clima regional, particularmente por un aumento de la temperatura. Toda vez que tiene una cantidad creciente de fuentes de calor, tales como edificaciones, acciones antrópicas, sustitución del suelo natural por pavimento, en el cual el agua escurre rápidamente casi en su totalidad y por las descargas que pudieran realizar los motores de combustión interna a la atmósfera (contaminantes y vapor de agua). Son por las

razone anteriores, que autores como Jáuregui (2009), y particularmente Juan (2010), Morales (2007) y Torres (2013), realizan estudios de variaciones climáticas, en el Estado de México. Sin embargo la abundante investigación científica que se ha realizado a nivel estado, no se ha desarrollado para la cuenca de ciudad de Toluca, es por esto que surge la necesidad de realizar estudios de carácter meso climático.

La presente investigación realiza un estudio de variaciones climáticas en la ciudad de Toluca, analizando la temperatura y la precipitación, del periodo 1970 al 2013. La disponibilidad de información en los registros permite analizar un periodo mayor a 30 años con lo cual ayuda a conocer con mayor precisión la evolución de las condiciones climáticas en la zona de estudio.

Los registros obtenidos para la elaboración de esta investigación, se recopilaron de las estaciones meteorológicas más cercanas a la ciudad, en la cual, se realizó el análisis de los registros anuales de la temperatura y la precipitación, por estación y el resultado de la triangulación de los datos meteorológicos a partir de las 5 estaciones.

El objetivo general es analizar la magnitud de la variabilidad de la temperatura y la precipitación, de la ciudad de Toluca, e identificar la relación con el crecimiento urbano y las acciones antrópicas, de la misma, durante el periodo 1970 - 2013.

Los objetivos específicos son:

1. Realizar la caracterización físico-geográfica de la ciudad de Toluca
2. Recolectar los registros de la temperatura y de la precipitación del periodo 1970 al 2013 de las estaciones meteorológicas que circundan la ciudad de Toluca.
3. Implementar la formula promedio móvil centrado y línea de tendencia, para sanar los huecos y observar el comportamiento de la información.

4. Identificar la magnitud de la variabilidad de los registros de la temperatura y de la precipitación, del periodo 1970 al 2013, en la ciudad de Toluca y relacionarlos con los principales eventos de crecimiento urbano.

En la presente investigación se han considerado datos que no tienen una característica de medición. Y para sanar los huecos de información que existen en los registros de temperatura y de precipitación, capturados por las estaciones meteorológicas, se implementa el método estadístico promedio móvil centrado y línea de tendencia, así como la fórmula de coeficiente de correlación estadística para observar el comportamiento de las variables, las cuales consisten en:

Promedio móvil centrado: Es el 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).

Tendencia: Es el cambio o movimiento gradual de una serie de tiempo a valores relativamente superiores o inferiores durante plazos relativamente largos. Cuando una variable cuantitativa se registra en el tiempo a intervalos igualmente espaciados (por ejemplo diario, semanal, mensual, trimestral o anual), el conjunto de datos forma una serie de tiempo. Los datos de una serie de tiempo se presentan con más efectividad en una gráfica de líneas con el tiempo como eje horizontal. La idea es tratar de distinguir un patrón o tendencia que sea probable de continuar en el futuro y luego usar ese patrón para hacer predicciones precisas para el futuro inmediato (Mendehall, 2009).

Según Devore (2012): La correlación estadística determina la relación o dependencia que existe entre las dos variables en una distribución bidimensional. Es decir determina si los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la otra. El coeficiente de correlación lineal se expresa mediante la letra r .

Por otro lado las estaciones meteorológicas se interceptan en un área de influencia de 9 kilómetros por lo que para la OMM (Organización Meteorológica Mundial, 1994)

considera que en esta área los fenómenos atmosféricos, tienen las densidades mínimas de medición.

Finalmente en el trabajo se presentan:

En el capítulo I se abordan estudios previos al tema de investigación, para analizar y reforzar, la tendencia de las variaciones climáticas, con respecto a las características del espacio así como para integrar el marco teórico. Se detalla la estructura de los componentes del sistema climático y se refiere de la interacción entre ellos. Posteriormente se describen los factores climáticos. Y por último se detalla la interacción de los elementos climáticos con los factores geográficos, como sistema.

En el capítulo II mediante la descripción física, geográfica y socioeconómica del área de estudio del periodo 1970 al 2013, se contrastan las características y expansión urbana del espacio en estudio. Un aspecto relevante es que con lo anterior, se describe una aproximación de la relación del incremento de los parámetros climáticos con los eventos de crecimiento urbano, así como las características de las estaciones meteorológicas que determinan su área de influencia y por las lecturas que estas realizan, ya que se observa la magnitud de los elementos climáticos condicionados por la lejanía respecto con la ciudad.

En el capítulo III se implementa el método promedio móvil centrado a los datos de la temperatura y la precipitación anual y posteriormente se gráfica para analizarse por cada estación, lo cual ayuda a identificar incrementos puntuales anuales, de las décadas y estaciones, de las variables climáticas en estudio.

En el capítulo IV se implementa el método promedio móvil centrado y la línea de tendencia a los datos de temperatura y de precipitación, resultantes de la triangulación de las estaciones, y después se analizan, estableciendo una comparación con la magnitud de los elementos climáticos en estudio y los eventos de crecimiento urbano que ha experimentado la ciudad.

Consecuentemente se describe la discusión, las conclusiones y los anexos.

Capítulo 1

Antecedentes y teoría sobre la variabilidad de la temperatura y de la precipitación.

1.1. Marco referencial

Estudios realizados sobre variaciones atmosféricas en áreas urbanas demuestran que los efectos son atribuidos a la propia ciudad. Ya que el cambio de uso de suelo forestal, por agrícola y urbano, repercute en los elementos del clima, el suelo urbano determina la implementación de materiales pétreos, contribuye a la explosión demográfica y desarrolla actividades de transformación. Las ciudades son capaces de modificar el clima regional contribuyendo de forma notable al calentamiento global y son las áreas más vulnerables a los impactos (Fernández, 2010).

Estos cambios afectan los patrones regionales de evaporación, lluvias e infiltración del agua al subsuelo y la distribución de la energía en el planeta (Staines, 2007).

Se han realizado diversos estudios para determinar de qué forma afecta el espacio urbano a la dinámica climática entre ellos destaca el trabajo realizado por Quereda *et al* (2008) y Fernández (2010) donde se asegura que la temperatura media anual muestra la gran diferencia entre los valores de la estación meteorológica urbana instalada en la terraza del Casino Antiguo de Castellón y los valores de las estaciones situadas fuera del casco urbano, universitaria y marina. La temperatura media anual del período 2004-2006, ha sido de 20°C en el centro urbano y de tan sólo 17,5°C sobre la superficie del mar y 18,1°C en la periferia urbana (Estación universitaria). La temperatura y la composición del aire, presente en el ambiente urbano, se modifica debido a los procesos energéticos, que se produce al interior de la ciudad, así como los flujos de calor, almacenado en el suelo, los edificios y el generado por el hombre y sus actividades, aunado a las emisiones de contaminantes, procedentes de los focos de calor domésticos, industriales, y al tráfico rodado. Dicho estudio en el estado de Chiapas, los datos de concentraciones de cuatro contaminantes atmosféricos (SO₂, NO₂, H₂S y PM₁₀) monitoreados en tres estaciones en la zona norte del estado, de enero 2001 a febrero 2005. Describió la concentración en función del tiempo y/o las variables meteorológicas, empleando un análisis de regresión lineal múltiple paso a paso en la selección de variables regresoras (la temperatura, la humedad relativa y la dirección del viento). De este estudio paramétrico, se concluyó que las variables meteorológicas describieron

adecuadamente la concentración anual y mensual, pero no la concentración diaria (Ramos *et al*, 2010).

Un análisis realizado en Castellón ha permitido evaluar la magnitud del efecto de calor en una urbe de 200,000 habitantes. Esta generación de calor urbano se ha manifestado tanto en la temperatura máxima como en la temperatura mínima. No obstante ha sido en esta última donde el efecto ha mostrado un valor mayor. Considerando la diferencia entre la temperatura urbana y la situada en la periferia, los valores son notablemente altos, 1.8°C en la temperatura máxima y, 2.8°C en la temperatura mínima. Diferencia que supone un fuerte sesgo en la determinación de la temperatura media (Quereda *et al*, 2008). El estudio del incremento de temperatura, en algunos lugares como Murcia mostró que (2000 y 2005) las urgencias hospitalarias se incrementaron un 1.6% en los días con más de 22.4°C de mínima, y un 0.21% por cada grado de aumento de la mínima. El 38% de los golpes de calor ingresado no se notificaron, y el 40% de los notificados tenían exposición laboral. (García *et al*, 2008) Otro efecto negativo que se puede presentar es la afectación a la salud de las personas. Por ejemplo, incremento en la mortalidad y morbilidad (predominantemente por enfermedades cardiorrespiratorias) debido a la mayor intensidad prevista y a la duración de las olas de calor. Aquí también se incluye un potencial impacto benéfico de los aumentos de temperatura en las regiones más frías que reduciría muertes a causa del frío indirectos. Que se espera que sean los que predominen, y que incluye aumentos de la posible transmisión de enfermedades infecciosas por vectores (por ejemplo, malaria, dengue, fiebre amarilla, etc.), como resultado de ampliaciones de los límites geográficos y de la estación para los organismos vectores, sobre todo en las regiones tropicales, subtropicales y de zonas templadas menos protegidas. Igualmente, pueden producirse algunos aumentos de las enfermedades infecciosas no transmitidas por vectores –como salmonelosis, cólera y giardiasis– como resultado tanto de altas temperaturas, así como de más inundaciones. (Calvo, 2008)

La aglomeración Necochea / Quequén en Argentina, del periodo 1997 – 2006, demuestra, que la temperatura media mostró un incremento de 1.1°C, el mayor

incremento se manifestó en verano con 1.5°C , luego en primavera, invierno y otoño ($0,8^{\circ}\text{C}$). (Merlotto & Piccolo, 2010)

En las investigaciones realizadas por Romero *et al* (2010), las áreas más cálidas se encuentran en las construcciones sociales de alta densidad de menores ingresos y carentes de vegetación (islas de calor), mientras que las más frías residen con los grupos de mayores ingresos, caracterizado por el predominio de áreas verdes y bajas densidades residenciales, de acuerdo a las condiciones socioeconómicas de la población, en Santiago de Chile.

Según Serra (2008) la configuración de la isla de calor muestra en casi todos los casos de estudio, la presencia de una isoterma cerrada, sobre el centro de la ciudad. Esta isoterma localiza el máximo térmico.

La distribución de la temperatura, en el área urbana, proveniente de la radiación solar, está influenciada por los materiales que la componen, ya que las propiedades termo físicas de dichos materiales especialmente el albedo solar y la emisividad infrarroja tiene un fuerte impacto en el balance energético de las ciudades. El componente urbano, de mayor superficie horizontal, expuesta a la radiación solar, es el pavimento de suelo urbano, el cual en la mayoría de los casos posee alta absorptividad y elevada capacidad térmica. (Correa *et al*, 2003)

Estudios en la ciudad de México, demuestran que durante la segunda mitad del siglo XX, la frecuencia de los eventos de ondas de calor se incrementaron de 6 a 16 en los años noventa, con marcado incremento poblacional de la capital de 8.5 a 16.5 millones de habitantes. Durante este tiempo el contraste promedio urbano/rural se consideraba de 6 a 10°C (Jáuregui, 2009).

De acuerdo a Jáuregui (2004) en extensas áreas de la cuenca de México, las temperaturas máximas anuales mantienen una tendencia positiva de 0.07°C por año, y la Temperatura mínima en sitios suburbanos el incremento promedio se mantiene en 0.15°C por año, mientras que en las áreas rurales es casi la mitad 0.08°C por año.

La tendencia estacional de la precipitación registrada en México especialmente durante el verano, geográficamente, la lluvia se incrementa en las regiones áridas y semiáridas en un 1.8% en promedio de la precipitación total anual (PTA) y sólo 0.9% en las regiones húmedas; mientras que la disminución promedia 1.2% de la PTA (Precipitación total anual), tanto en regiones secas como húmedas, dándose a escalas regionales. El verano registra incrementos y decrementos de aproximadamente 30 mm por década mientras que el invierno registra, solamente 8 mm por década (Méndez *et al*, 2007).

En la ciudad de México se desarrollan las áreas de precipitaciones intensas, uno en el que domina el efecto orográfico afectando los suburbios del sur al poniente de la ciudad. El otro donde el máximo de lluvia extrema ocurre en el centro del área urbana, que parece ser inducido por la misma ciudad (la isla de lluvia). Podría estar relacionado con el aumento en la extensión de la ciudad que proporciona energía adicional (eg la isla de calor) para el desarrollo posterior de las nubes convectivas que cruzan la ciudad (Jáuregui, 2009:30).

Para el caso particular de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, se han encontrado variaciones en el clima posiblemente a causa de las actividades humanas no sustentables, por el deterioro de los recursos naturales renovables y no renovables, o por los impactos ambientales, que ocasionan las actividades mal planificadas (Juan *et al*, 2010).

Durante el periodo 1961-2008, un estudio realizado en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México, mediante el análisis de los valores temperatura promedio anual y precipitación media anual argumenta: las variaciones de temperatura y precipitación han seguido un patrón de comportamiento similar, entre el periodo de análisis, debido a la baja o alta presencia de factores antrópicos como la deforestación e incremento poblacional principalmente en este contexto, para el caso de algunas estaciones, y para otras que tienen cercanía a áreas con abundante presencia de cobertura vegetal y otros ecosistemas naturales; mostraron un contraste en sus valores de precipitación y temperatura al igual que en sus valores de evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración. En contra

parte, en las estaciones en oficinas que generan transformaciones de cobertura y uso de suelo, evidencian variabilidades entre sus elementos climáticos (Torres, 2013).

Con respecto a la calidad del aire Hernández (2004) concluyo que uno de los gases contaminantes con mayor distribución y concentración en Toluca y su área metropolitana es el monóxido de carbono, al igual que el dióxido de azufre y el dióxido de carbono, depende básicamente de las emisiones de los automóviles y las industrias. Estos gases tienden a dispersarse en todo el valle, aunque por su combinación con las bajas temperaturas del periodo invernal y la baja humedad del aire presenta riesgos para la salud humana.

Morales, *et al* (2007) el clima de la ciudad de Toluca está asociado con el cambio de uso de suelo, generando la presencia de la isla de calor. La diferencia térmica entre la periferia y el centro es de 3 °C, durante el día, y de 1.5 °C por la noche, en el invierno, en tanto que en el verano la oscilación es de 2 °C.

La temperatura no es el único componente climático que ha registrado modificaciones dentro de las áreas de influencia de las ciudades de México y Toluca de acuerdo con Garduño (1994) el régimen de precipitación ha aumentado.

Después de analizar las investigaciones previas al tema, en el siguiente apartado se describe al sistema climático, con sus componentes, elementos y factores geográficos.

1.2. Marco teórico conceptual

1.2.1 El tiempo atmosférico y el clima

A los fenómenos ocurridos en la atmósfera se les llama meteoros. Con base en sus partículas constitutivas y en los procesos físicos que intervienen en su formación éstos se clasifican en aéreos, acuosos, luminosos, eléctricos y de polvo (Fuentes, 2000). La ciencia encargada de su estudio es la Meteorología. Por otra parte a las características físicas o al estado de la atmósfera que se da en un lugar y en un tiempo determinado (periodo de tiempo corto), así como su distribución espacial y su evolución temporal en un estudio de horas o días se le llama tiempo meteorológico o atmosférico, y su investigación también es competencia de esta disciplina (Fuentes, 2000; Guevara, 1988).

En cuanto al clima según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (2008:180) se define como el estado promedio del tiempo meteorológico y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. Las magnitudes correspondientes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento).

En el mismo sentido la Organización Meteorológica Mundial (2014) señala que el clima es la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de las cantidades de interés durante un período de tiempo. El período promedio habitual es de 30 años.

Por lo tanto un área puede tener diferentes tiempos meteorológicos, pero es característica de un solo clima.

1.2.2 Componentes del sistema climático

A la unión de partes o componentes, conectados en forma organizada, que se afectan por el simple hecho, de estar dentro de la estructura, se le

considera como un sistema (Van, 2000). El clima se conceptualiza como tal, ya que funciona gracias a la unión coordinada entre sus elementos.

El sistema climático consta de cinco componentes principales:

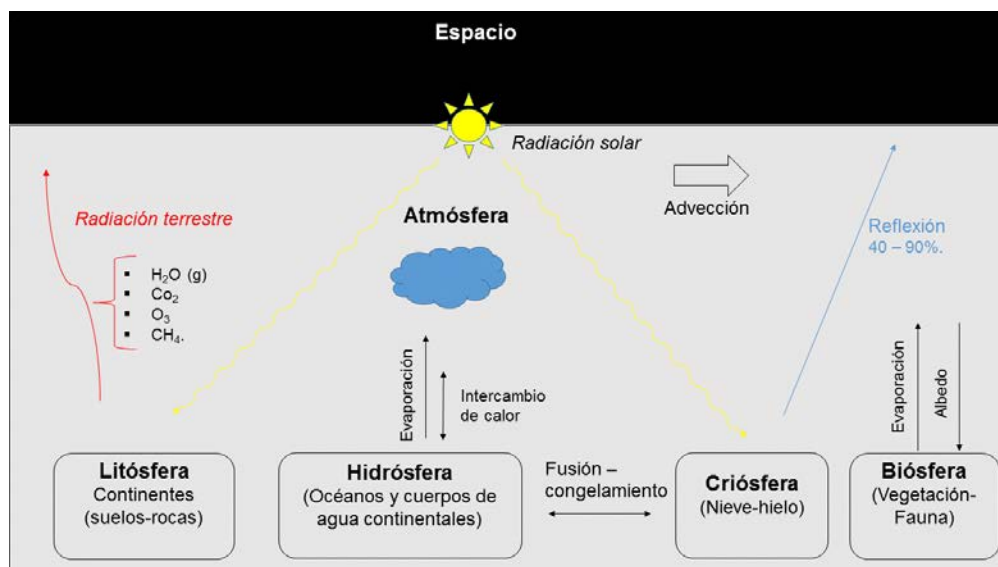
- i. Atmósfera
- ii. Hidrósfera
- iii. Criósfera
- iv. Biósfera
- v. Litosfera

Fuente: IPCC (2008)

- i. La atmósfera de la Tierra, es una capa de aire, formada por diferentes estratos donde la temperatura y algunas de sus propiedades varían con la altura; una de estas variaciones, es la rápida capacidad de respuesta al desigual reparto de calor. Cabe mencionar que aunque el 99.96% de la atmósfera está constituida de gases como el nitrógeno, oxígeno y argón, la importancia meteorológica de éstos es nula, por otra parte existen otros componentes que aunque con menor presencia (CO₂, CH₄, O₃, vapor de agua) tienen un papel muy importante en el sistema climático, particularmente en la absorción de la radiación terrestre (Flores & Ortiz, 2009).
- ii. La hidrósfera; se constituye por el agua líquida del mar y de los continentes, ésta almacena gran cantidad de energía solar -incluso más que la propia atmósfera- debido a su gran superficie, volumen y capacidad calorífica. Esto último significa que los mares, océanos y cuerpos de agua continentales requieren de mucha energía para incrementar su temperatura o bien perder gran cantidad de energía para sufrir un descenso de la misma. Por esta razón tanto las variaciones diurnas como los cambios de temperatura del aire a lo largo de año son menos marcados en áreas que están bajo la influencia de cuerpos de agua.

- iii. La criósfera; está representada por las regiones cubiertas de nieve o hielo, en tierra o mar, presenta un alto porcentaje de albedo, en algunas partes refleja hasta un 90% de la radiación solar incidente.
- iv. La litósfera; es la responsable del intercambio de materia y energía con la atmósfera, se representa con suelos, sedimentos y rocas de la corteza continental y oceánica, y en última instancia, las partículas suspendidas de polvo, resultantes del contacto con la superficie terrestre y de actividades volcánicas, ya que influyen decisivamente en la absorción de radiación solar. Además, debido a que el suelo presenta un calor específico bajo y a que la radiación solar que recibe en superficie sólo penetra un par de metros, la litósfera almacena poco calor el cual intercambia inmediatamente con la atmósfera. Por esta razón la temperatura del aire que está por encima de la superficie terrestre sufre grandes variaciones a lo largo del día y del año.
- v. La biósfera; constituida de vegetación y fauna, interviene en la evaporación directa, según el suelo cubierto y, modifica el albedo terrestre, e incrementa la capacidad de retención de agua, en el suelo. (Vide, 2010). Algunas de las interacciones entre los componentes del sistema climático se representan en la imagen 1.1.

Imagen 1.1 Sistema climático.



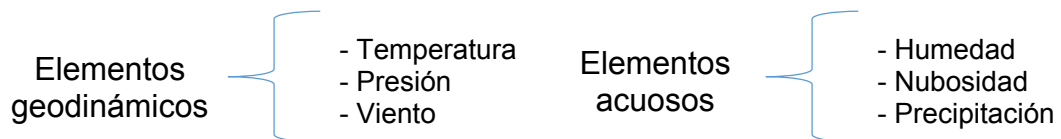
Fuente: Elaboración propia con base en Fuentes (2000).

1.2.3 Elementos y factores geográficos del clima

Los tres factores astronómicos que modifican el clima terrestre son: a) La excentricidad de la órbita terrestre, b) Oblicuidad y c) Precesión de los equinoccios. Combinadas estas tres características astronómicas, el resultado es que las interferencias entre cada ciclo, hacen variar significativamente la temperatura en la superficie terrestre. (Girola, 2015) Los elementos del tiempo y clima son las diversas características físicas de la atmósfera cuyos valores y variaciones deben conocerse para determinar al tiempo o al clima. A) Elementos son: temperatura, presión, viento, humedad, nubosidad y precipitación. (Ayllón, 2003) Mientras los factores o controles del tiempo y clima, son los diferentes fenómenos meteorológicos o geográficos que actuando sobre los elementos anteriores, ocasionan sus diferencias de un lugar a otro con la consiguiente variación del tiempo o del clima. B) Factores son: Latitud geográfica, altitud del lugar, vegetación, suelo, orientación del relieve, corrientes marinas, la continentalidad o grado de alejamiento mayor o menor del lugar con respecto a los océanos y mares interiores. (Guevara, 1988)

A) Elementos climáticos

Ayllón (2003) los clasifica en dos: elementos geodinámicos y acuosos, los cuales se describen a continuación.



I. Temperatura

La temperatura en la superficie terrestre viene determinada por la cantidad de calor almacenado, que a su vez, depende del flujo de calor, en ese punto; radiación solar (entrada) y radiación terrestre (salida), así como de los diversos mecanismos que intervienen en los procesos. Los mecanismos

pueden ser el grado de evaporación y el escurrimiento superficial (Fuentes, 2000). La distribución de calor dentro del sistema climático, se da mediante las circulaciones atmosféricas y oceánicas.

II. Precipitación

Se le conoce como precipitación, a la caída de agua, de las nubes, sea en estado líquido o sólido, que les permita caer hasta el suelo.

Cuanto mayor es la cantidad de vapor de agua en el aire, se incrementan las precipitaciones, absorben la energía irradiada por la tierra, y tiene mayor capacidad para producir tormentas eléctricas.

La precipitación se puede originar por diversas causas a) Orográfica: debido a las tierras ubicadas en la altura, las masas de aire se ven forzada a elevarse cuando menos parcialmente. b) Convección: el calentamiento diferencial de la superficie terrestre o marina, produce áreas cálidas, que provocan la elevación de masas de aire caliente. c) Convergencia: cuando dos masas de aire se encuentran formando un ángulo obtuso y se produce un ascenso de aire húmedo. d) Causa ciclónica: suele denominarse precipitación frontal y puede incluir la lluvia de convergencia, ya que la zona de transición, entre las dos masas de aire, puede considerarse como un frente (Griffiths, 1985).

La precipitación, se origina, por los cinturones permanentes y semipermanentes de presión, donde el aire está sometido a movimientos ascendentes o descendentes, y las condiciones dan lugar a la humedad, o aridez. Los sistemas de vientos locales y regionales afectan en gran manera, a la precipitación; las fuertes brisas de mar locales, la estimulan, mientras que si son de tierra, la inhiben. En escalas mucho mayor, los vientos monzónicos que soplan hacia el mar o proceden del mar, y los lagos situados tierra adentro, o las grandes extensiones de agua pueden dar lugar localmente a aumentos de la precipitación, sobre las zonas situadas, tras dichas masas de agua, en la dirección del viento dominante.

III. Presión

El aire como cualquier otro cuerpo sujeto a la gravedad tiene un peso. La presión atmosférica, es el peso del aire, por cada unidad de superficie. El peso de una columna de aire varía, con su temperatura; cuando el aire se calienta, se expande y es menos denso, que una columna de la misma altura y sección, constituida de aire frío y denso. Hay que tener en cuenta el contenido de humedad ya que el vapor de agua tiene menor densidad. La temperatura alta, produce, baja presión atmosférica en la superficie de la tierra, mientras que con bajas temperaturas, sucede lo contrario en la propia superficie (García, 1986).

IV. Viento

El viento es el aire que está en movimiento, dicho movimiento es originado por las diferencias horizontales de presión atmosférica. Es decir, el desequilibrio creado por la diferencia de presión entre dos zonas de la atmósfera, tiende a corregirse mediante un desplazamiento de aire de la zona de mayor presión a la de menor presión (Fuentes, 2000)

V. Humedad

La humedad atmosférica; hace referencia a la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera. El vapor de agua; se origina por la evaporación de agua en océanos y mares así como en la superficie terrestre, que después se condensa para formar nubes (Gil, 2007). La mayor o menor capacidad del aire, para contener el vapor de agua, depende de su temperatura (García, 1986). La formación de nubes depende de la inestabilidad atmosférica y del movimiento vertical, pero también, está gobernada por los procesos a pequeña escala (Barray y Chorley, 1999).

VI. Nubosidad

Una nube es un conjunto o asociación grande o pequeña de gotitas de agua y, muchas veces también lo es, de cristales de hielo. La masa que forman se distingue a simple vista suspendida en el aire y es producto de un gran proceso de condensación (Fuentes, 2000).

El movimiento vertical que genera condensación puede deberse a: (1) la elevación gradual del aire sobre una extensa zona asociada a un sistema de bajas presiones; (2) convección térmica; elevación por turbulencia mecánica o ascensión sobre una barrera orográfica (Barray & Chorley, 1999).

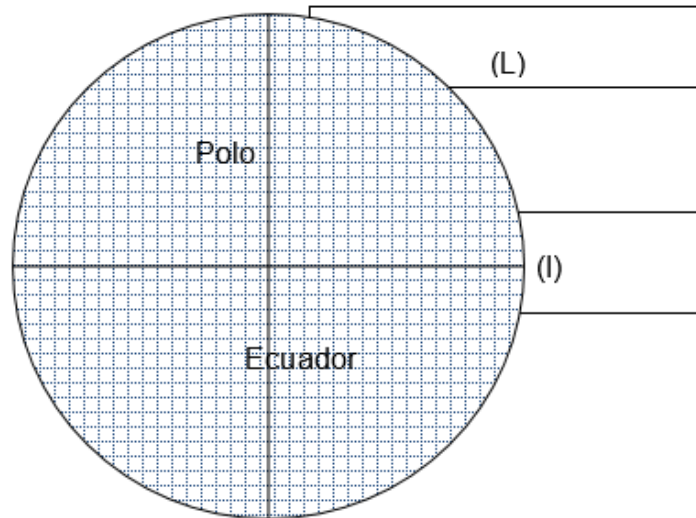
Donn (1978) señala que la condensación es más fácil sobre núcleos grandes que tengan cierta afinidad por el agua, como las partículas de sal, polvo, humo y los compuestos químicos; el vapor de agua, puede empezar a condensarse con una humedad relativa del 75%, que es un coeficiente bajo. Cuando la humedad relativa es mayor, las partículas pequeñas, también llegan a ser activos, aunque no tengan afinidad por el agua.

B) Factores geográficos

I. Latitud

De acuerdo a la latitud, varía la temperatura, la cual disminuye del ecuador a los polos. Esto se explica ya que el haz de rayos que llega al ecuador y sus áreas circundantes lo hace de una manera perpendicular, distribuyéndose en una superficie menor (I), tal como se observa en la imagen 1.2 En tanto que el mismo haz de rayos, que incide en latitudes mayores, lo hace de una manera oblicua, y por lo tanto se distribuye en una superficie mayor (L), reduciendo la intensidad de la radiación solar (Fuentes, 2000).

Imagen 1.2 Incidencia de los rayos solares sobre la tierra.



Fuente: Elaboración propia con base en Fuentes (2000).

II. Altitud

La altitud influye directamente en la disminución de la temperatura por varias razones: durante el día, la capa inferior del aire se calienta por contacto con la superficie terrestre, al dilatarse disminuye su densidad, y produce un movimiento de ascenso de aire caliente, el cual se enfría a medida que se eleva, enseguida se expande. Por el contrario, si el aire desciende se comprime y aumenta su temperatura nuevamente (proceso adiabático). El valor del gradiente térmico de esta variación con la altura depende de varias circunstancias; entre ellas, la temperatura del suelo, la manera en que se realice la liberación de calor latente por condensación, el vapor de agua y la velocidad con que se mueva el aire. Sin embargo se calcula un gradiente promedio de $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ de altura (Ayllón, 2003).

Es preciso señalar que con la altura también disminuye la presión atmosférica, la humedad, la nubosidad y las precipitaciones.

III. Vegetación

La función de la vegetación comienza cuando las hojas de las plantas exhalan por transpiración agua en cantidades muy superiores a las que se pierden por evaporación directa. El valor de la evaporación, depende principalmente de la sequedad del aire, pero también, se afecta por el viento y el tipo de vegetación. En grandes masas, como bosques y selvas, las temperaturas son menores, que en áreas sin vegetación. La vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis. Es por esta razón que los bosques son importantes sumideros de carbono (Benjamín & Masera, 2001). En los pastizales, la temperatura es más alta, la humedad y las precipitaciones son medias. En las zonas de vegetación xerófila, la oscilación térmica es máxima, la humedad mínima y la precipitación escasa (Ayllón, 2003). El suelo cubierto de vegetación influye en la humedad máxima, y las grandes precipitaciones (Guevara, 1988).

IV. Suelo

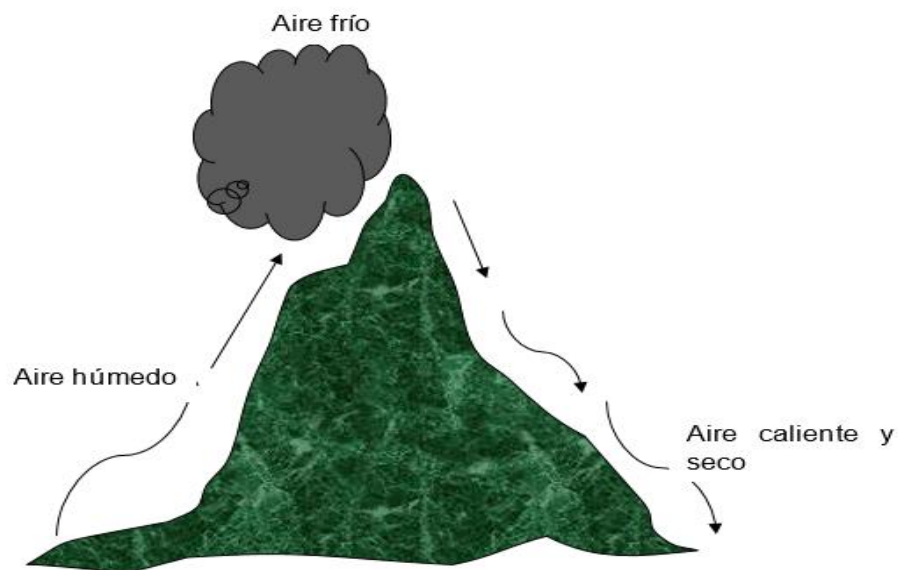
La naturaleza del suelo influye en la velocidad de evaporación y la temperatura del aire; especialmente la máxima diaria. Las superficies oscuras absorben mayor cantidad de radiación solar, que las de colores claros, por lo tanto y de manera general estas regiones son más calientes en el día, ya que calientan el aire situado encima de ellas con mayor intensidad (Antich y Jordà, 1975). La variación de la temperatura dentro del suelo depende de dos parámetros físicos importantes: la conductividad de calor y la capacidad de retención del mismo. Estos dos factores regulan las variaciones de temperatura, que ocurren, pero que pueden modificarse, al humedecerse o secarse (Griffiths, 1985). La plantación de árboles y matorrales en los climas de mucho viento, repercute sensiblemente sobre el clima próximo al suelo, ya que así se frena y desarticula la velocidad del

viento disminuyendo a su vez la evaporación y el intercambio vertical del dióxido de carbono del aire en esos niveles bajos (Flohn, 1968).

V. Orientación del relieve

Es un factor, que por su forma y posición, actúa sobre los vientos, las precipitaciones y las temperaturas. Con los vientos; funciona como pantalla, produciendo diferencias de insolación según la ladera expuesta, y modifica el régimen de precipitación, de acuerdo a la ladera de barlovento (expuesta a la acción de vientos húmedos marítimos), y la ladera a sotavento (protegida del viento), sometida al efecto Foehn. Llueve más en las vertientes de barlovento, porque, el relieve, da origen a lluvias orográficas, al forzar el ascenso de las masas de aire húmedo. Las montañas del continente también influyen, en la circulación y la evolución de las masas de aire, en el sentido de detenerlas o desviarlas que por ende, la variación de la temperatura resulta influida (Morales, 1990). Observar imagen 1.3 Efecto Foehn

Imagen 1.3 Efecto Foehn



Fuente: Elaboración propia.

VI. Corrientes marinas

Las corrientes marinas están encargadas de trasladar una enorme cantidad de energía térmica y de agua. El aumento de la temperatura cambia el régimen de presión y la dirección del viento. Las corrientes frías también ejercen una poderosa influencia, disminuyen la temperatura, regularizan la presión y los vientos, y aumentan la humedad; haciendo el clima más brumoso y sin precipitaciones (Ayllón, 2003).

VII. Continentalidad

Es el grado de alejamiento de una superficie terrestre con respecto a los océanos y mares interiores así como su situación orográfica con relación a las circunstancias que determinan la posibilidad, menor o mayor, de que a él, lleguen los vientos húmedos marítimos (Lorente, 1961). Gran parte de los contrastes extremos de la temperatura, es explicado por la proximidad y lejanía del mar. Mayores contrastes, se aprecian en las temperaturas máximas y mínimas de cada día entre una zona continental y desértica, de otra marítima. Lo mismo sucede con los cuerpos de agua continentales, por ejemplo una función de los lagos, es moderar el clima de la tierra situada en sus cercanías, aproximadamente, un grado proporcional, a la extensión de dicho lago (Guevara, 1988).

Todos estos valores que de por sí son fijos, determinan en cada lugar, los valores de los elementos climáticos.

1.2.4 Efecto invernadero

Es un proceso mediante el cual la energía de onda larga, emitida por la superficie terrestre, es retenida por las nubes y los gases de invernadero, sin afectar la entrada de los rayos UV provenientes del sol. Son los

responsables de mantener la temperatura 33 °C, habitable para los organismos vivos, de lo que estaría normalmente (Staines, 2007).

La temperatura de la tierra, está determinada por tres partes: (1) la cantidad de luz solar que recibe la tierra: (2) la cantidad de luz solar que es reflejada en la superficie de la tierra y que por tanto no es absorbida y (3) grado en que la atmósfera retienen el calor irradiado por la tierra (dispersión) (Keller & Blodgett, 2007).

Un aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera ha de comportar un incremento de la temperatura. Y en la actualidad la atmósfera es más rica en gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) o el óxido nitroso (N₂O), que cien años atrás (Vide, 2010).

1.2.5 Cambio climático y variación climática

A lo largo del tiempo han surgido variaciones climáticas con el simple hecho de los fenómenos naturales, pero ahora se han incorporado las actividades antropogénicas.

Los estudios de la ciudad de México, muestran que durante la segunda mitad del siglo XX, la frecuencia de los eventos de ondas de calor, se incrementó de 6 a 16, en los años noventa con marcado crecimiento de la población de la capital, de 8.5 a 16.5 millones de habitantes. El incremento de temperatura, posiblemente está precedida por una atmósfera gaseosa, por la absorción y emisión de radiación infrarroja (Jáuregui, 1995).

Por lo que existe la pregunta si es un cambio climático o una variación climática.

Según el IPCC (2008), el cambio climático tiene una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). Se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento

externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras.

De acuerdo a Fuentes (2000) el cambio climático se genera cuando existe una variación significativa y permanente en los elementos climáticos en un amplio espacio geográfico, con duración de 100.000 y 10.000 años, por ejemplo, la sucesión de periodos glaciares e interglaciares. Sin embargo las variaciones climáticas ocurren en un periodo corto y tras ellas se reestablecen las condiciones habituales, así por ejemplo la sequía que puede padecer una determinada área geográfica, durante unos años seguidos.

Por otro lado García (1992) la variación climática es definida como la diferencia entre estados climáticos. Por ejemplo; la diferencia entre meses, años, estaciones o décadas.

La variabilidad climática en los municipios de Freyre y Banes, Cuba; en el transcurso de los últimos años, la disminución de los niveles de lluvia en los municipios estudiados se ha incrementado paulatinamente, además del aumento del régimen térmico y de las tasas de evaporación. (Piña *et al*, 2005) La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos antropogénicos (IPCC, 2008).

1.3. Factores urbanos que influyen en la magnitud de la variabilidad de la temperatura y de la precipitación

1.3.1 Clima urbano

Geiger (1950, recuperado en Jáuregui, 1971) argumenta que el meteorólogo francés H. Scaetta, en 1935, propuso que debía haber, entre el macroclima y el microclima, el mesoclima o clima regional, ya que los diversos factores del clima que se analizarán, abarcaran áreas mayores a un kilómetro.

Las áreas urbanas reproducen a escala local los cambios e impactos observados a escala global. Y éstas surgen por la conversión de terrenos de área verde, en áreas de cultivo, o a ser sustituido, por asfalto o concreto (Staines, 2007).

Los controles primarios sobre el clima térmico de una ciudad, son el tipo y la densidad de las superficies urbanas, esto es, el área superficial total de edificios y carreteras, además de la geometría de los edificios (Barray, G. & Chorley, J., 1999).

Según Jáuregui (2009), el cambio de usos de suelo, tiene un impacto directo en la capa planetaria alterando el régimen, de la temperatura y la precipitación.

Y Fernández (2010) argumenta: el clima urbano es un clima regional modificado. Y la urbanización surge por la construcción social de espacios y lugares, usos y coberturas de los suelos y el continuo y persistente proceso de urbanización. Ésta genera islas de calor (por la maquinaria que desprende calor, las calefacciones y el tráfico rodado) e islas de lluvia (generada por las acciones antrópicas que genera núcleos de condensación), con impacto en la humedad y la ventilación. Las edificaciones modifican la velocidad del viento. (Cresencio, 1990) La composición del aire se modificada, debido a las emisiones de contaminantes, derivadas de acciones antrópicas y naturales. En muchos casos las emisiones de grandes cantidades de sustancias a la atmósfera han la capacidad de equilibrio de este sistema, ocasionando con ello la alteración del ambiente natural. (Correa, 2004)

I. **Formación de islas de calor urbano**

Las actividades, estructuras y características de los materiales, con que se encuentra construida la superficie urbana emiten células que podrían contribuir al incremento de la temperatura.

El componente urbano de mayor superficie horizontal expuesta a la radiación solar es el pavimento, el cual en la mayoría de los casos posee alta absorptividad, y elevada capacidad térmica. Haciendo que su contribución al efecto de isla de calor urbana sea significativa.

La isla térmica urbana, “consiste en la mayor calidez de las ciudades, respecto al medio rural”. Ésta se genera por las propiedades térmicas y calóricas de los materiales de construcción urbana: el calor antropogénico, como producto de los procesos de combustión: la disminución de la evaporación, debido a la sustitución del suelo natural por pavimento: una menor pérdida del calor sensible, debido a la reducción de la velocidad del viento: la rugosidad de las edificaciones: el aumento de la absorción de radiación solar por las múltiples reflexiones, y al aumento de la radiación de onda larga: que es absorbida y remitida hacia el suelo, por la contaminación atmosférica urbana. (Serra, 2008: 58)

Según Romero (2010), regularmente existen áreas más cálidas en zonas de construcciones de alta densidad, carentes de vegetación, mientras que las más frías, se caracterizan por el predominio de áreas verdes y bajas densidades residenciales. En las áreas más cálidas pueden surgir la formación de islas de calor, favorecida por los materiales de construcción, que son lentos en calentarse y en enfriarse, almacenan una cantidad importante de energía, así como por el reemplazo de las superficies naturales por superficies impermeables, donde hay menos agua disponible para la evaporación, la cual contrarresta el calentamiento del aire. Las superficies oscuras, como las carreteras de asfalto, absorben más radiación solar y adquieren temperaturas mucho más altas que las superficies de color claro. En las primeras horas del día la intensidad de calor que se registra en la

ciudad resulta ser débil, incluso frío, ya que algunos edificios proveen de sombras extensas, así como debido a los materiales de construcción, pero cuando se desarrolla la isla de calor, pueden existir diferencias de temperatura entre el campo rural y la ciudad de 2 a 8 ° C.

Las islas de calor, se forman cuando el aire caliente se acumula en el centro de la ciudad por los edificios y las calles pavimentadas. (Hernández, 2002, recuperado en Morales, 2007)

Algunos autores distinguen otros tipos, de isla de calor urbana:

- a. Isla de calor atmosférica; que presenta las diferencias en la temperatura del aire, entre las zonas urbanas y las rurales.
- b. Isla de calor superficial; indica la diferencia entre la temperatura registrada en los materiales urbanos (pavimento, aceras, tejados de los edificios etc.) y el aire situado encima de ellos (Voogt, J. y T. 2003 recuperado en Fernández, 2010).
- c. Isla nocturna de calor; se forma cuando las capas elevadas de humo, vapor de agua, bióxido de carbono y bióxido de azufre, contribuyen a absorber y reirradiar la energía procedente de la superficie urbana. Pero cuando existen vientos de 4 a 6 m/s, se destruye la isla de calor (Jáuregui, 1971).

La mayor actividad humana que se produce durante la época estival debido a actividades como el turismo, y la mayor concentración de población que éste provoca, induce a pensar que el fenómeno isla de calor, tendrá un impacto diferente, en invierno y en verano (Serra, 2008).

II. Formación de islas de lluvia urbana

La magnitud de las lluvias originadas en la zona urbana son inducidas por causas naturales y por acciones antrópicas.

En las áreas urbanas la ausencia de grandes extensiones de agua estancada y la rápida eliminación que corre por la superficie por medio de cloacas hace disminuir la evaporación local. Cuando reina la calma y el tiempo, es bueno, las calles aprisionan el aire cálido que retienen su humedad, porque se

deposita menos cantidad de rocío en las superficies cálidas de la ciudad. Además la falta de una extensa cobertura vegetal elimina gran parte de la evapotranspiración, lo cual constituye una importante fuente del aumento de calor urbano (Barray & Chorley, 1999).

En algunas partes del área urbana, dichas pérdidas de evaporación son compensadas parcialmente, por una fuerte e inyección de humedad procedente de las combustiones (en las que se produce dióxido de carbono y vapor de agua), así como por un aporte directo ocasionado por procesos industriales. El aumento de partículas suspendidas, en el aire (aerosoles: son también las partículas de tierra, los de origen natural o industrial y otros procedentes de la combustión doméstica, levantados por el viento: en áreas urbanas, también contribuyen ciertas partículas de gases traza de la atmósfera, transformada por procesos químicos), determinan una intensificación de la frecuencia de nieblas, nubosidad, precipitación y tormentas en dichas áreas urbanas de gran extensión, causadas por un incremento de la convección local, motivada por el calentamiento y en un aumento de los núcleos de condensación, procedentes de la combustión (Donn, L., 1978).

También se gestan en la ciudad, las nubes de tipo cúmulos y cumulonimbos, en aquellos sitios donde la temperatura suele ser elevada, originándose áreas o islas de humedad o de lluvia. Este incremento puede deberse a la formación de la isla de calor en el área urbana, que a su vez engendra un espacio de humedad concentrado sobre todo durante la época lluviosa. La formación de nubes y neblinas pudieran estar asociadas a las partículas suspendidas en el aire y a los diversos contaminantes. Ya que las precipitaciones que se concentran en los espacios urbanos están precedidas por la presencia de una zona convectiva que no solamente atrapa calor, sino también crea un campo de baja presión atmosférica y ésta a su vez provoca flujos de la periferia al centro, creando en días de primavera y otoño, concentraciones de polvo, que cubren a la ciudad (Morales, 2007).

Atkinson (1970) advierte que cuando estos núcleos son acarreados hasta gran altura, por corrientes ascendentes, se vuelven potenciales y aun así, si la nube tiene un contenido bajo de vapor de agua, un aumento de los núcleos de condensación en una inhibición del proceso de coalescencia, reduce las probabilidades de precipitación.

Las partículas contaminantes suspendidas, en la atmósfera urbana y el calor producido por éstos, favorece a la intensificación de los aguaceros, observándose que la lluvia es más intensa en la ciudad (Jáuregui, 2009).

III. Contaminación atmosférica urbana

La contaminación de aire es otro de los rasgos característicos de la ciudad y un importante factor de riesgo para la población.

La contaminación en el área urbana, puede deberse a varios factores, uno por efecto natural; a través de polvo, polen y cenizas, y el otro por factores antropógenos, que suceden en la ciudad (Ferrán, 2005).

Morales *et al* (2007) atribuye la contaminación del aire a la circulación de los automóviles y la distribución de los contaminantes en los sitios cercanos a la zona industrial y el centro urbano, además del incremento de calor, energía que contribuye a elevar la temperatura ambiente en la ciudad y su periferia. Este aire caliente arrastra consigo la carga de contaminación, luego se expande hacia los bordes de la ciudad y vuelve a formarse un sistema circulatorio.

Los más altos niveles de contaminación se presentan en el centro de la ciudad, producida por la emisión de gases vehiculares (Montoya *et al*, 2005).

Georgii (1969 citado por Jáuregui 1974) en sus investigaciones encontró que los contaminantes se extienden hasta una altura de 700 metros, sobrepasando rara vez los 1000, y frecuentemente exceden los 500 metros. Por lo que los contaminantes contribuyen al desarrollo de la isla nocturna de calor.

En la estación fría los vientos transportan con más frecuencia los contaminantes hacia fuera de la ciudad que en el verano.

IV. Flujo de viento urbano

La velocidad y dirección del viento dentro de la ciudad consigue modificarse, debido a las edificaciones y estructuras, que se encuentran a su paso.

El viento en la ciudad es inferior, en un 5 % a las de los suburbios. El efecto urbano sobre el movimiento del aire varía según la hora del día y la estación. Durante el día la velocidad del viento en la ciudad son inferiores a las de las zonas rurales cercanas, pero durante la noche las mayores velocidades del viento en altura son transferidas a las capas inferiores por mezcla turbulenta. Las diferencias de velocidad de viento entre la ciudad y el campo son muy notables cuando el viento es fuerte, y los efectos son, por lo tanto, más evidentes en invierno que en verano, cuando se registra una mayor proporción de velocidades bajas en las latitudes templadas. La estructura urbana tiene su efecto en el viento, tanto si lo produce la turbulencia debido al rozamiento con la superficie urbana, como si lo produce el efecto de canalización de los cañones urbanos. Los efectos del flujo de aire en torno a estructuras urbanas, tiene grandes diferencias de velocidad y dirección a nivel del suelo, las cuales se pueden enumerar de acuerdo al desarrollo de vórtices y remolinos de sotavento: los flujos inversos que se pueden producir: la difusión de la contaminación dentro del dosel urbano: la formación de remolinos y corrientes de gran velocidad en la atmósfera urbana de ordinario seca y polvorienta, y donde existe un amplio suministro de desechos que hace que los flujos urbanos de aire, de solo 5 m/s sean molestos y que los de más de 20 m/s sean peligrosos (Barray & Chorley, 1999).

Las bajas temperaturas del invierno, concentran el monóxido de carbono, en la capa atmosférica adyacente, al suelo, mientras las elevadas temperaturas del verano, aunadas a las lluvias y a los vientos predominantes, lo transportan y lo diluyen a otras zonas. (Hernández, Madrigal y Morales, 2004)

La contaminación atmosférica en relación directa con las bajas temperaturas, causa inversiones térmicas, heladas y ocasionalmente lluvias invernales y nevadas (Hernández, 2004).

V. Inversión térmica urbana

“La mezcla de contaminantes en la vertical, está determinada por la estabilidad térmica, que a su vez depende de la distribución vertical de la temperatura. Por la noche, el enfriamiento por la radiación se propaga en la capa de aire superficial de abajo hacia arriba, de modo que el aire más denso se encuentra cerca del suelo. En estas condiciones se forma la inversión de temperatura que se caracteriza por una mínima turbulencia debido a la estratificación del aire” (Torres, 2013:32).

El fenómeno de inversión térmica se relaciona, con las bajas temperaturas, que adquieren las construcciones y que al conjuntarse con la estacionalidad de los vientos, permite que muchas de las emisiones permanezcan más concentradas alrededor de las fuentes contaminantes, en este caso los vehículos automotores (Hernández, Madrigal & Morales, 2004).

La inversión térmica influye en la salud de los habitantes, cuando la atmósfera tiene una gran cantidad de contaminantes y gases, durante la inversión del aire no puede ascender, y los contaminantes permanecen cerca de la superficie (Rosendo, 1997).

Capítulo 2

Características del área de estudio y de las estaciones meteorológicas

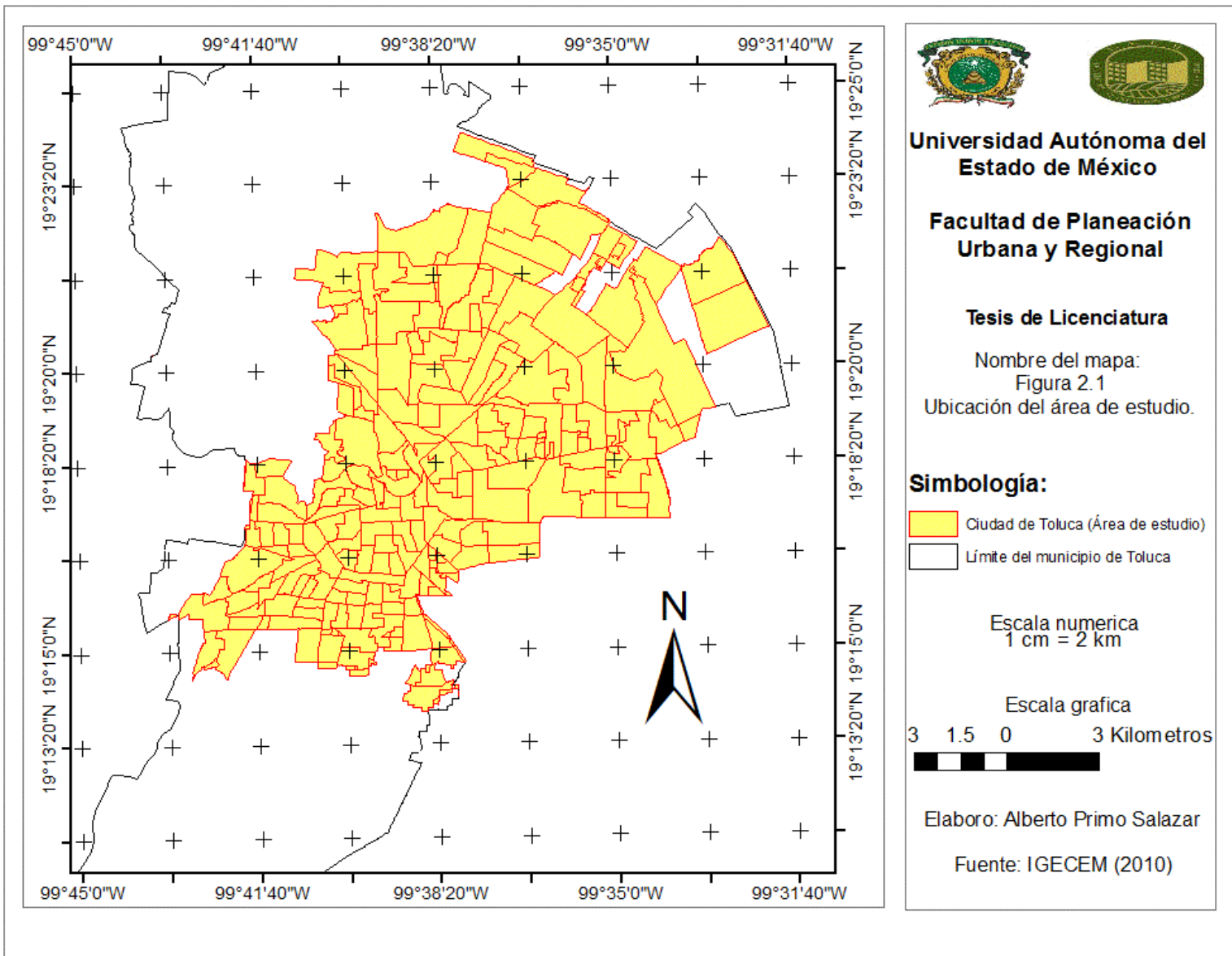
2.1. Caracterización geográfica de la ciudad de Toluca

En este apartado se hará referencia a algunas características geográficas del área de estudio, es importante mencionar que sólo se retomaron aquellas variables relevantes para el tema de investigación.

Aproximadamente en el centro del municipio de Toluca se encuentra la ciudad de Toluca, específicamente entre los paralelos 19° 17' 00.67" de latitud Norte; y 99°39' 21.03" de longitud Oeste (INEGI, 2009).

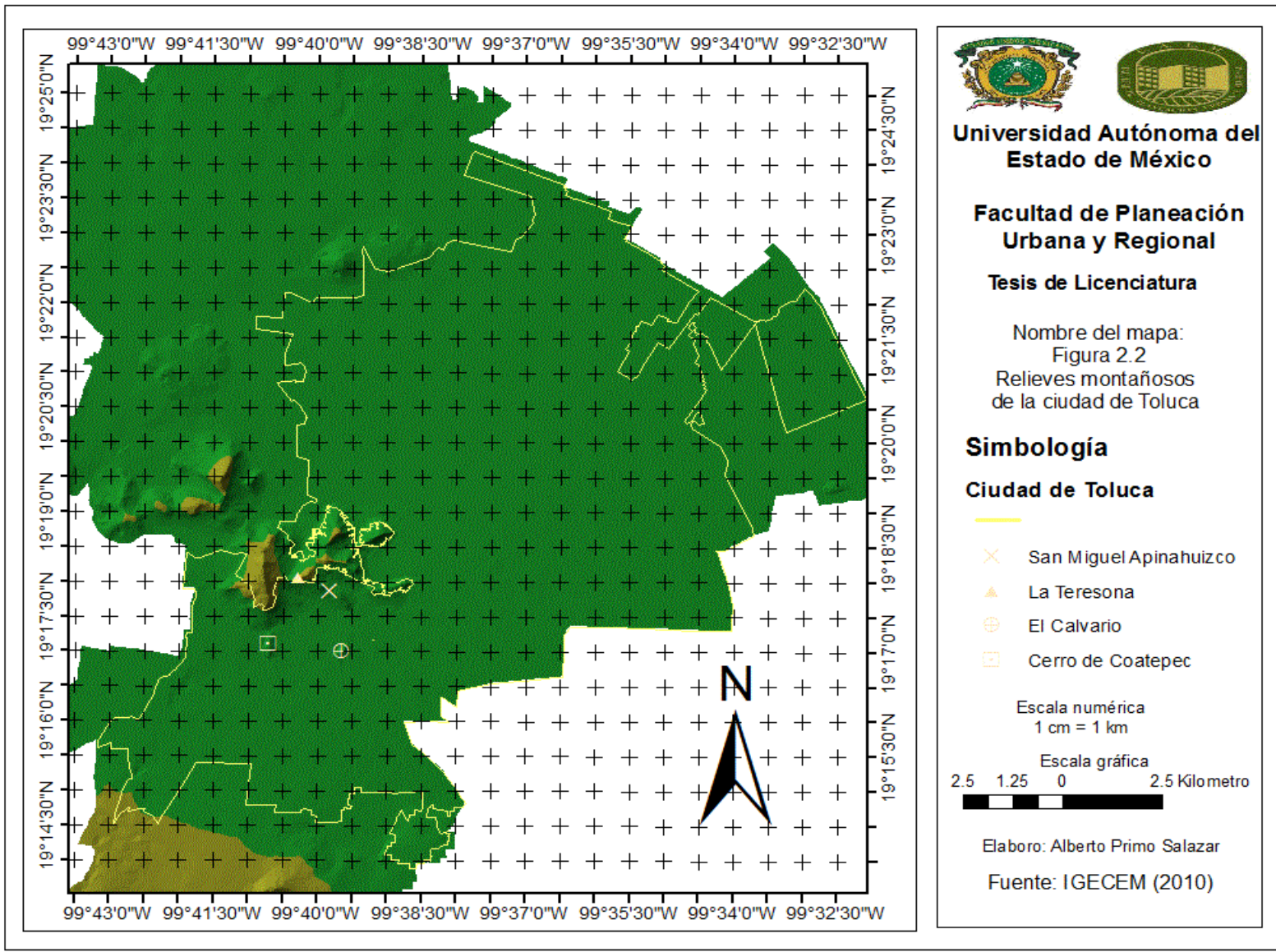
Aproximadamente en la zona central del municipio se asienta la ciudad de Toluca. Según el SUN (Sistema Urbano Nacional, 2012) la Ciudad es la agrupación de personas en un espacio físico continuo, en donde históricamente se han manifestado las realidades sociales, económicas y demográficas. El concepto alude principalmente al componente físico-territorial. El perímetro delimita al área urbana. (Observar, figura 2.1; Ubicación del área de estudio).

La ciudad se alza aproximadamente entre los 2,400 y 2,600 msnm, se delimita al norte por; Toluca de Ierdo, Barrio Santa Cruz, San Pablo Autopan, Jicaltepec Autopan, Jicaltepec Cuexcontitlán, San Diego los padres Cuexcontitlán Sección 5 B, Ejido de la Y Sección 7 A Revolución y Colonia Guadalupe Victoria; al sur con San Antonio Buenavista, Cacalomacán, San Felipe Tlalmimilolpan, San Jorge Pueblo Nuevo y San Francisco Coaxusco; el cerrillo vista hermosa, La Constitución Toltepec y San Nicolás Tolentino; y al oeste con los municipios de Zinacantepec y Almoloya de Juárez (INEGI, 2009).



Toluca está rodeada por relieves montañosos. Está formado por los cerros de Huitzila, Cópore, Zopilocalco, Toloche y San Miguel, que al suroeste y oeste forman la Teresona, una colina en declive que se conecta en uno de sus extremos con el pequeño cerro de Coatepec; en el centro de la ciudad se alza el Calvario (Sánchez & García, 2011).

La ciudad se considera como una cuenca atmosférica; ya que se delimita por formaciones montañosas, y características climáticas afines, éstas modifican la circulación general de la atmósfera libre sobre la superficie terrestre, dando lugar a la formación de vientos locales. Los contaminantes atmosféricos dentro del área de flujo están presentes en el aire y las emisiones pueden ser de origen urbano, así como por fuentes naturales, las cuales afectan la calidad del aire. (Caetano & Iniestra, 2008). Pero el equilibrio en la cuenca prevalece, si se mantiene baja la tasa de crecimiento poblacional y goza de mejor planeación, de tal forma que tenga un impacto menor en el clima de la ciudad (García *et al*, 2006). Observar figura 2.2 Relieves montañosos de la ciudad de Toluca.



Según García (1987) Toluca presenta un tipo de clima Cb (w²) (w) (i¹) 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 - 18°C.

Por otra parte, la precipitación total anual es de 791.6 mm, presenta un régimen de lluvias de verano (por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año¹, que en el mes más seco).

Algunos autores como CONABIO (2008) argumentan que el valor del clima es; C (w2) Templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C (12°C - 14°C)¹, temperatura del 46% 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 1,800 mm (800 – 1000 mm)² y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual.

Esta investigación realiza un estudio de clima regional (ó mesoclimático), toda vez que la ciudad tiene un área mayor a un kilómetro (H. Scaetta, 1935 recuperado en Jáuregui, 1971). Según Peña (1977) la mesoclimatología posee una mayor especificidad con interrelaciones más evidentes y directas entre los distintos elementos y factores geográficos.

¹ Los datos de temperatura proporcionados entre paréntesis, particularmente es el comportamiento del área en que se ubica la ciudad de Toluca, de acuerdo a CONABIO.² Los valores del rango de precipitación que están entre paréntesis, expresa el volumen del elemento climático que cae en la zona de estudio según CONABIO (2008).

2.2. Características socioeconómicas de la ciudad. Periodo: 1970 – 2013

La urbanización de la ciudad de Toluca, comenzó en los años treinta, con la implementación de la carretera internacional Morelia - Guadalajara que generó crecimiento industrial, cuya construcción dio lugar en los cuarentas al sector primario como el principal portador de la economía, a partir de este periodo se desarrollaron los asentamientos humanos, centros comerciales y crecimiento urbano (compuesta de barrios y colonias), al interior del circuito Paseo Tollocan, con la cual el sector primario disminuiría. En la ciudad se extendían las construcciones de infraestructura, en las áreas de actividad económica, de servicios y de habitación (Castillo, 1992).

En los años 70's, como resultado de la influencia administrativa y la expansión de infraestructura urbana con que ya contaba la ciudad, se incrementó la absorción de tierras ejidales, para intensificar el crecimiento físico, económico y social. Derivado de ello, durante ese periodo el sector primario contribuyó únicamente con el 18.89% de la PEA, por otra parte las actividades secundarias (34.5%) y terciarias (46.61%) continuaron incrementando su participación. El número de habitantes para este momento ascendía a 239, 261 (INEGI, 1970).

A mediados de los años ochenta, y derivado del sismo ocurrido en la capital del país, se presentó una oleada de migrantes, que contribuyó significativamente al incremento poblacional. Para esa década Toluca contaba con 357, 071 habitantes (INEGI, 1980). Según Aranda (2000) durante esa etapa la ciudad de Toluca pasaba a desempeñar, un papel, 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. Cabe destacar que las tiendas comerciales no contaban con una ubicación específica, proliferaban, creando nuevas áreas de desarrollo. De la rama económica, la PEA se distribuyó en los tres sectores de la siguiente manera: 53% para el sector servicios, 32% en el industrial y 15% en el agrícola (Moral, Rodríguez & Mejía, 2008).

Durante los años noventa: en la ciudad de Toluca se dieron cambios como el incremento de población, crecimiento & equipamiento urbano y los servicios básicos (Martínez, 1997). Este hecho se pone de manifiesto en el comportamiento de la actividad económica, la PEA redujo su participación en el sector primario a sólo el 4.02%, en el industrial tenía una participación del 34.64% y en el sector servicios se empleaba el 61.34% de ésta. Se observaba un giro, hacia los fenómenos de metropolización (transporte), y el número de viviendas, se extendía. En 1995 el número de pobladores fue de 368,384, según el INEGI (1995).

En el año dos mil, la ciudad capital del Estado de México, contó con una población de 435, 125 habitantes (INEGI, 2000) a partir de ese momento se ha convertido en un área para el uso habitacional, que además se ha consolidado como un espacio que reúne una importante actividad económica prestadora de servicios, industrial y comercial (Plan de Desarrollo Municipal de Toluca, 2006). El sector económico que continúa dominando es el terciario con 71.4%, seguido del secundario con un 27.8% y finalmente el primario con apenas 0.8%.

Según Reyes & Gutiérrez (2010) "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 con el 98.1% de la PEA, en segundo término la actividad secundaria con el 1.9% y finalmente se reporta que las actividades agrícolas tienen una participación nula en la economía de la capital mexiquense (INEGI, 2010). Se puede señalar que el índice de competitividad urbana 2012: en la sección; Economía estable por tamaño de ciudad y grupo de competitividad, destacó como media alta, y en la sección Infraestructura por tamaño de ciudad y grupo de competitividad, destacó como adecuada, a la ciudad de Toluca (IMCO, 2012). Observar tabla 2.1

Tabla 2.1 Evolución de los sectores de actividad expresada en porcentaje por décadas.

Décadas	Actividad Económica Primaria	Actividad Económica secundaria	Actividad Económica Terciaria
1970	18.89%	34.5%	46.61%
1980	15%	32%	53%
1990	4.02%	34.64%	61.34%
2000	.8%	27.8%	71.4%
2010	0.0%	1.9%	98.1%

Fuente: INEGI, 1970, 1980, 1995, 2000, 2010.

2.3. Características de las estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas que circundan la ciudad de Toluca, y de las cuales se solicitaron registros de temperatura y de precipitación del año 1970 al 2013, son administradas por la Comisión Nacional del Agua (CNA) del Estado de México. Cabe mencionar que dos son observatorios y tres son estaciones meteorológicas.

Específicamente los datos de los años que fueron sanados para obtener el comportamiento de los elementos climáticos en la ciudad de Toluca, se tabulan en la tabla 2.2 datos de temperatura y precipitación de los años que fueron reparados:

ROJO: Información que fue sanada con menos de diez años.

AMARILLO: Información que fue sanada con menos de cinco años.

VERDE: Información completa o menor a dos años.

Tabla 2.2 Datos de temperatura y precipitación de los años que fueron reparados:

Estación	Década	Elemento climático			
		TMAPA	TMA	TMIPA	PTA
OMUMB	1970-1979				
	1980-1989				
	1990-1999				
	2000-2009				
	2010-2013				
ECT-DGE	1970-1979				
	1980-1989				
	1990-1999				
	2000-2009				
	2010-2013				
ECNO	1970-1979				
	1980-1989				
	1990-1999				
	2000-2009				
	2010-2013				
OMT-Z	1970-1979				
	1980-1989				
	1990-1999				
	2000-2009				
	2010-2013				
ECC	1970-1979				
	1980-1989				
	1990-1999				
	2000-2009				
	2010-2013				

Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Tabla 2.3 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.

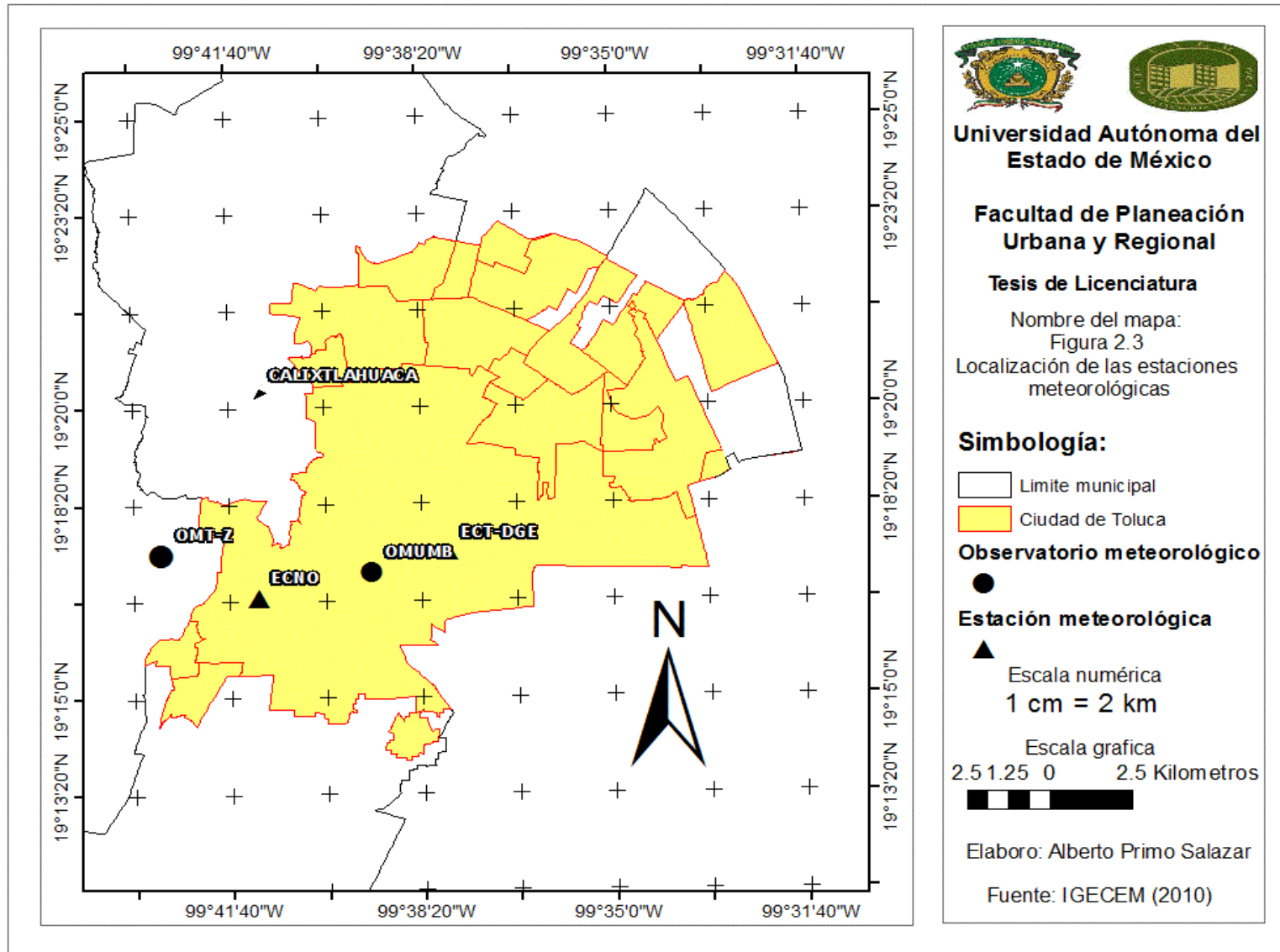
Nombre de las estaciones meteorológicas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Observatorio Meteorológico Universitario Mariano Bárcena (OMUMB)	19°17'07" N	099°39'10" W	2,668.0
Estación climática Toluca DGE (ECT-DGE).	19°17'30" N	099°37'50" W	2,638.0
Estación climática Nueva Oxtotitlan–Toluca (ECNO).	19°16'44"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

Fuente: Elaboración propia con base en CNA.

En la figura 2.3 (Localización de las estaciones meteorológicas) se puede observar la localización geográfica de las estaciones.

De acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (por sus siglas OMM, 1994) señala; para cumplir con una óptima cuantificación atmosférica cada estación debe cubrir 100 km², sin embargo para cubrir con las densidades mínimas de medición las estaciones deben cubrir los 250 km², por lo que las estaciones del presente estudio se interceptan a los 9 Km², en el caso de la ECC y ECT- DGE esto para cubrir el área de investigación. Las estaciones subsecuentes están más alejadas de la ciudad. Observar figura 2.4 área de influencia por estación.

En la figura 2.5 Área metropolitana de la ciudad de Toluca, se observa que el OMUMB al igual que la ECT-DGE desde 1970 se vieron afectados por el crecimiento urbano, la ECNO fue absorbida por la mancha urbana a partir de 1989 así como en la década del 2000 el urbanismo alcanzo el área donde se ubica el OMT-Z, y al parecer, la ECC se ubica en un área semiurbana, cabe mencionar que la estación se encuentra en la periferia de la localidad de Calixtlahuaca.



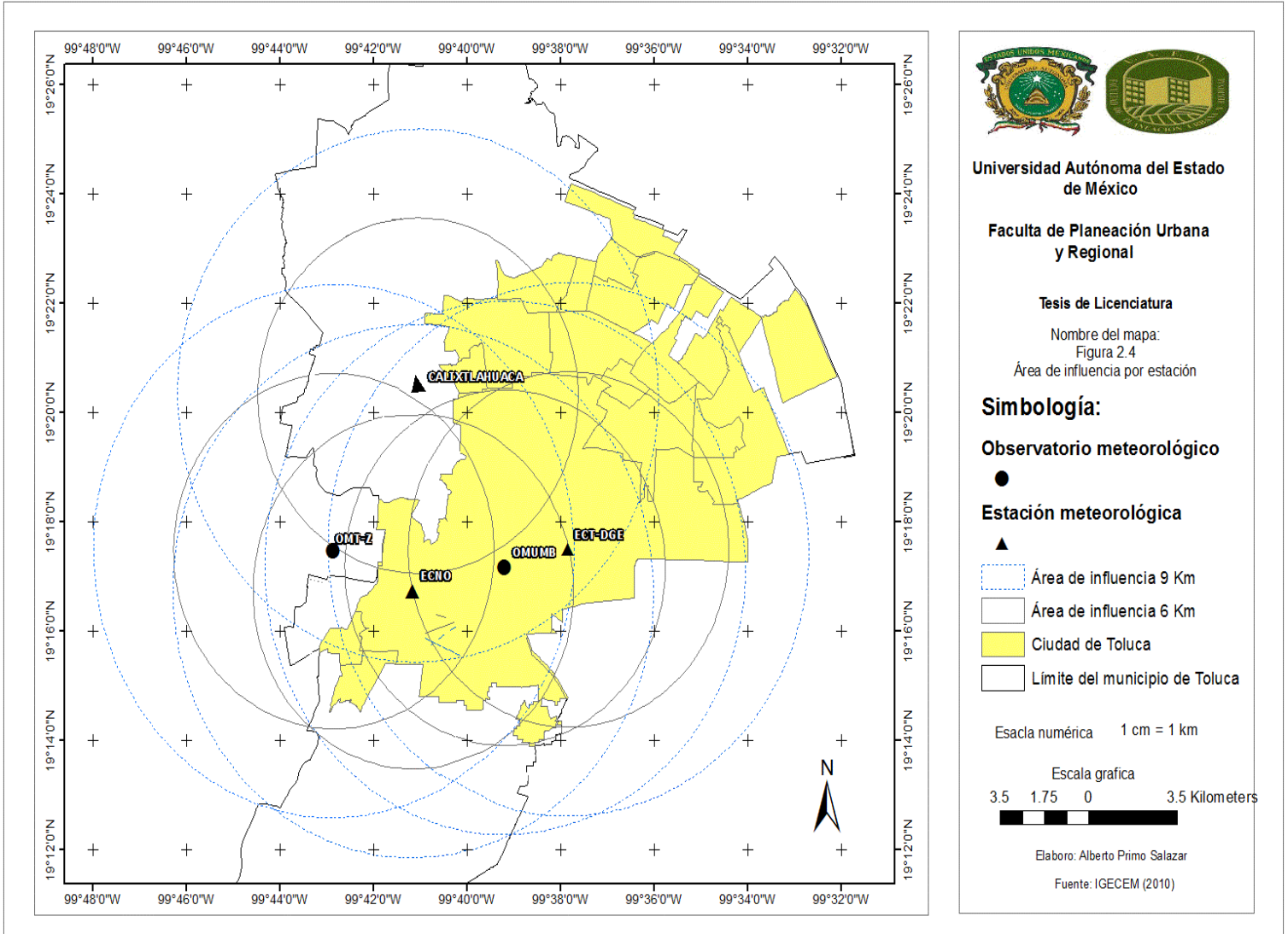
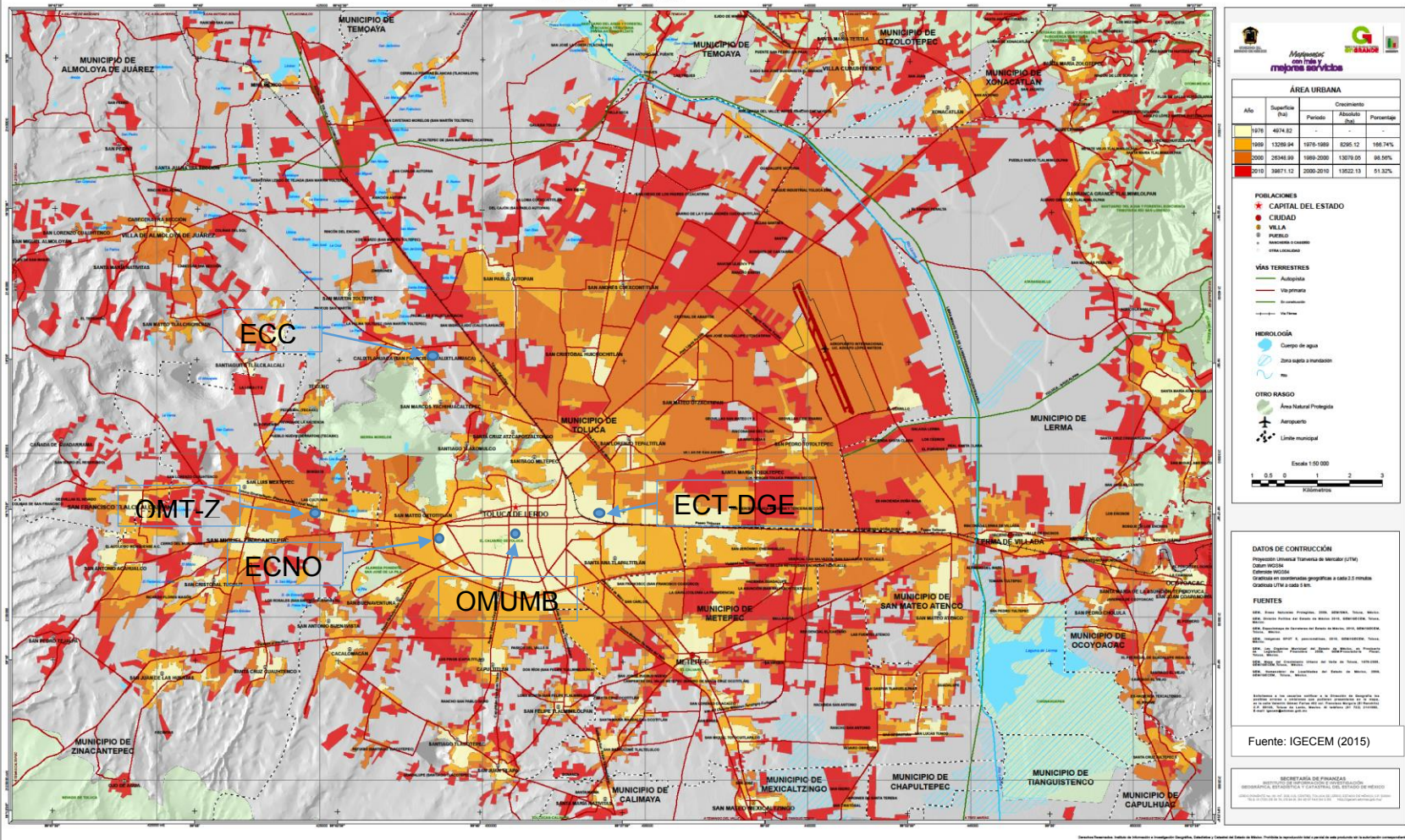


Figura 2.5 Área Metropolitana de la Ciudad de Toluca
(Expansión Territorial)



Capítulo 3

Análisis de los registros de la temperatura y de la precipitación

3.1. Comportamiento de la temperatura y de la precipitación, por estación meteorológica

A continuación se redactan las definiciones de la temperatura y de la precipitación, que en la presente investigación, se utilizan:

- **Temperatura máxima promedio anual:** Se obtiene sumando las temperaturas máximas mensuales y dividiendo entre los 12 meses del año.
- **Temperatura media diaria:** es la suma de la temperatura máxima y la temperatura mínima, dividida entre dos.
- **Temperatura media mensual:** es el promedio de las temperaturas medias diarias, se obtiene sumando las temperaturas medias a cada uno de los días y dividiendo entre el número de días del mes (García, 1986).
- **Temperatura media anual:** es el promedio de las temperaturas medias mensual, se obtiene sumando las temperaturas medias a cada uno de los meses y dividiendo entre el número de meses.
- **Temperatura mínima promedio anual:** Se obtiene sumando las temperaturas mínima mensual y dividiendo entre doce.
- **Precipitación total mensual:** es la suma de las precipitaciones diarias, durante todo el mes (Austin, 1982).
- **Precipitación total anual:** es la suma de las precipitaciones totales mensuales, durante todo el año.

Comisión Nacional del Agua, del Estado de México, por sus siglas, CNA.

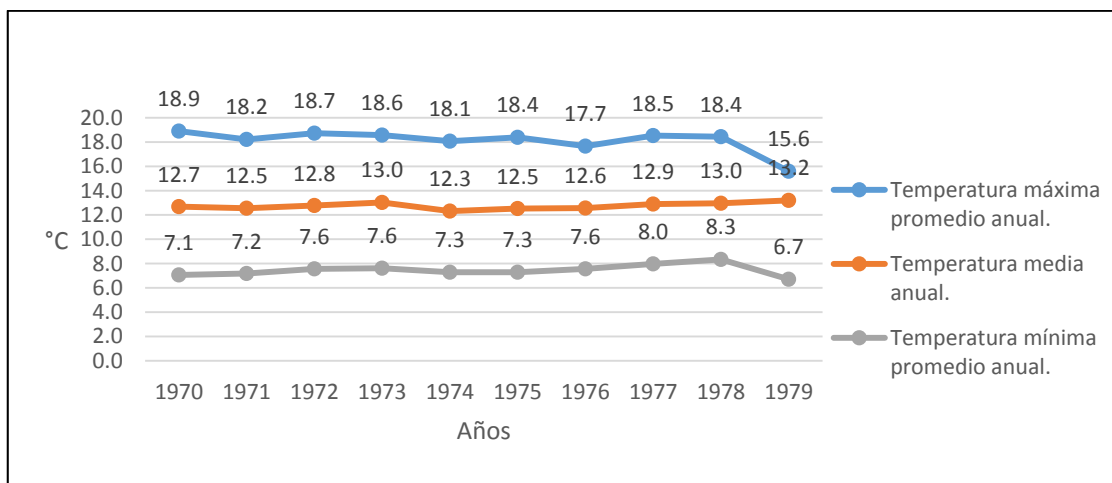
En el siguiente apartado a través de gráficas, se analizan los registros de la temperatura máxima promedio anual (TMAPA), temperatura media anual (TMA), temperatura mínima promedio anual (TMIPA) y precipitación total anual (PTA), de 1970 al 2013, para cada una de las 5 estaciones meteorológicas. Cabe señalar que el análisis de la información se hizo por década, para poder observar cambios significativos que se pudieran presentar durante este periodo de tiempo

así como entre décadas. El OMUMB, se localiza en el centro de la ciudad y tiene información más completa en las bases de datos, por lo que, es el primero en analizarse.

3.1.1) Los historiales de información del OMUMB (Observatorio Meteorológico Universitario Mariano Bárcena) tienen el siguiente comportamiento:

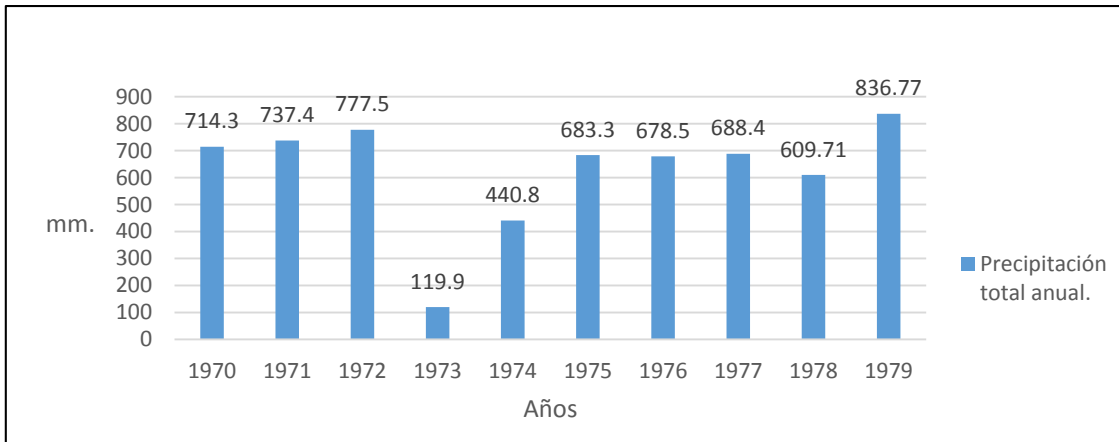
En el OMUMB, para el periodo 1970 - 1979 la temperatura media anual registró el valor mínimo (12.3°C) en 1974 y el valor máximo en el año 1979, con 13.2°C. La temperatura mínima promedio anual registró el valor máximo (8.3°C) en 1978. El mayor valor de la temperatura máxima promedio anual se registró en 1970, con 18.9°C. Respecto a los datos en su conjunto, es importante destacar la disminución de la TMAPA y la TMIPA en el último año, por el contrario la TMA presentan el mayor valor de todo el periodo. Los 3 datos tabulados en el último año son los correspondientes a 10 meses (Figura 3.1).

Figura 3.1 Comportamiento de la temperatura en el OMUMB. Periodo: 1970-1979



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.2 Comportamiento de la precipitación en el OMUMB. Periodo; 1970 – 1979.

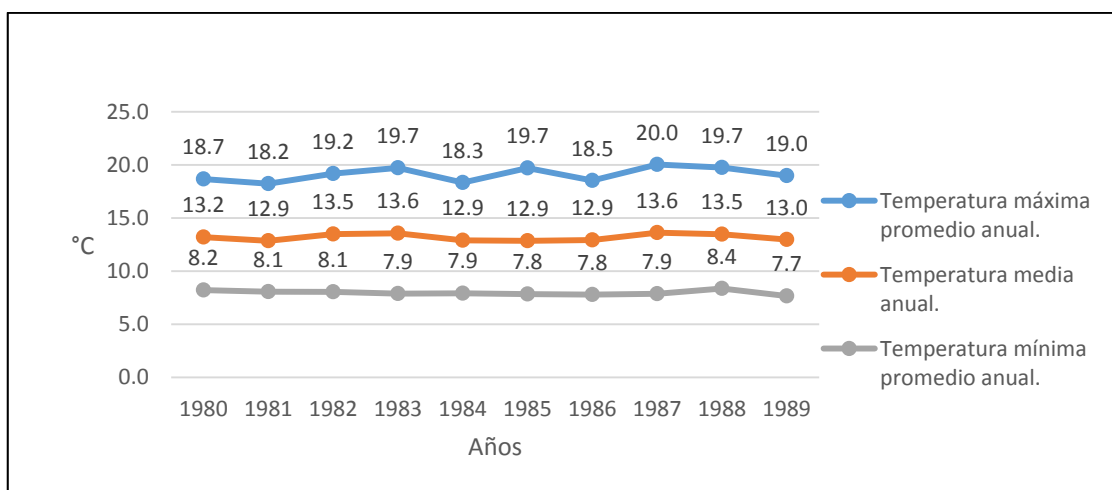


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

El valor mayor de precipitación total anual se registró en 1979, con 836.77 mm y los menores en 1973 (119.9 mm), 1974 (440.8 mm) y 1978 (609.71 mm) (Figura 3.2).

Al examinar de manera conjunta los datos de temperatura y precipitación para la década de 1970 a 1979, se puede concluir que la TMA y la PTA presentaron sus máximos valores en el año 1979.

Figura 3.3 Comportamiento de la temperatura en el OMUMB. Periodo: 1980-1989.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

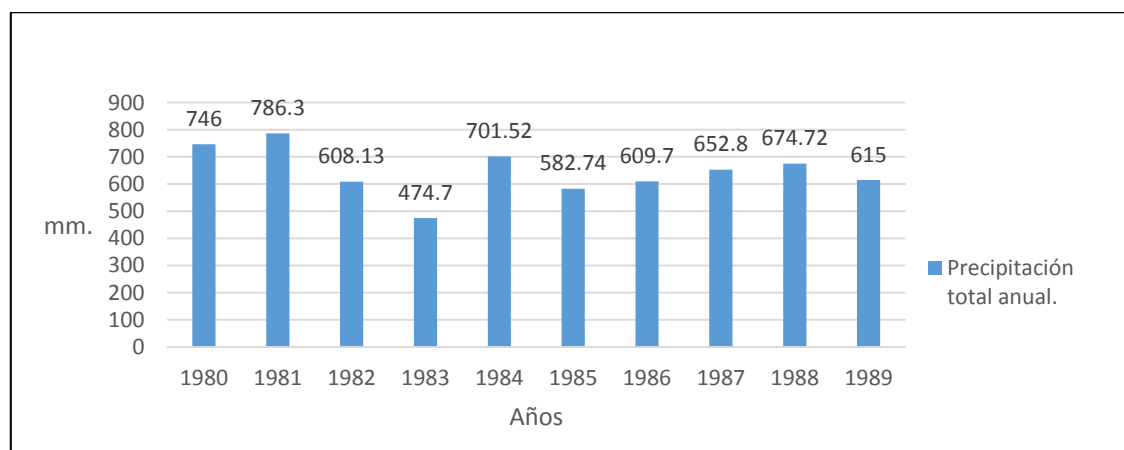
Para el periodo 1980 – 1989, la TMA de los años 1981, 1984, 1985 y 1986 presentan los valores más bajos, siendo ésta de 12.9°C. En tanto que los valores más altos se observan en 1983 y 1987, con una TMA de 13.6°C.

En cuanto a la TMAPA destaca el año de 1987, presentando un valor extremo de 20°C. Por otra parte, la TMIPA más alta corresponde a 1988 con 8.4°C y la más baja a 1989 con una temperatura de 7.7°C.

Al comparar los datos de temperatura media anual se aprecia que durante la década anterior (1970-1979) el valor más alto correspondió a 13.2°C y para el siguiente periodo (1980-1989) se nota un ligero incremento en esta variable, el valor máximo es de 13.6°C. La misma situación se presenta en la temperatura máxima y mínima promedio anual, en donde los valores más altos y más bajos varían hasta por un grado centígrado entre ambos periodos (Ver figura 3.1 y 3.3).

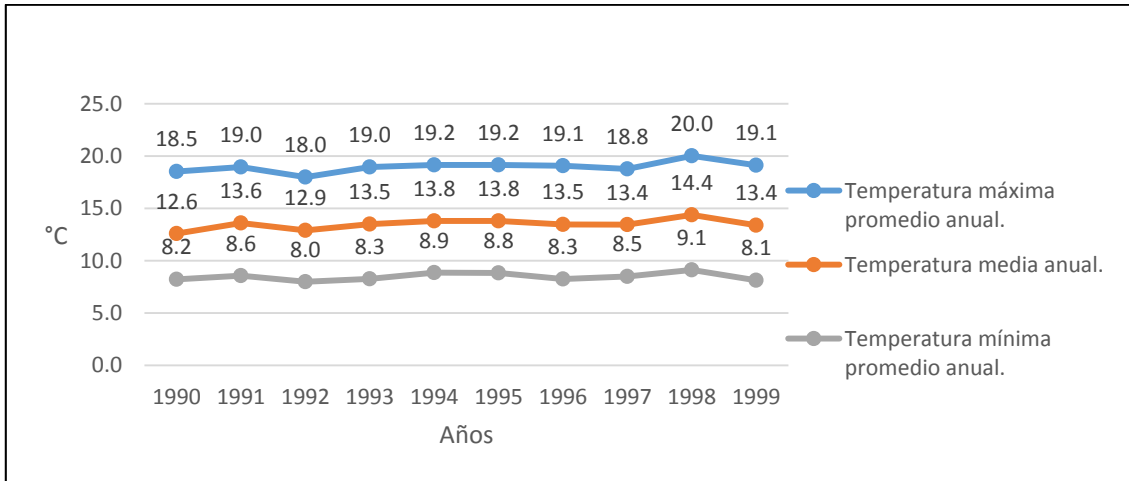
Para esta década la PTA más baja se observa en 1983 con un valor de 474.7 mm, y el valor más alto se registró en el año 1981 con 786 mm (Figura. 3.4).

Figura 3.4 Comportamiento de la precipitación en el OMUMB. Periodo: 1980-1989.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.5 Comportamiento de la temperatura en el OMUMB. Periodo: 1990-1999.

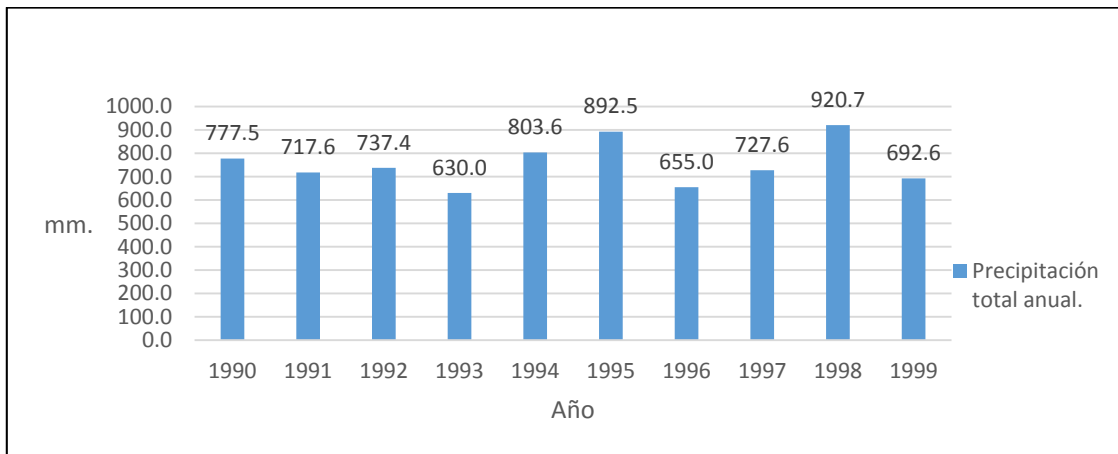


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Los valores extremos para la TMA se presentan en el año de 1990 y 1998, ascendiendo a 12.6°C y 14.4°C respectivamente. La TMAPA más significativa es de 20°C que corresponde a 1998, en tanto que la mayor TMIPA fue 9.1°C en el año 1998, valor que contrasta de manera importante con la TMIPA más baja que se estimó en 8.0°C para 1992 (Figura 3.5).

El valor más bajo para la PTA se observa en el año de 1993 con 630 mm y el valor más alto en el año de 1998 con 920.7 mm. La precipitación oscila entre los 630 mm y 920.7 mm se presenta más estable, con respecto a los años anteriores (Figura 3.6).

Figura 3.6 Comportamiento de la precipitación en el OMUMB. Periodo: 1990-1999.

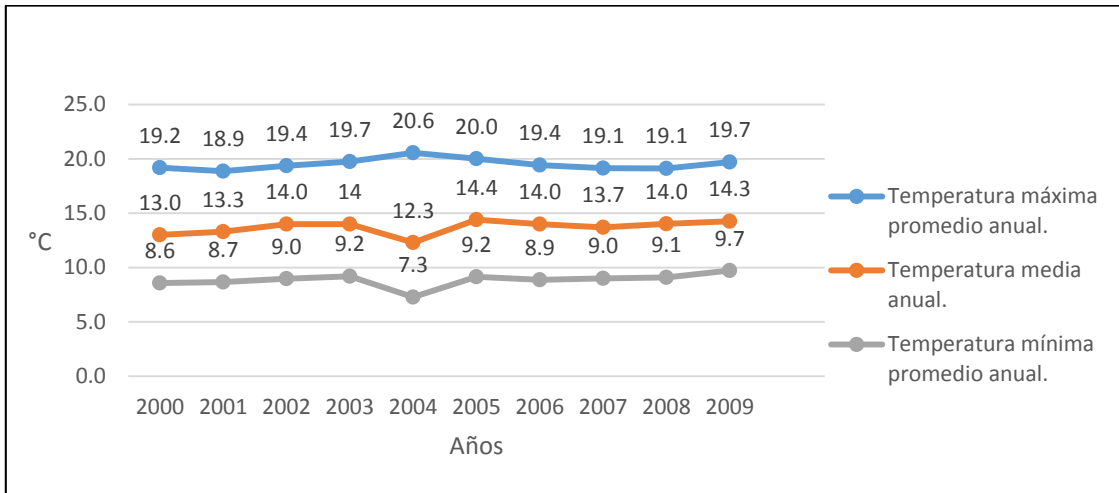


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Como se observa en la figura 3.7, la TMA tuvo importantes variaciones a lo largo del periodo 2000-2009, destacando el año 2000 con la TMA más baja (13°C) y el año 2005 con el valor más alto (14.4°C). La TMAPA se expresó con mayor magnitud en el 2004, ascendiendo a 20.6°C y la TMIPA presentó su registro más bajo en el 2004, con 7.3°C . El dato del año 2004 de temperatura media anual, se graficó con el correspondiente a 3 meses y la temperatura mínima promedio anual, se graficó con el correspondiente a 10 meses. Sin embargo el valor más alto de TMIPA se ubicó en 2009 con 9.7°C , comparado con datos que se tabularon con información completa, esta varía hasta por 1.1°C .

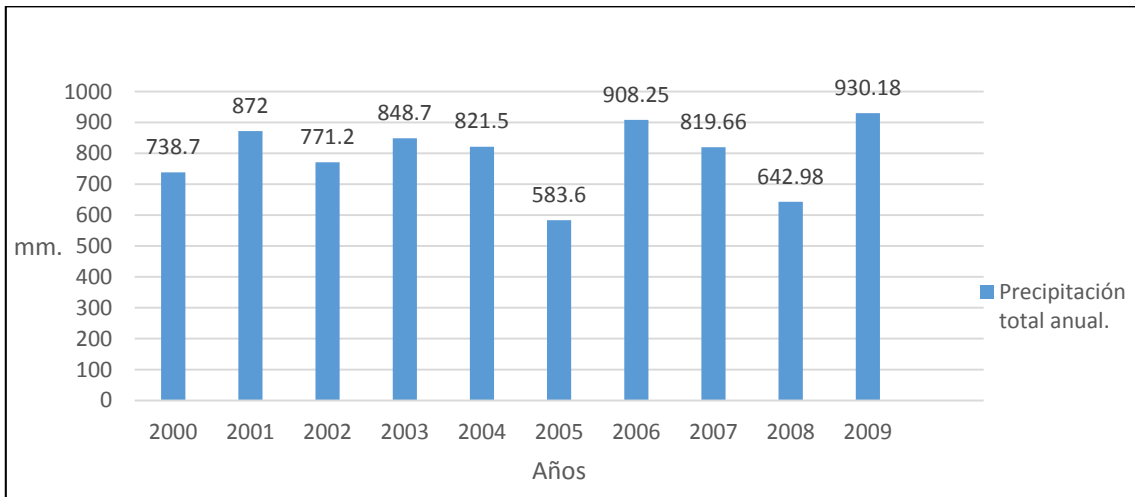
En esta década (2000-209) las lluvias fueron más abundantes con respecto a años anteriores. Las menores precipitaciones se presentaron en el año 2005 y 2008, en tanto que las mayores ocurrieron en 2006 y 2009 (Figura 3.8)

Figura 3.7 Comportamiento de la temperatura en el OMUMB. Periodo: 2000-2009.



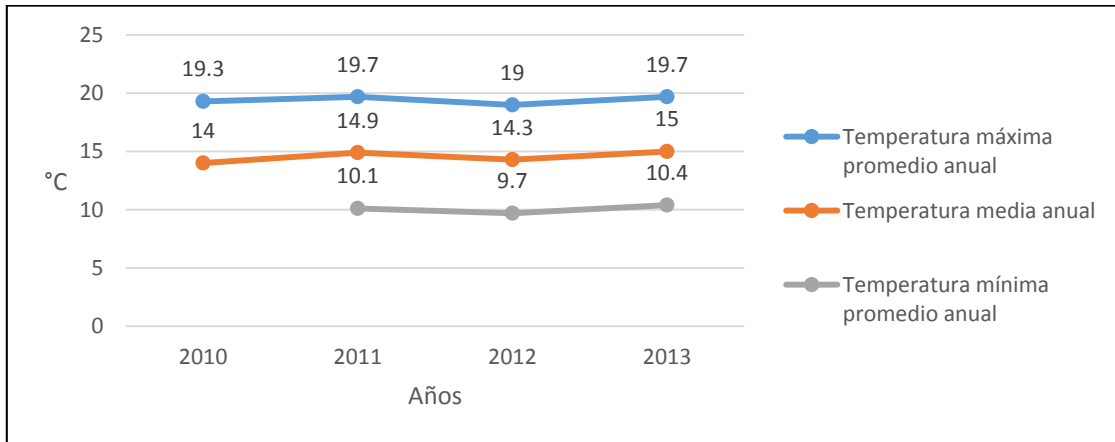
Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.8 Comportamiento de la precipitación en el OMUMB. Periodo: 2000-2009.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.9 Comportamiento de la temperatura en el OMUMB. Periodo: 2010-2013.

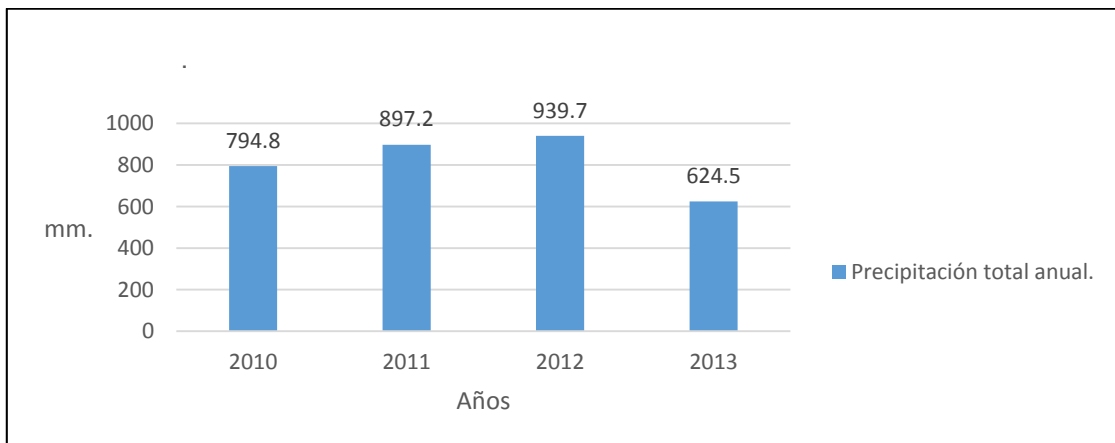


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Este periodo (2010–2013) no conforma una década, sin embargo, se consideró, para observar el comportamiento de las variables hasta la actualidad. La TMA registró, en el año 2013 el valor máximo con 15°C y el valor mínimo en 2010 (14°C). La TMAPA presentó el valor máximo con 19.7°C, en los años 2011 y 2013 y el mínimo con 19°C en 2012. La TMIPA más baja se registró en el año 2012, con un valor de 9.7°C, en tanto que el valor más alto se encuentra en 2013, con diferencia de .7°C (Figura 3.9).

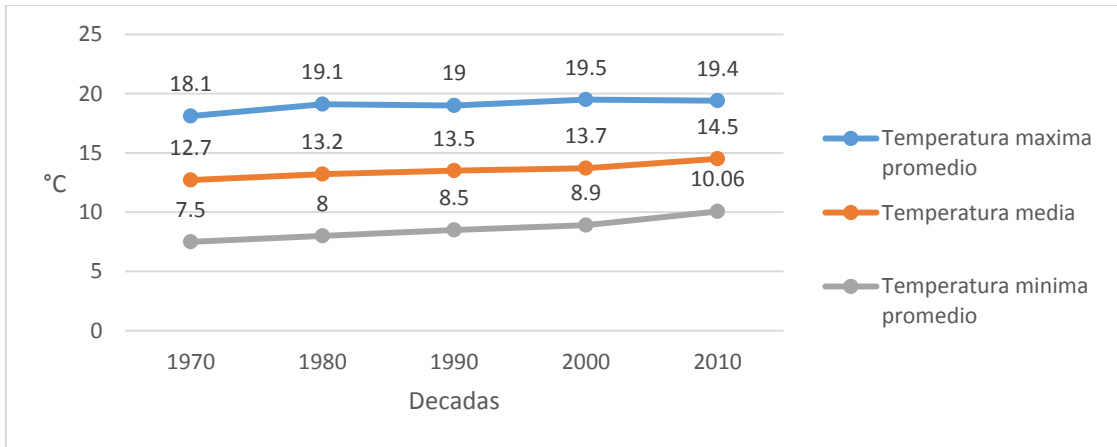
El año más lluvioso se registró en 2012, con 939.7 mm. (El valor más alto en la estación). En tanto que, los menos lluviosos fueron los años 2010 y 2013 con 794.8mm y 624.5 mm respectivamente (Figura 3.10)

Figura 3.10 Comportamiento de la precipitación en el OMUMB. Periodo: 2010-2013



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.11 Comportamiento de la temperatura en el OMUMB. Periodo: 1970-2013

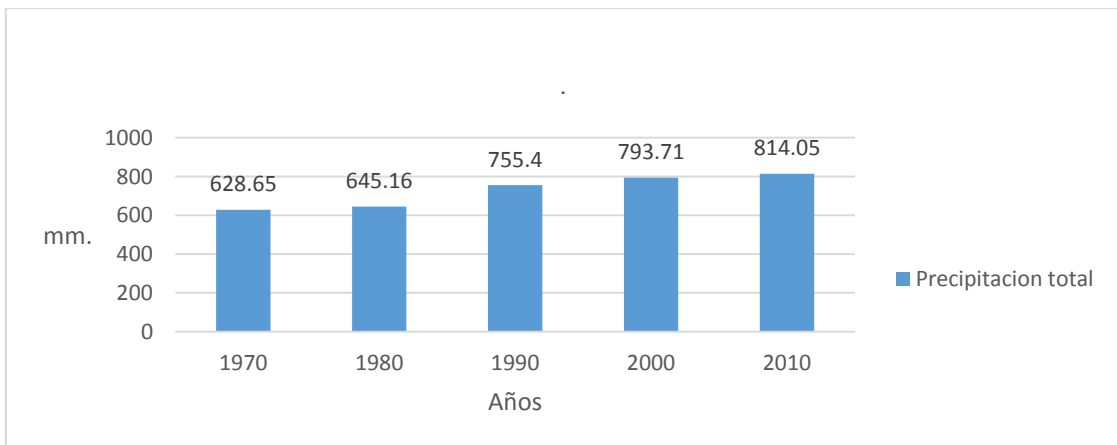


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

En el figura 3.11 se observa que la TMAPA incremento a partir de la década de 1970 con .9°C alcanzando en el decenio del 2000 el valor máximo con 19.5 °C y las oscilaciones de 2010 con respectos a esta, no serían significativas. El comportamiento de la temperatura media y la temperatura mínima promedio de la figura 3.11 muestra que se han incrementado en el periodo de estudio.

Podemos observar claramente en la figura siguiente, que los registros muestran que la intensidad de la precipitación ha incrementado en el periodo de estudio y la zona en que se realizan las lecturas.

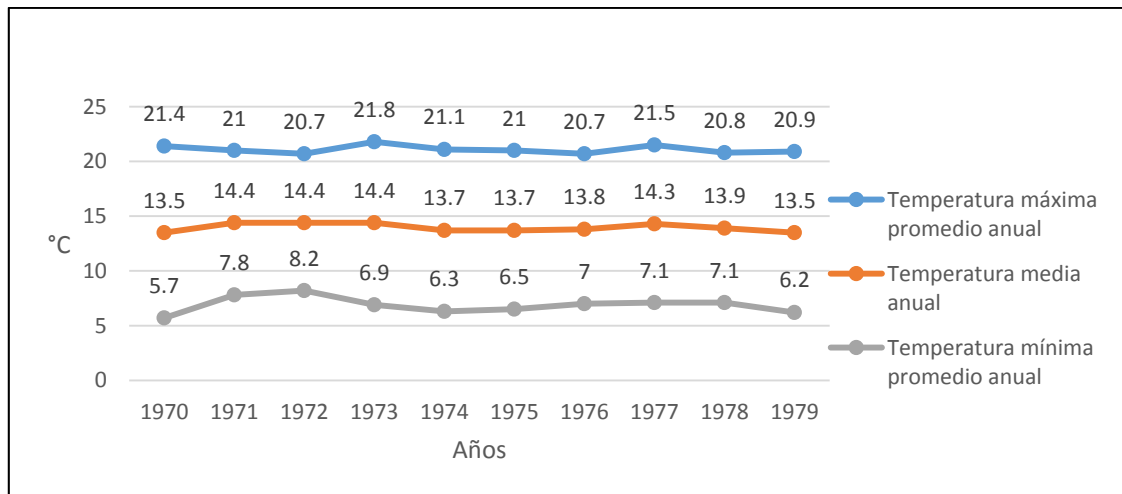
Figura 3.12 Comportamiento de la precipitación en el OMUMB. Periodo: 1970-2013



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

3.1.2) A continuación se grafican los registros meteorológicos, de la Estación Climática Toluca – DGE (ECT-DGE), anteriormente la estación monitoreaba cerca de la zona industrial de la ciudad de Toluca:

Figura 3.13 Comportamiento de la temperatura en la ECT-DGE. Periodo: 1970-1979.

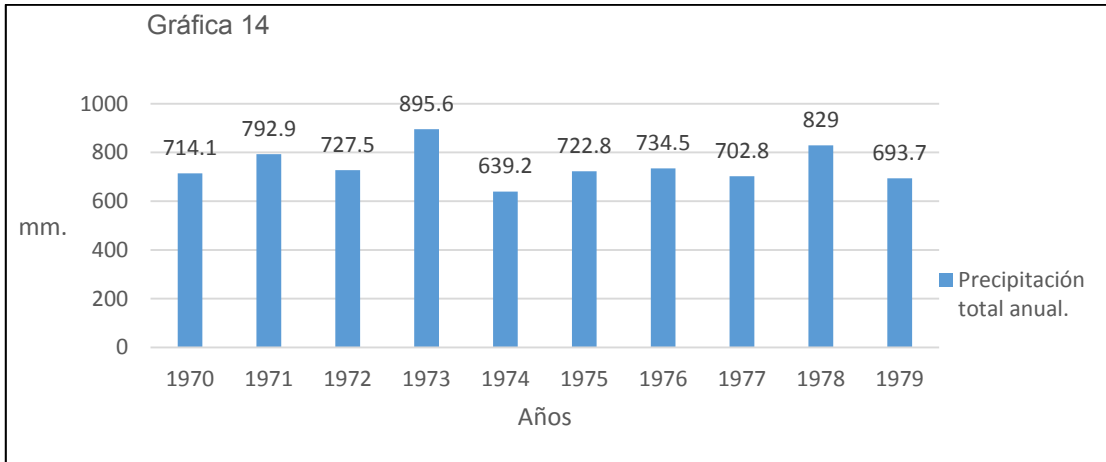


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

La ECT-DGE registró la TMA, mínima en los años 1970 y 1979, con 13.5°C, siendo que los valores máximos se presentaron en 1971, 1972 y 1973, con 14.4°C. La TMAPA manifestó el valor más alto, con 21.8°C, en el año 1973 y el más bajo, con 20.7°C, en los años 1972 y 1976. La temperatura mínima promedio anual más fría, se dio en 1970 con 5.7°C y la menos fría en 1972, con 8.2°C (Figura 3.13).

La precipitación total anual en la estación climática Toluca – DGE expresó en 1973, con 895.6 mm, su cuantificación máxima y mínima en 1974, con 639.2 mm. Al asociar los datos de TMAPA, TMA y PTA del año 1973, resultaron mayores, en la década de 1970 (Figura 3.14).

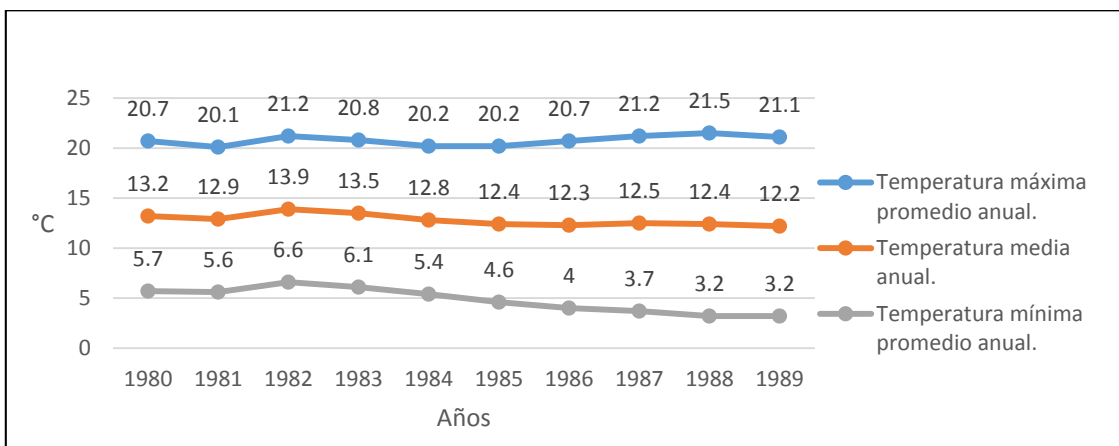
Figura 3.14 Comportamiento de la precipitación en la ECT-DGE. Periodo: 1970-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

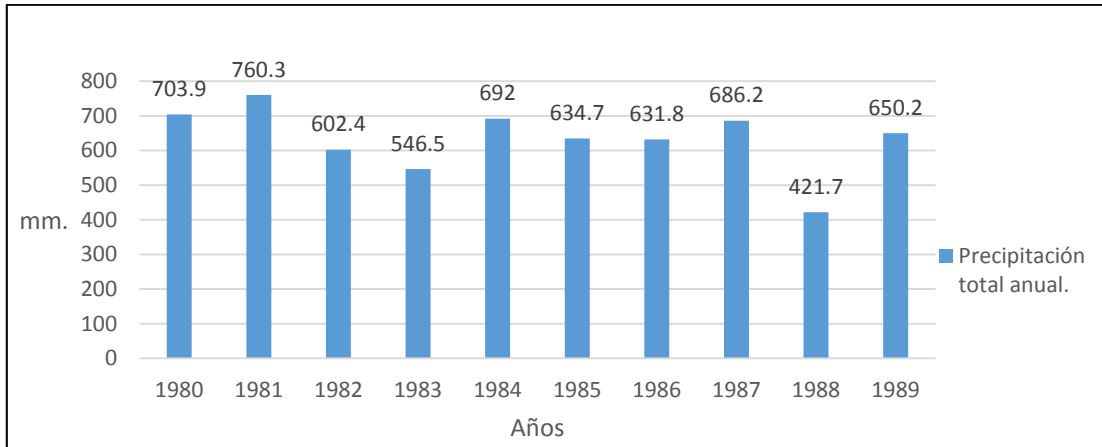
Como se observa en la gráfica siguiente, la TMIPA registró su valor más bajo, en 1988, la TMAPA reveló su valor máximo, con 21.5°C, en este mismo año así como en 1989. La TMA presentó como valores extremos 12.2°C y 13.9°C, temperaturas correspondientes a 1989 y 1982 (Figura 3.15).

Figura 3.15 Comportamiento de la temperatura en la ECT-DGE. Periodo: 1980-1989.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.16 Comportamiento de la precipitación en la ECT-DGE. Periodo: 1980-1989

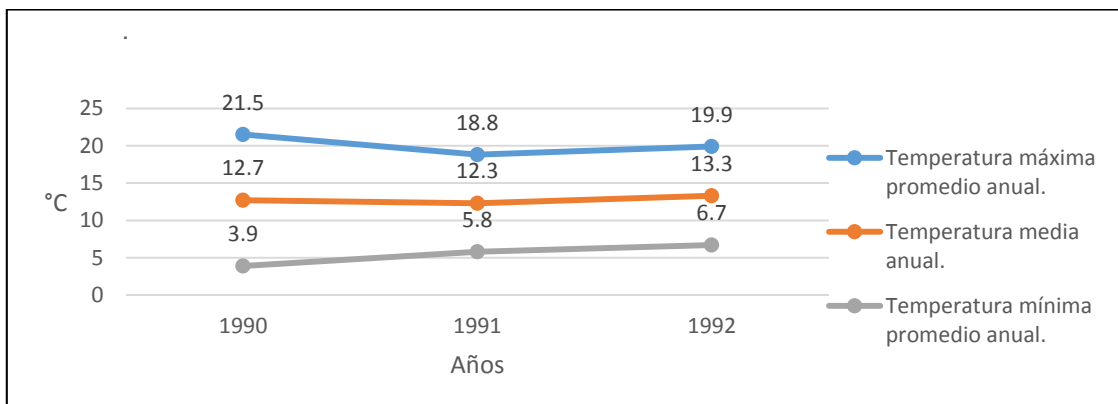


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

En 1981 se manifestó el valor máximo de PTA, con 760.3 mm y en 1988, el valor mínimo, con 421.7 mm (Figura 3.16).

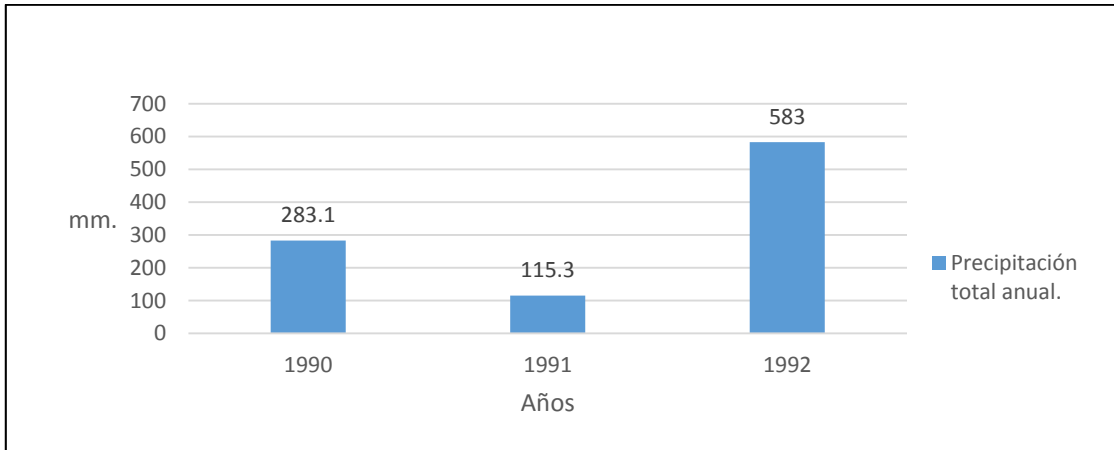
El dato sobresaliente en cuanto a TMA se observa en 1992, año en que dicha variable se calculó en 13.3°C. Por otra parte, con relación a la TMAPA el parámetro máximo es de 21.5°C. Finalmente, la TMIPA situó sus valores extremos en 1992 con 6.7°C y 1990 con 3.9°. (Figura 3.17)

Figura 3.17 Comportamiento de la temperatura en la ECT-DGE. Periodo: 1990-1992



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.18 Comportamiento de la precipitación en la ECT-DGE. Periodo: 1990-1992.

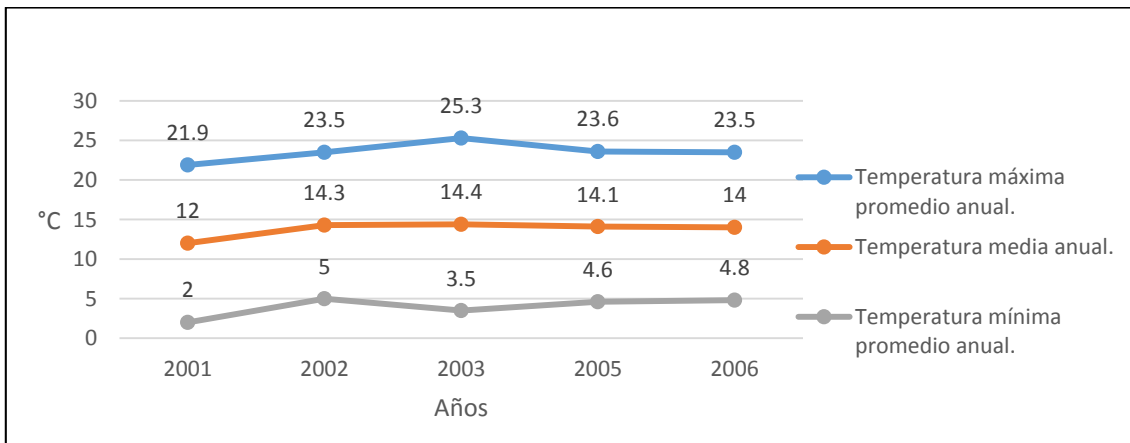


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Los datos graficados de los años 1990 y 1991 se tabularon con la suma de 6 meses de información (Figura 3.18)

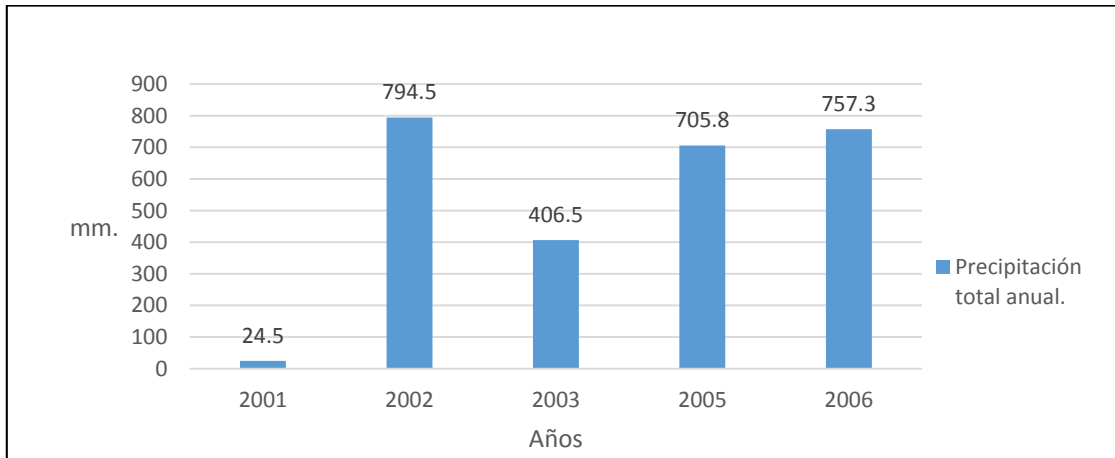
La TMA registró, en el año 2001, el valor mínimo con 12°C y el más alto en 2003, con 14.4°C. La TMAPA en el año 2003 alcanzó su valor máximo de 25.3°C. La mínima de TMIPA, fue de 2°C, en el año 2001 (el promedio corresponde a 2 meses de información (octubre y noviembre) (Figura 3.19).

Figura 3.19 Comportamiento de la temperatura en la ECT-DGE. Periodo: 2001-2006.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.20 Comportamiento de la precipitación en la ECT-DGE. Periodo: 2001-2006.

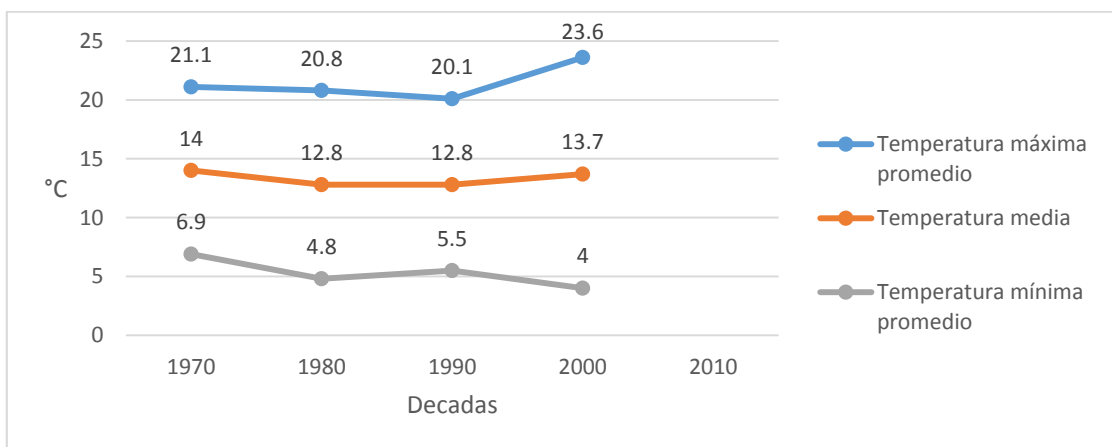


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

La PTA más abundante se registró en el año 2002, con 794.5 mm y la mínima en el año 2003, con 406.5 mm. El resultado tabulado del año 2001, corresponde a la suma de dos meses de información, por lo cual no se tomó como un dato relevante (Figura 3.20)

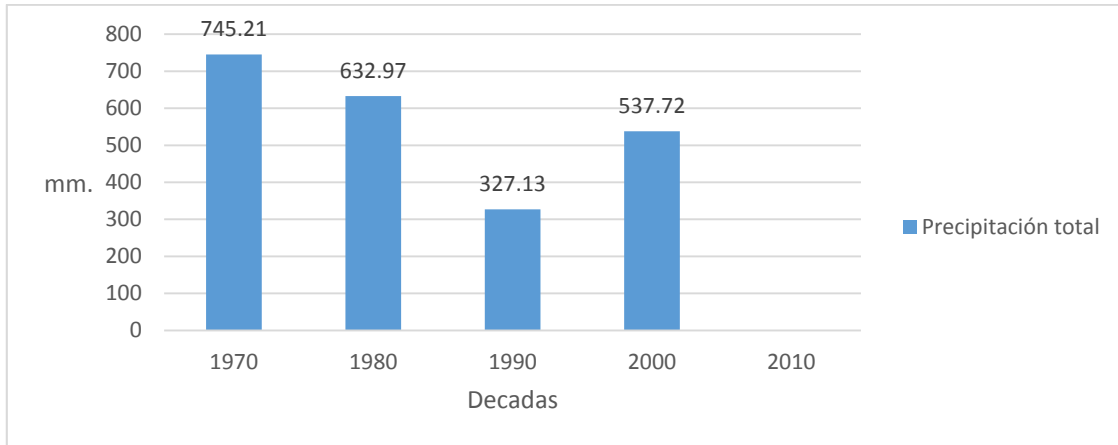
La figura siguiente evidencia que la temperatura mínima promedio en 1970 se promedio el valor mas alto, con 6.9°C y en el 2000 el mas bajo, con 4°C. Para la temeperatura media, se registraron los valores extremos en la decada de 1970 y 2000, y los minimos en 1980 y 1990. La temperatura máxima promedio mantuvo una oscilacionde los 20.1°C a los 23.6°C, en los años de 1990 y 2000 respectivamente. Actualmente la estacion no opera y las ultimas lecturas climaticas fueron las del año 2006.

Figura 3.21 Comportamiento de la Temperatura en la ECT-DGE. Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.22 Comportamiento de la precipitación en la ECT - DGE. Periodo: 1970-2013.



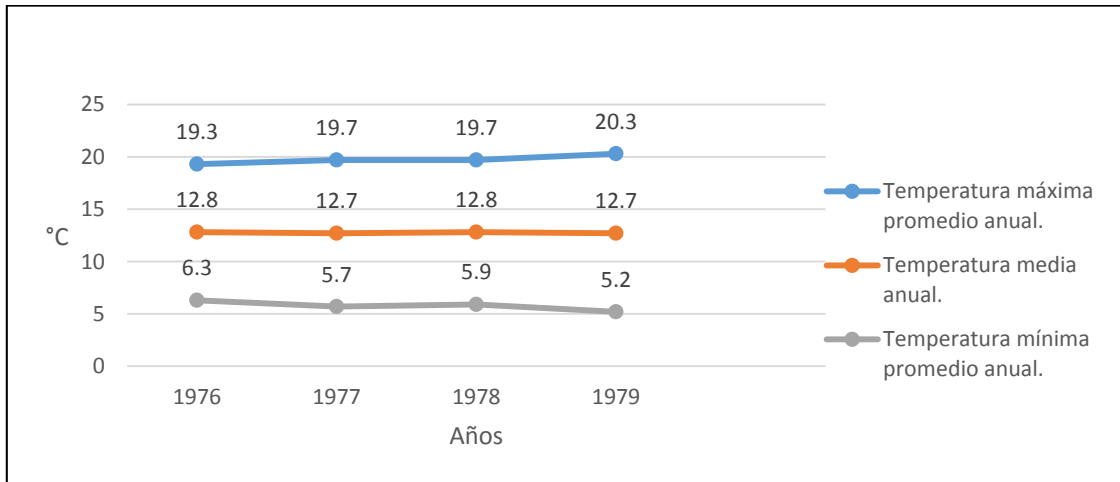
Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

En la figura 3.22 la cuantificación más alta de la precipitación se promedió en 1970 y la mínima en 1990. Probablemente el comportamiento de los valores obedezca a la información disponible de los historiales de información.

3.1.3) Las lecturas de la estación climática Nueva Oxtotitlán (ECNO) se comportaron de la siguiente manera;

Primeramente, es importante señalar que para la década de los 70's sólo se encontró información de los últimos 4 años. Durante este periodo la ECNO, documentó una temperatura media anual de 12.8°C y 12.7°C intercalando estos valores de 1976 a 1979. La TMAPA apuntó el máximo en 1979, con 20.3°C y el mínimo en 1976, con 19.3°C, es importante observar la diferencia de un grado centígrado que existe entre éstos. La TMIPA registró en 1979 el parámetro inferior, con 5.2°C y en 1976, el superior con 6.3°C (Figura 3.23).

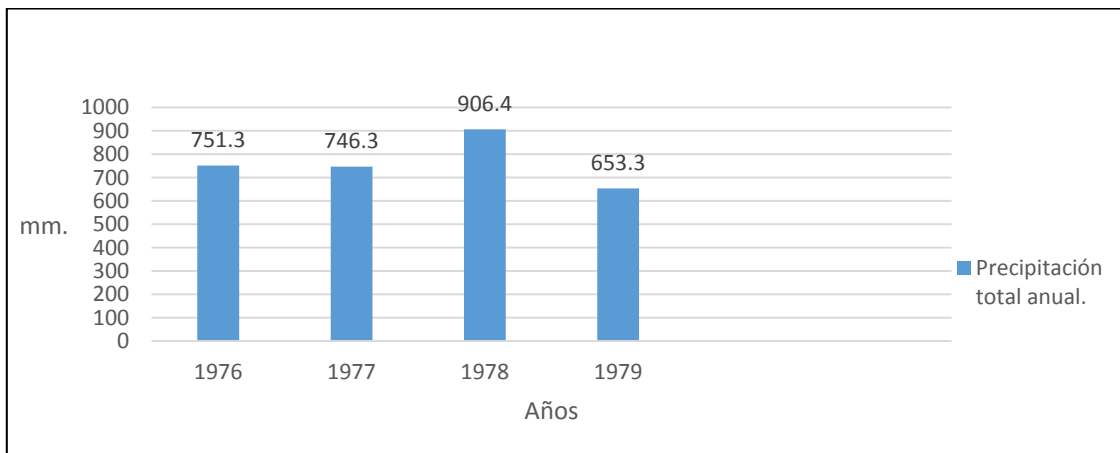
Figura 3.23 Comportamiento de la temperatura en la ECNO. Periodo: 1976-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

La PTA inscribió el valor máximo en 1978, con 906 mm y el mínimo en 1979, con 653.3 mm (Figura 3.24)

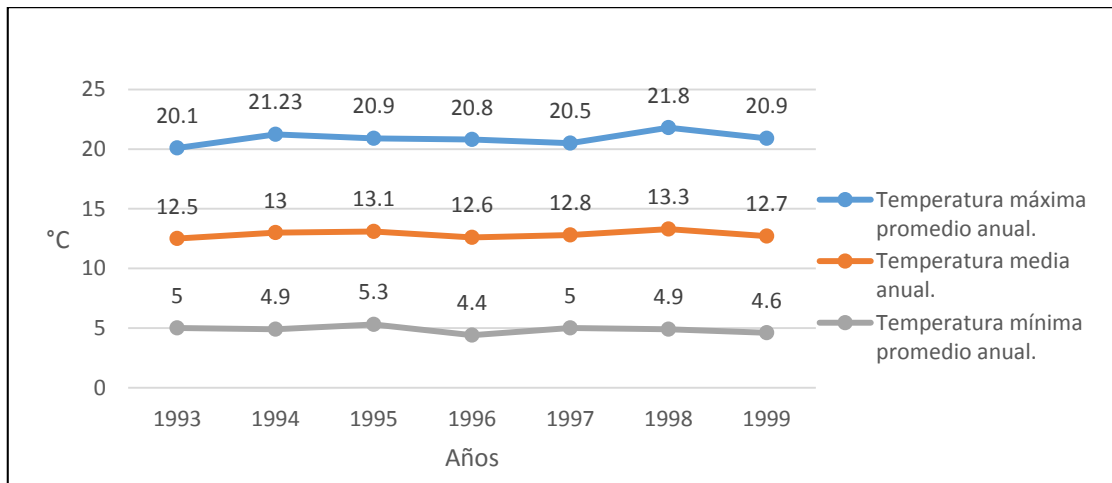
Figura 3.24 Comportamiento de la precipitación en la ECNO. Periodo: 1976-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Los historiales disponibles de la temperatura y la precipitación de la década de 1980, corresponden a 3 meses de información y por lo tanto no se graficaron.

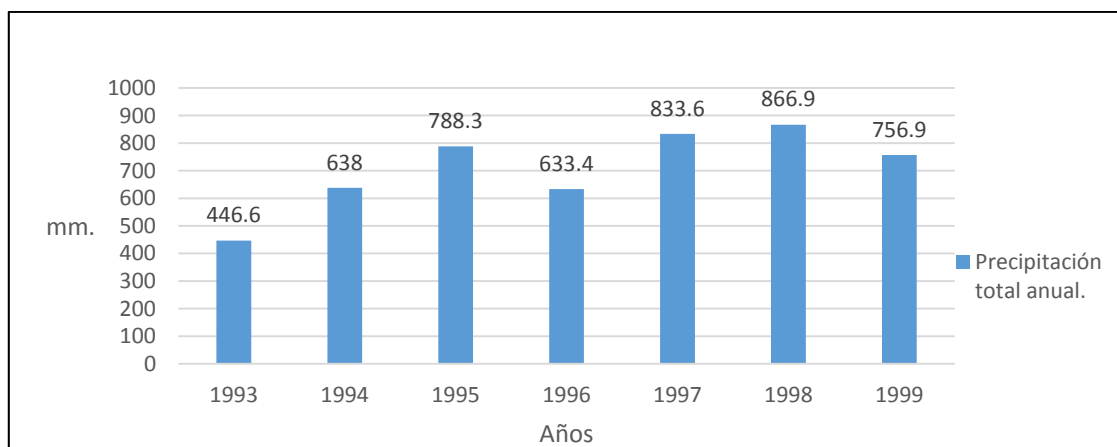
Figura 3.25 Comportamiento de la temperatura en la ECNO. Periodo: 1993-1999.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

La TMA se mantuvo más o menos constante durante esta década, presentando su mayor valor en el año 1998 (13.3°C). Así también, la TMAPA presentó su máximo valor en este mismo año, con 21.8°C. En tanto que la TMIPA presentó la temperatura menor al año 1996 (4.4°C) y la mayor en 1995 (5.3°C) (Figura 3.25).

Figura 3.26 Comportamiento de la precipitación en la ECNO. Periodo: 1993-1999.

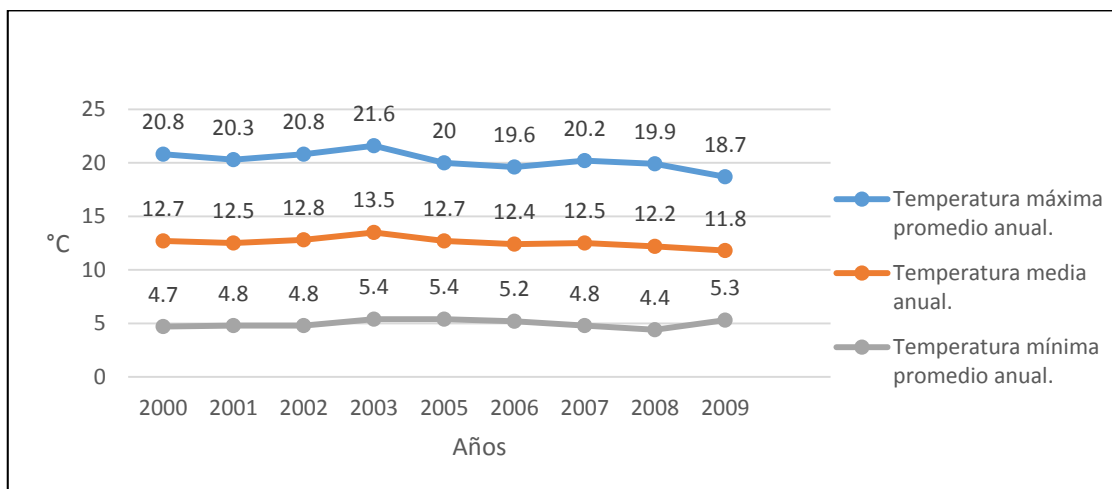


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

La PTA registró la precipitación mínima en el año 1993, con 446.6 mm y el máximo en 1998, con 866.9 mm. Como se puede observar en la gráfica 13 y 14, la TMAPA, la TMA y la PTA de 1998, resultaron sobresalientes para la década (Figura 3.26)

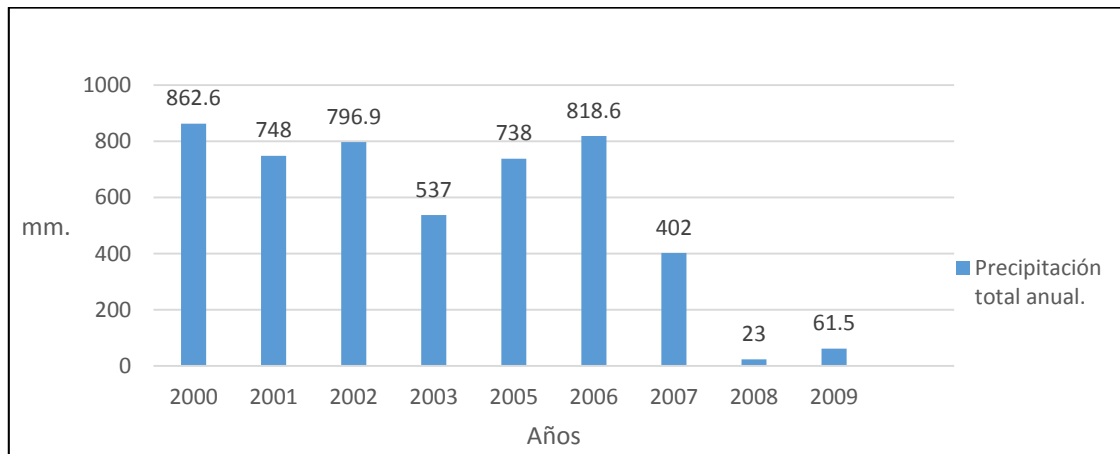
La TMA presentó la mayor lectura en 2003, con 13.5°C y la mínima en 2009, con 11.8°C. La TMIPA registró la temperatura más baja en el año 2008 con 4.4°C, y las mayores a la mitad del periodo, en los años 2003 y 2005. Los valores que destacan en la TMAPA son los correspondientes al 2003 (21.6°C) y el 2009 (18.7°C). Examinando los datos de las gráficas 15 y 16, se puede considerar al 2003 como un año cálido, ya que la temperatura máxima, media y mínima sobresalen con respecto a los otros años (Figura 3.27).

Figura 3.27 Comportamiento de la temperatura en la ECNO. Periodo: 2000-2009.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.28 Comportamiento de la precipitación en la ECNO. Periodo: 2000-2009.

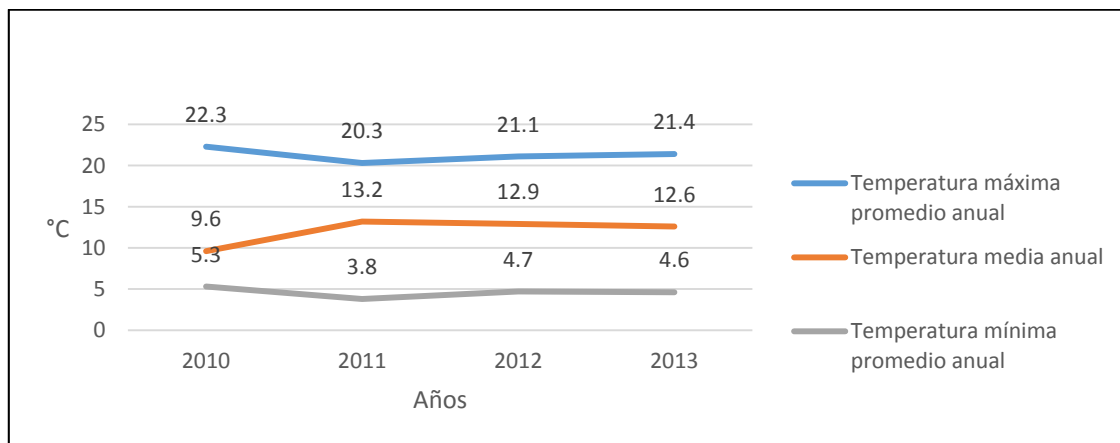


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

La precipitación total anual registró el valor más alto en el año 2000, con 862.6 mm, y la más baja en el 2008, con 23 mm. La disminución de lluvias en los dos últimos años, se debe a que la sumatoria se obtuvo únicamente con 3 meses de información (Figura 3.28).

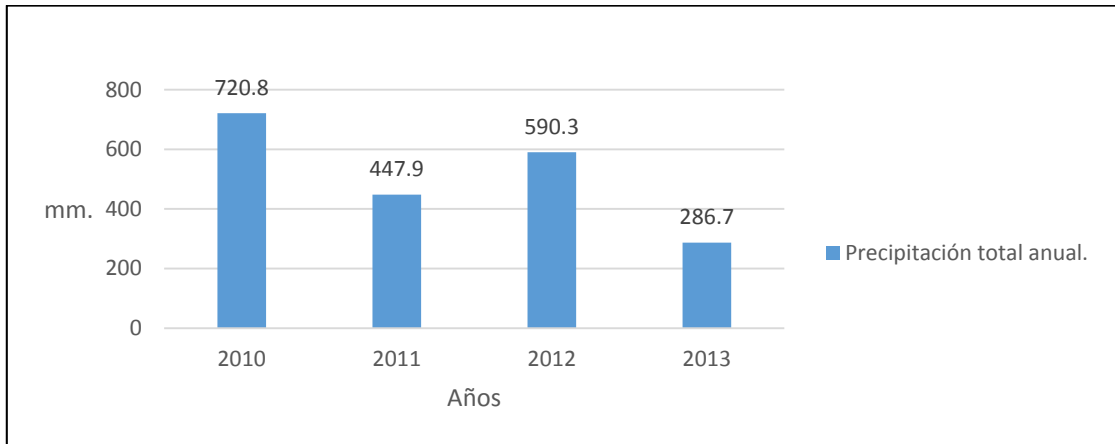
Podemos observar que los valores máximos de TMAPA y de TMIPA se encuentran en 2010, contrario a la TMA que es la más baja de la estación y de la década. El máximo de temperatura media (13.2°C) ocurre en el año 2011, al igual que las mínimas, de temperatura máxima promedio (20.3°C) y para el caso de la temperatura mínima promedio, asimismo, del periodo en la estación (3.8°C) (Figura 3.29).

Figura 3.29 Comportamiento de la temperatura en la ECNO. Periodo: 2010-2013



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.30 Comportamiento de la precipitación en la ECNO. Periodo: 2010-2013.

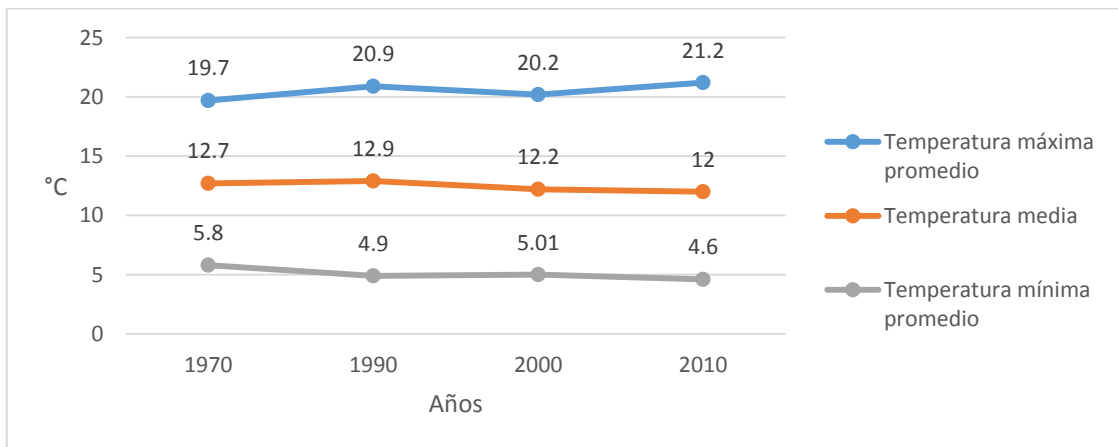


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Como se observa en la figura 3.30, la PTA mayor fue en el año 2010, periodo en el cual se registraron 720.8 mm. y la menor en 2013 con sólo 286.7 mm, este último valor corresponde a la suma de 6 meses del historial. Asociando los datos de temperatura y precipitación (ver figuras 3.29 y 3.30), la TMAPA, la TMIPA y la PTA, presentaron sus registros máximos en el año 2010.

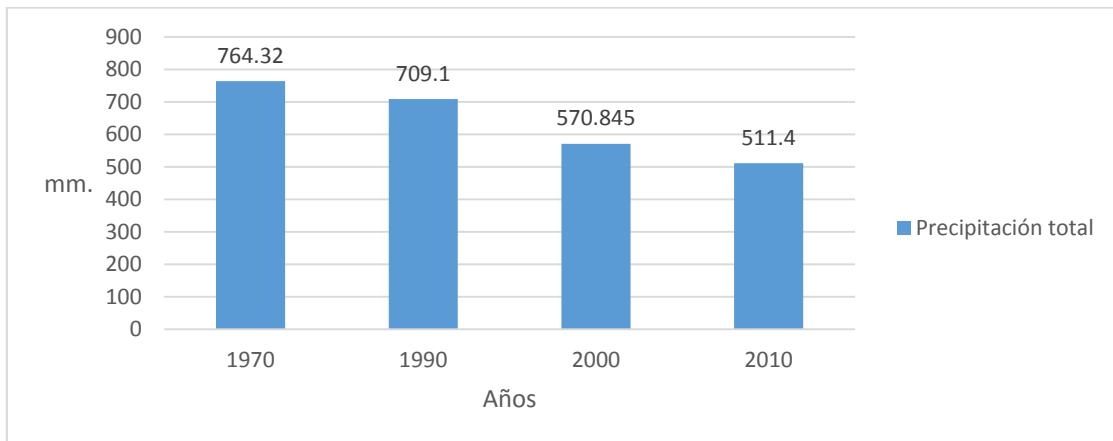
En la figura 3.31 se observa que la temperatura mínima promedio descendió de la década de 1970 con 5.8°C, hasta 2010 con 4.6°C. Al contrario de la temperatura máxima promedio que ha incrementado, del inicio al final del periodo de estudio. Con relacion a la temperatura media el valor maximo se presento en la década de 1990 y el valor mínimo en el periodo de 2010.

Figura 3.31 Comportamiento de la temperatura en la ECNO. Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.32 Comportamiento de la precipitación en la ECNO. Periodo: 1970-2013.



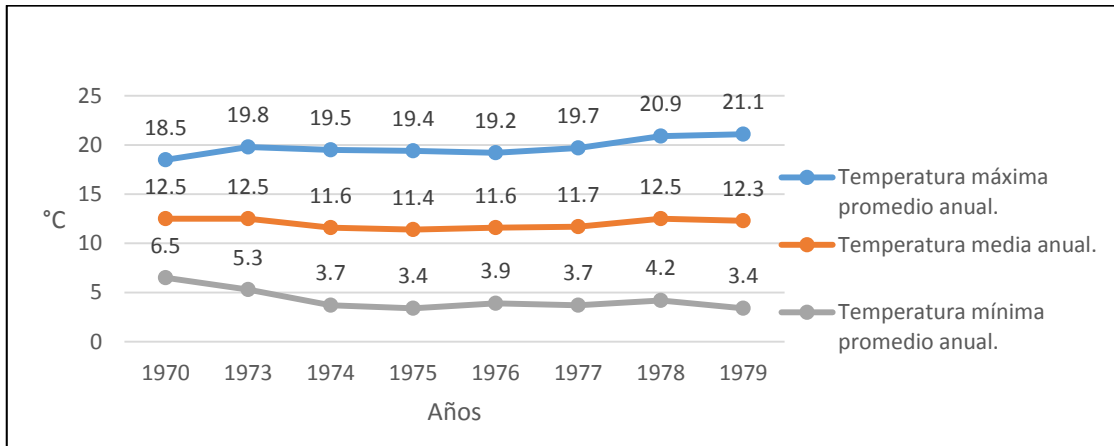
Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

En el figura 3.32 se observa, que la magnitud de las precipitaciones disminuyó a lo largo del periodo de estudio.

3.1.4) Los valores del Observatorio Meteorológico Toluca- Zinacantepec (OMT-Z) se grafican a continuación:

La TMA presentó en el año 1975, el valor inferior con 11.4°C y los más altos en los años 1970, 1973 y 1978, con 12.5°C . Con relación a la TMAPA desataca la registrada en 1979 con un valor de 21.1°C y en este mismo año la TMIPA registró el menor valor con 3.4°C . Se aprecia un descenso de temperatura mínima de 1974 a 1979. Además es posible distinguir un periodo frío en la temperatura media y mínima promedio anual, de los años 1974 a 1977 (Figura 3.33).

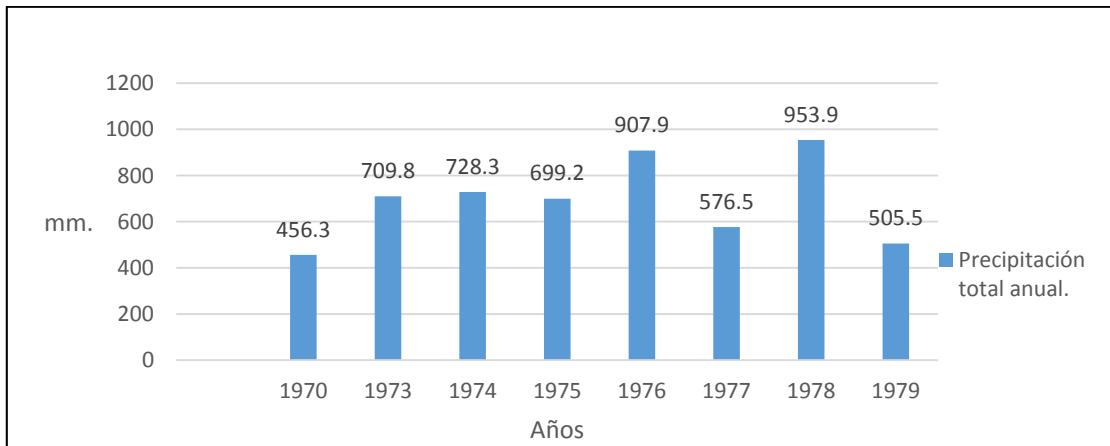
Figura 3.33 Comportamiento de la temperatura en el OMT-Z. Periodo: 1970-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

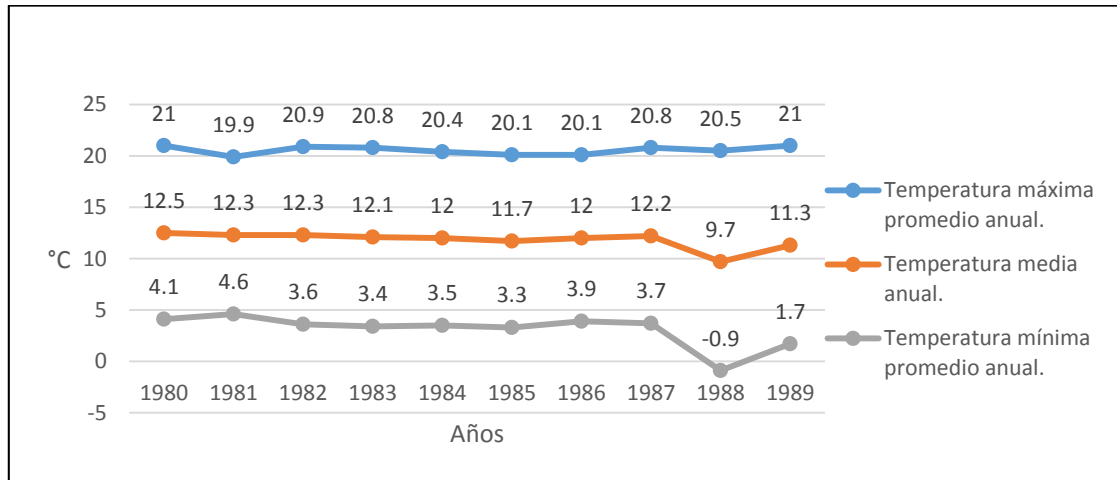
La PTA registró la mínima en el año 1970 con 456.3 mm y el máximo en 1978, con 953.9 mm. Al asociar los datos de PTA y TMA (1970, 1973) y del año 1978, es evidente que fueron extremos para el periodo 1970 -1979 (Figura 3.34).

Figura 3.34 Comportamiento de la precipitación en el OMT-Z. Periodo: 1970-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.35 Comportamiento de la temperatura en el OMT-Z. Periodo: 1980-1989.

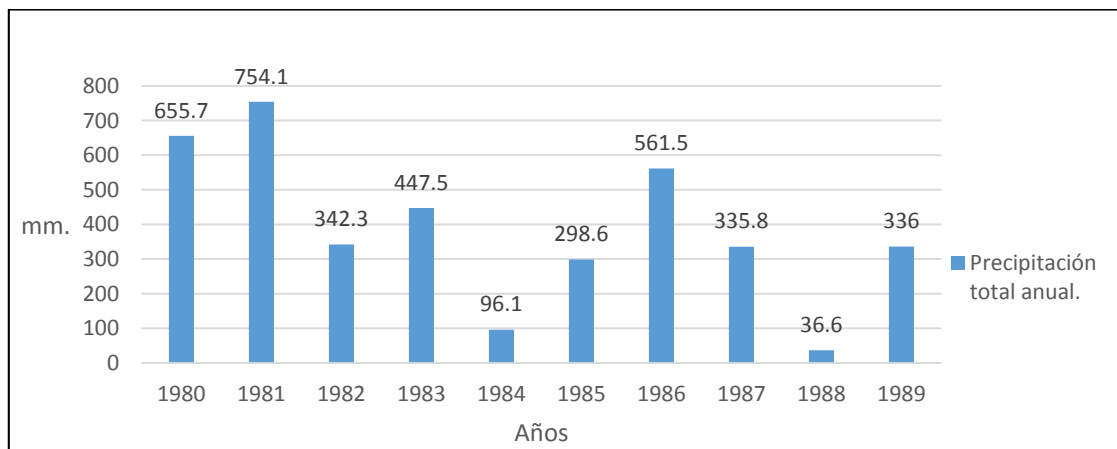


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Como se aprecia en la figura anterior (figura 3.35), la TMAPA osciló durante este periodo entre los 19.9°C y los 21°C. En tanto que la TMA lo hizo entre 12.5°C (1980) y 11.3°C (1989), año en el que presenta un descenso importante. La TMIPA determinó el valor mínimo en 1989 con 1.7°C. Cabe mencionar que el dato de TMA y TMIPA del año 1988, equivalen al promedio de 2 meses de información.

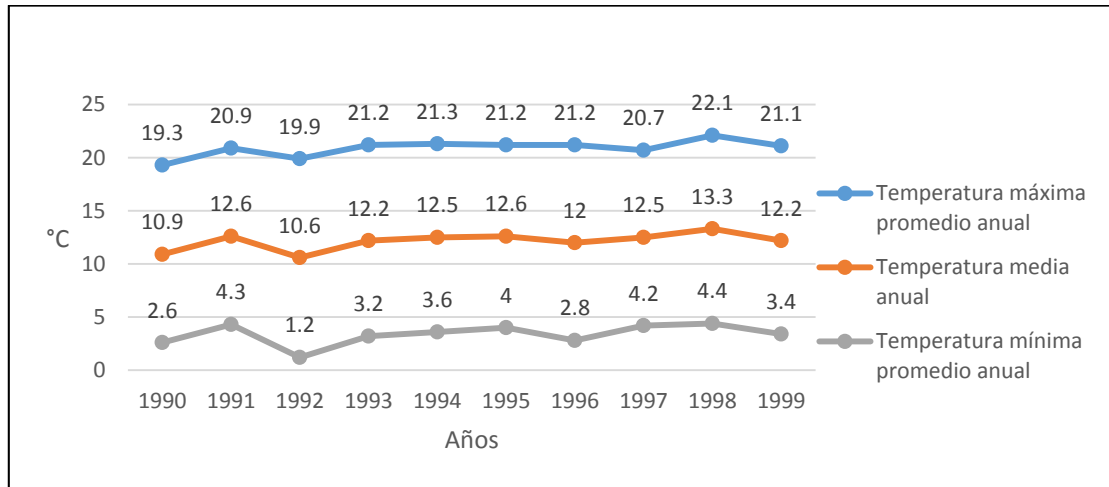
El valor más significativo de precipitación total anual, fue registrado en 1981, con 754.1 mm y el menor en 1985, con 298.6 mm. Los valores de los años 1984 y 1988 equivalen a la suma 5 meses (Figura 3.36).

Figura 3.36 Comportamiento de la precipitación en el OMT-Z. Periodo: 1980-1989.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.37 Comportamiento de la temperatura en el OMT-Z. Periodo: 1990-1999.

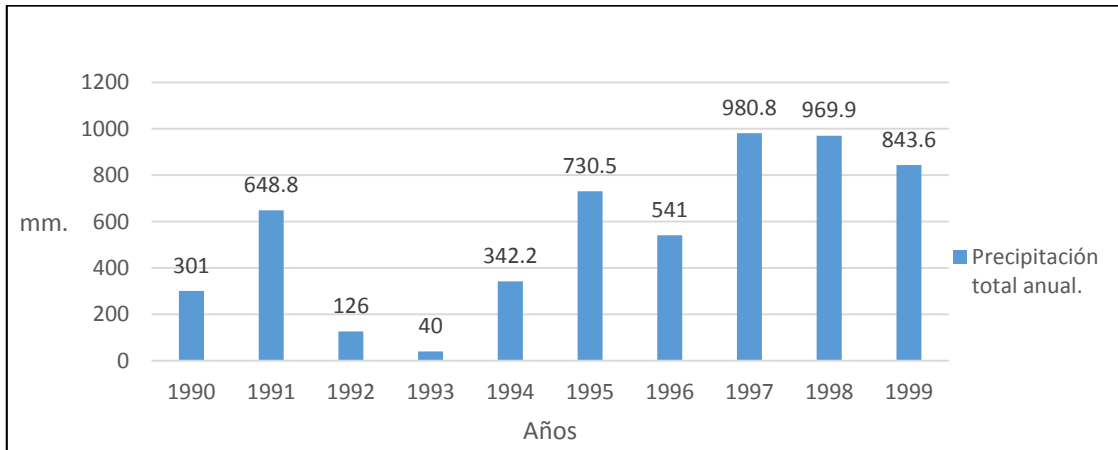


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Tanto la TMA, como la TMAPA y la TMIPA presentaron un descenso en 1992, tal como se observa en la figura 3.37. Asimismo, las tres variables presentaron los valores más altos de esta década en 1998. Es importante resaltar que de 1998 a 1999 se observa una diferencia de más de 2°C, en los tres valores de temperatura sí se comparan los valores máximos con los mínimos. En los 3 datos de los años 1990, 1992 y 1993, son el resultado del promedio, con información menor a 10 meses.

La PTA en el año 1997 marcó el valor máximo, con 980.8 mm, y en 1990 el valor mínimo con 301 mm. Los datos de 1992 y 1993 se tabularon con la suma del resultado menor a 2 meses de información. Aunando la temperatura y precipitación de los años 1991, 1995, 1997 y 1998, es evidente, que fueron extremos para la década (Figura 3.38).

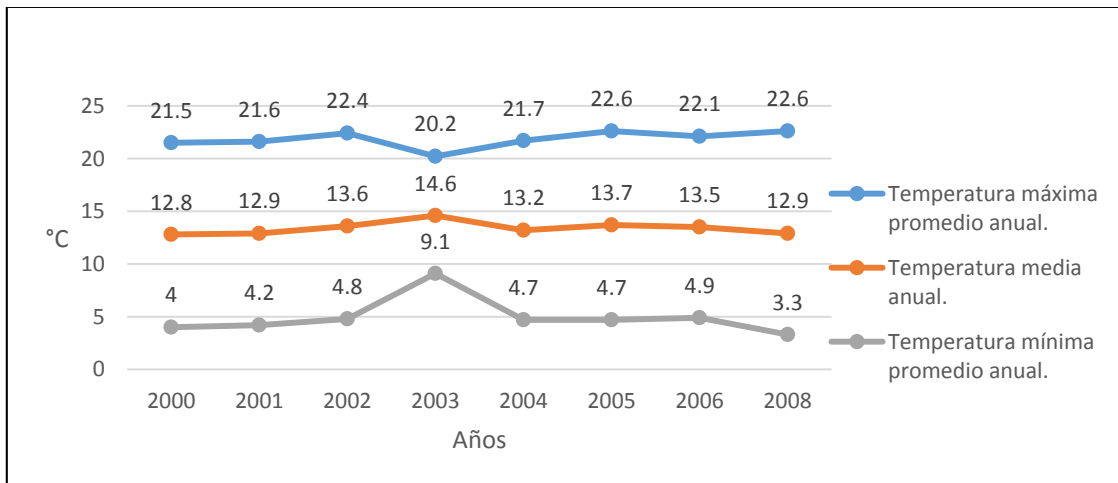
Figura 3.38 Comportamiento de la precipitación en el OMT-Z. Periodo: 1990-1999.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

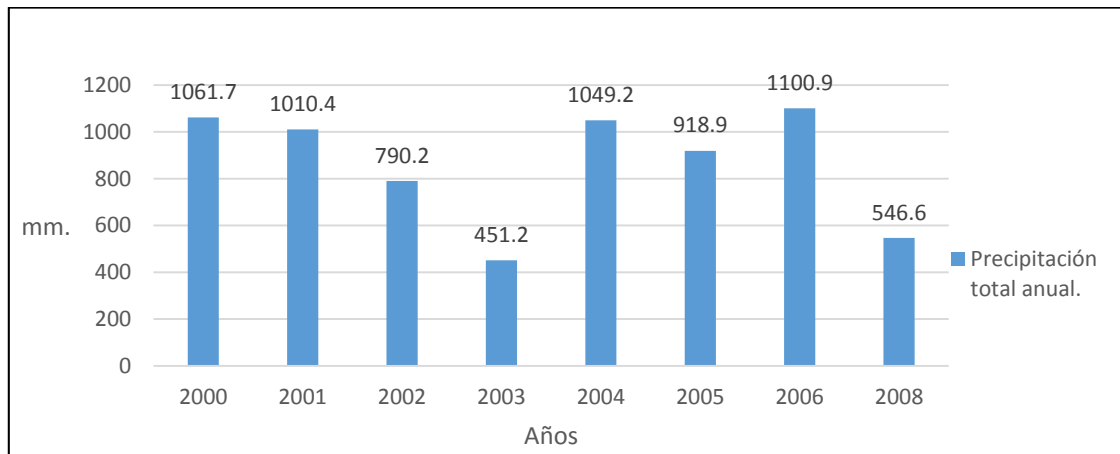
La TMA del 2000 destacó por ser la más baja de este periodo, estimándose en 12.8°C, en tanto que la TMA de 14.6°C correspondiente al año 2003 se observa como la mayor. La TMIPA fluctuó entre 3.3 y 9.1°C, diferencia que se estima como significativa. Finalmente, la TMAPA en 2005 y 2008 registró el valor, con 22.6°C.

Figura 3.39 Comportamiento de la temperatura en el OMT-Z. Periodo: 2000-2008.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.40 Comportamiento de la precipitación en el OMT-Z. Periodo: 2000-2008.

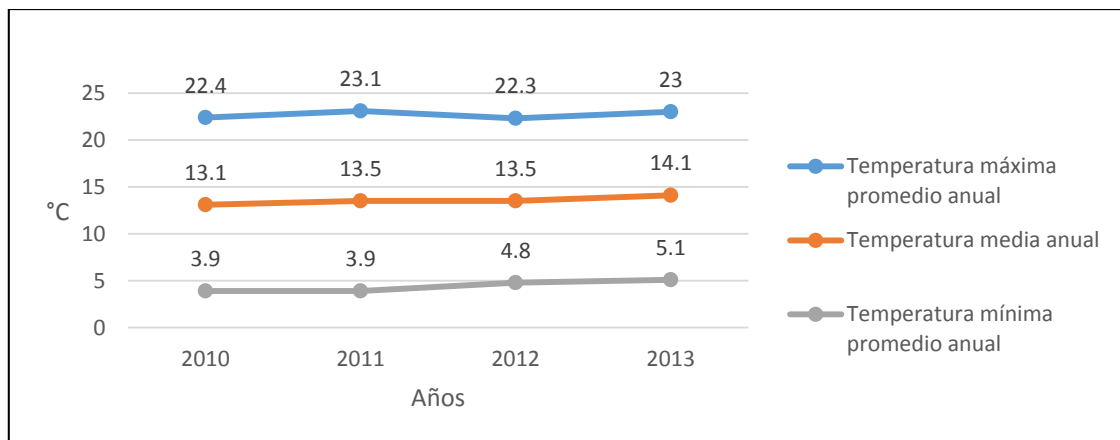


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Con relación al parámetro de PTA, destaca con el mayor valor el año 2006, con 1100.9 mm, y en contraparte el año 2003, con la precipitación más baja equivalente a 451.2 mm. A pesar de que se ve una época lluviosa, realmente, es estable en promedio.

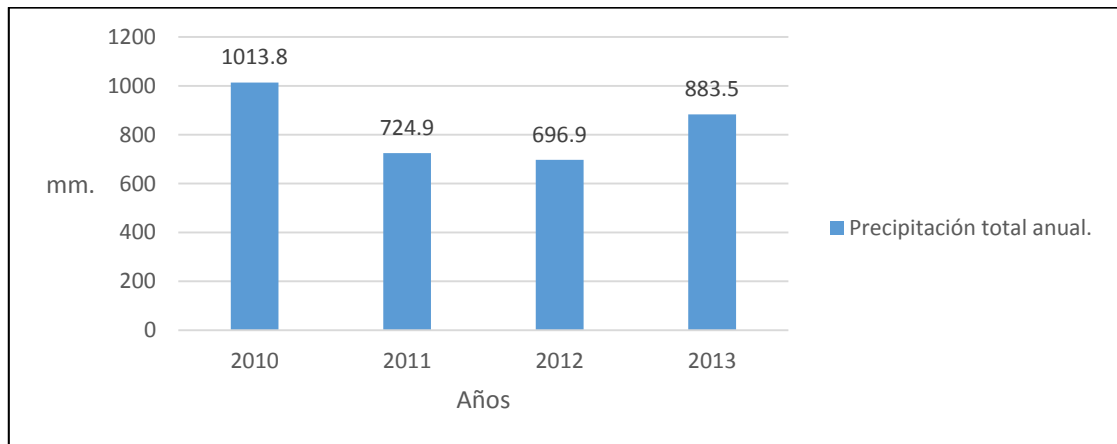
La temperatura máxima promedio anual en el año 2011 registró 23.1°C. La TMA presentó el valor menor, con 13.1°C, en 2010 y el valor mayor, con 14.1°C, en 2013. La temperatura mínima promedio anual más baja se registró en los años 2010 y 2011, con 3.9°C, por otra parte la temperatura más cálida correspondió a 2013 con 5.1°C.

Figura 3.41 Comportamiento de la temperatura en el OMT-Z. Periodo: 2010-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.42 Comportamiento de la precipitación en el OMT-Z. Periodo: 2010-2013.

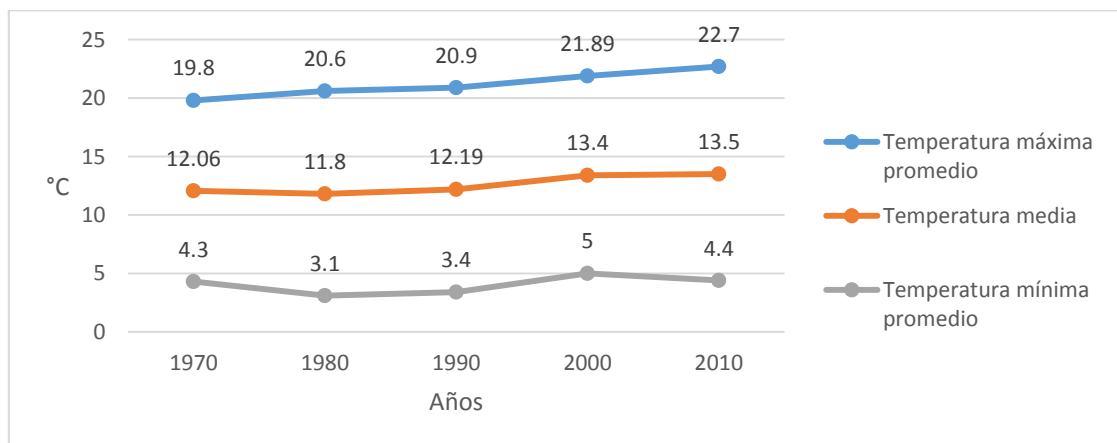


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

La mayor precipitación de la década se concentró en 2010, año en que se registraron 1013.8 mm, por el contrario el periodo con menor precipitación fue 2012 con sólo 696.9 mm de lluvia.

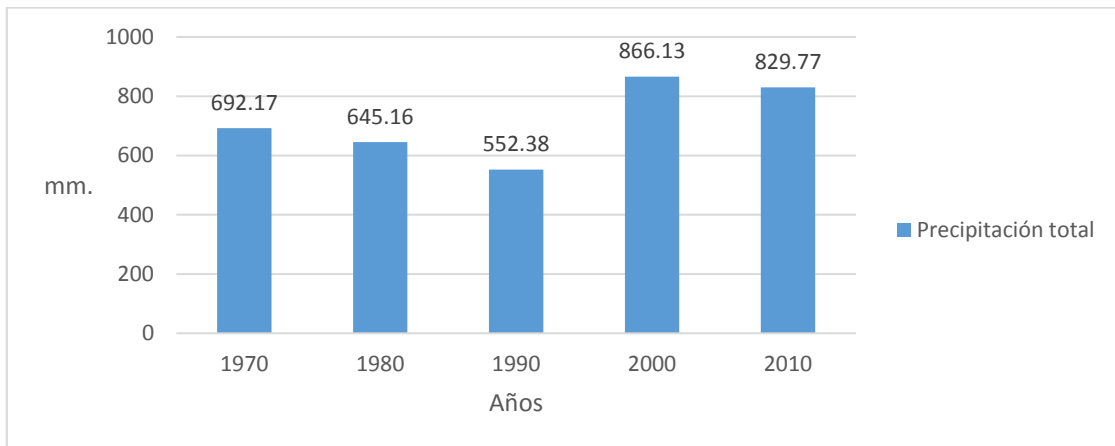
La temperatura máxima promedio de la figura 3.43 muestra, que esta incrementando en la zona, esto al observar el crecimiento paulatino de la variable. Por otro lado la temperatura media a descendido en la década de 1980 con 11.8°C e incremento en 2010, con 13.5°C (valor máximo). Y la temperatura mínima promedio registró en 1980 3.1°C, y en el 2000, 5°C.

Figura 3.43 Comportamiento de la temperatura en el OMT-Z. Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.44 Comportamiento de la precipitación en el OMT-Z. Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA.

Podemos notar que los volúmenes de precipitación han bajado hasta la década 1990 y en el 2000 se ha presentado el valor máximo de precipitación. El promedio de la precipitación para el periodo 1970-2013 ha sido de 717.12 mm.

3.1.5) La Temperatura y Precipitación registrada en la estación climática Calixtlahuaca (ECC) se exhibieron como se muestra en las siguientes figuras;

La Estación Climática Calixtlahuaca (ECC) para la década de 1970, solo cuenta con información de dos años, sin embargo, se contempló para observar el comportamiento (Figura 3.45)

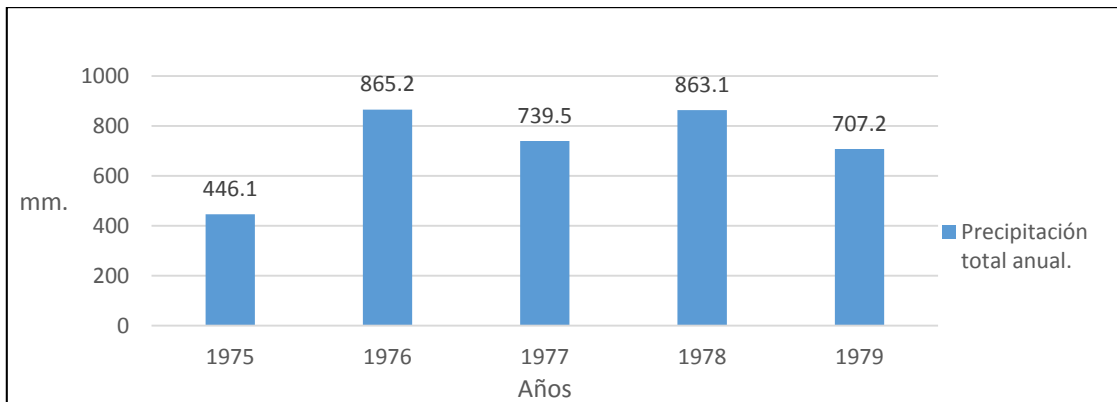
Figura 3.45 Comportamiento de la temperatura en la ECC. Periodo: 1978-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

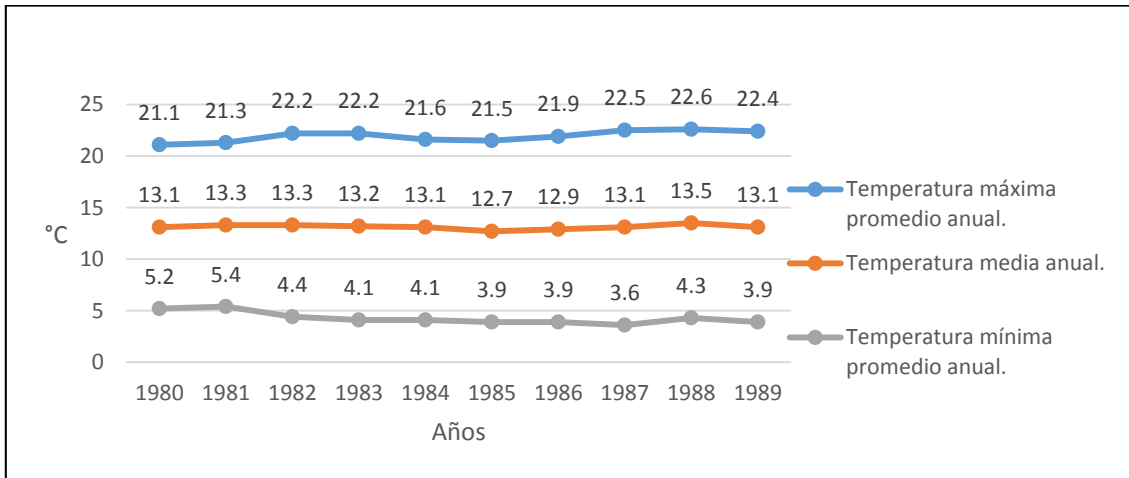
Como se observa en la figura 3.46, de la década de 1970 a 1979 sólo se cuenta con información de 5 años referentes a precipitación total anual. De los datos disponibles destacan 1976 y 1975 como los años más lluviosos y secos respectivamente.

Figura 3.46 Comportamiento de la precipitación en la ECC. Periodo: 1975-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.47 Comportamiento de la temperatura en la ECC. Periodo: 1980-1989.

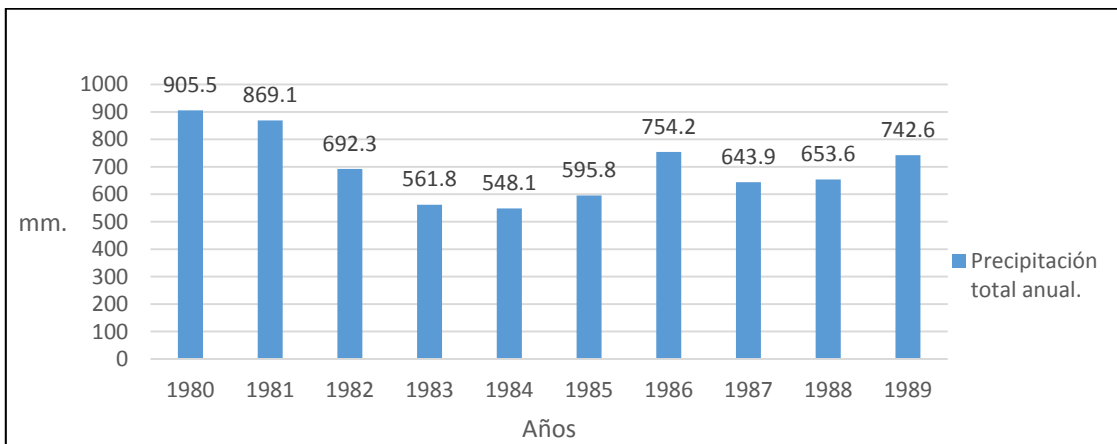


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Durante la década de los 80's la TMA osciló entre 12.7 y 13.5°C, valores que se registraron en 1985 y 1988 respectivamente. La TMAPA presentó la temperatura sobresaliente, con 22.6°C, en 1988. La TMIPA registró el valor más bajo, con 3.6°C en 1987 (Figura 3.47).

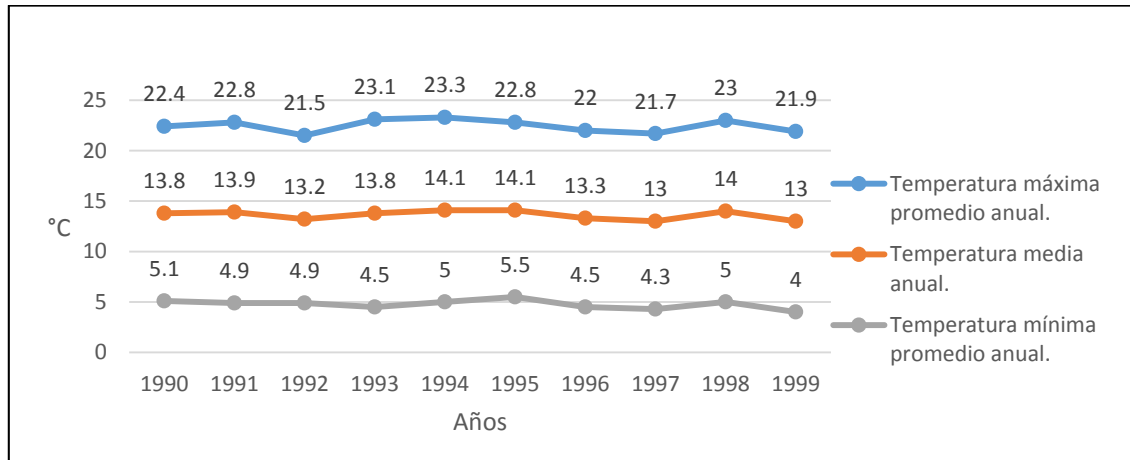
Con base en la figura 3.48, se puede apreciar que 1980 fue un año especialmente lluvioso, reportando una precipitación de 905.5 mm. Por el contrario se aprecia un periodo seco a mediados de la década, siendo 1984 el año con menor precipitación.

Figura 3.48 Comportamiento de la precipitación en la ECC. Periodo: 1980-1989.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.49 Comportamiento de la temperatura en la ECC. Periodo: 1990-1999.

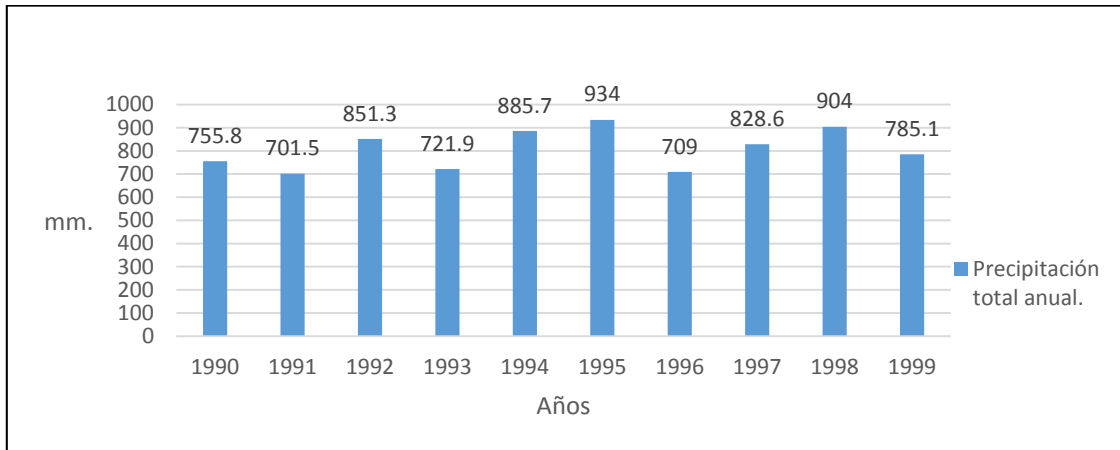


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

En el periodo de 1990 a 1999, la TMA se mantuvo constante, aunque se registró un ascenso de este parámetro a mediados de la década, particularmente en el año 1994 y 1995. La década termina con un descenso de la temperatura media anual, siendo 1999 junto con 1997 los años que registraron menores temperaturas promedio. De acuerdo a los datos de la gráfica 49, el estado del tiempo según la TMAPA fue templado, registrándose la temperatura máxima en 1994. La TMIPA experimento un periodo frio, principalmente en el año 1999, con 4°C.

En el figura 3.50 la oscilación de la lluvia fue en los años 1991 y 1995, entre 701.5 mm y 934 mm, respectivamente. Así pues el valor tabulado del año 1998 corresponde a la suma de 9 meses de historial que fueron capturados por la estación y es comparable con el valor máximo del periodo.

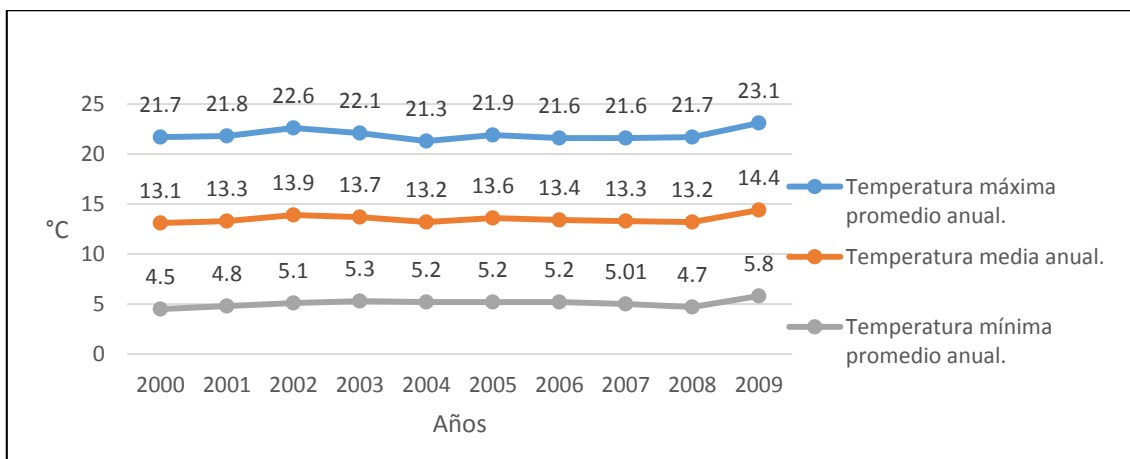
Figura 3.50 Comportamiento de la precipitación en la ECC. Periodo: 1990-1999.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

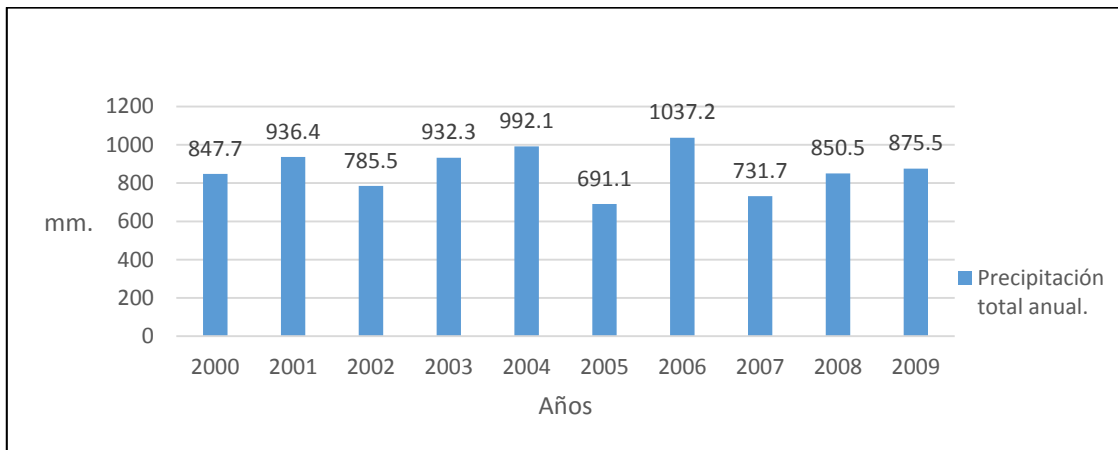
La figura 3.51 muestra que la TMAPA descendió en 2004, casi a mediados del periodo 2000 – 2009, e incremento al final justamente en el año 2009. La TMA y la TMIPA mantuvieron una tendencia de aumentando hasta el término de la década. Cabe señalar que en el año 2009, los tres diferentes datos de temperatura, corresponden al promedio de 9 meses de información, de los historiales obtenidos de la estación meteorológica, cuando las variables incrementaron con más de 1°C.

Figura 3.51 Comportamiento de la temperatura en la ECC. Periodo: 2000-2009.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.52 Comportamiento de la precipitación en la ECC. Periodo: 2000-2009.

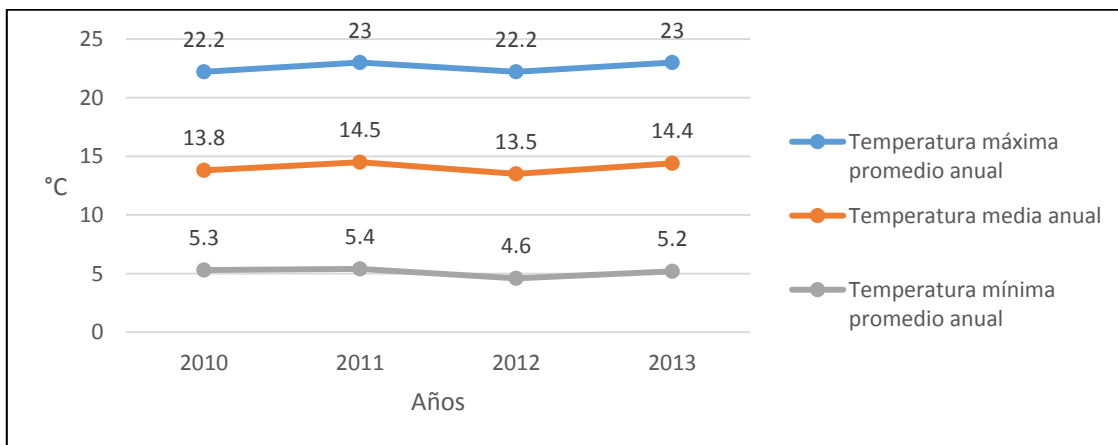


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Los volúmenes más altos de PTA en la década del 2000, se distribuyeron hasta el año 2006, pero también se suscitó el más bajo en 2005, y la oscilación del periodo se promedió en 800 mm.

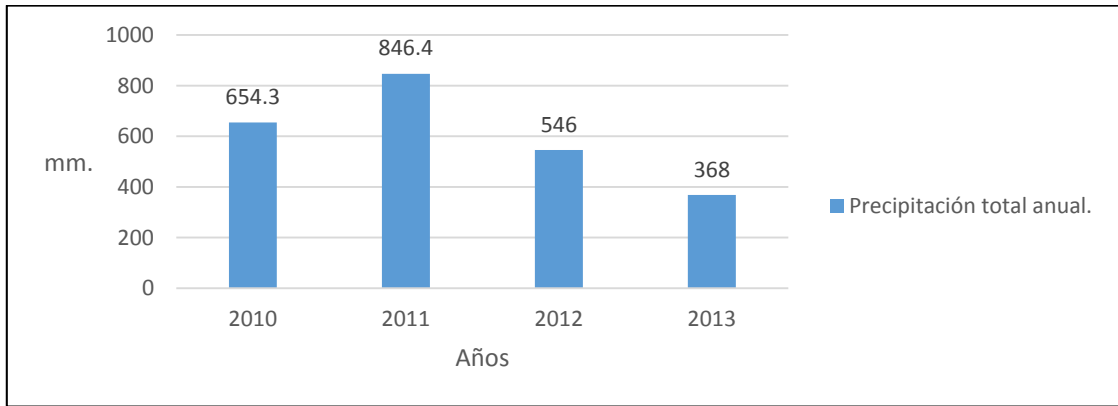
La temperatura máxima promedio anual de 2010 a 2013 fluctuó en promedio con $.8^{\circ}\text{C}$ por cada año. En la TMA de la gráfica 45 se observa una ola de temperatura, del inicio al final del periodo, en promedio de $.85^{\circ}\text{C}$ de oscilación, y la TMIPA se mantuvo sin magnitudes bruscas hasta al año 2012 donde se registró como el parámetro más bajo, con 4.6°C .

Figura 3.53 Comportamiento de la temperatura en la ECC. Periodo: 2010-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.54 Comportamiento de la precipitación en la ECC. Periodo: 2010-2013.

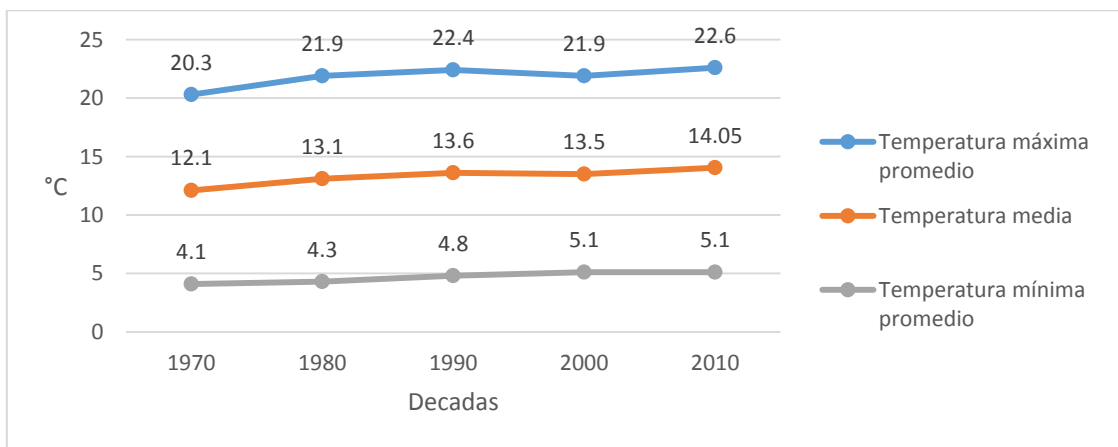


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

En el figura 3.54 se aprecia que las lluvias en el periodo 2010 – 2013 resultaron ligeras, pero solo en el año 2011 el volumen de la precipitación incremento. Hay que mencionar que el dato del año 2013 se tabuló con la suma de 8 meses de historial, registrado por la estación. Analizando los udatos tabulados de las gráficas 53 y 54 particularmente del año 2011, es evidente que los valores de la temperatura y la precipitación, corresponden a parámetros máximos.

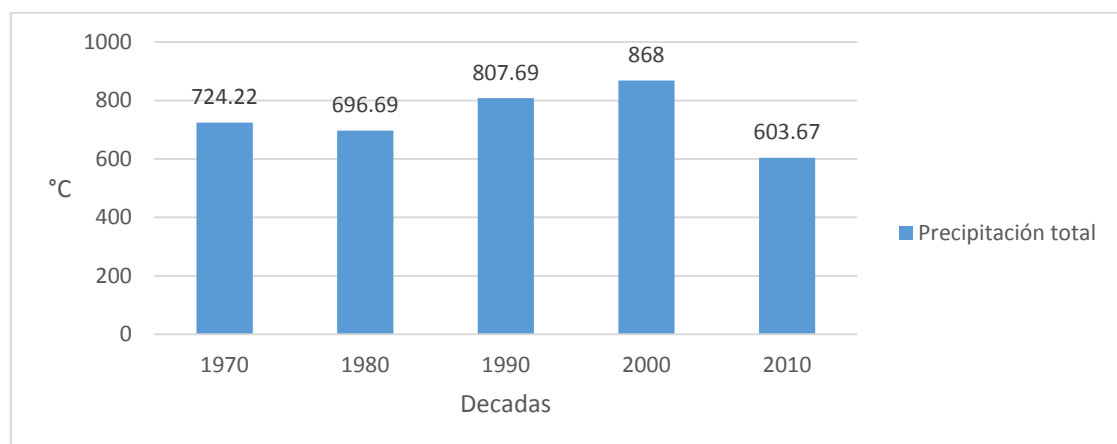
Resultado del análisis de la figura 3.55 argumentamos que la temperatura media y la temperatura mínima promedio han estado incrementando del periodo 1970 al 2013. La temperatura máxima promedio incrementó hasta mediados de la década (1990), en el 2000 bajo con .5°C y en 2010 se promedió el valor más alto, con 22.6°C.

Figura 3.55 Comportamiento de la temperatura en la ECC. Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.56 Comportamiento de la precipitación en la ECC. Período: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

El promedio del valor máximo de la precipitación fue en el 2000, con 868 mm y el valor menor fue en el 2010, con 603.67 mm.

En la tabla 3.4 se muestra la oscilación de las normales climáticas estudiadas.

Tabla 3.4 Oscilación de los parámetros climáticos en la ciudad de Toluca, con base en García y CONABIO.

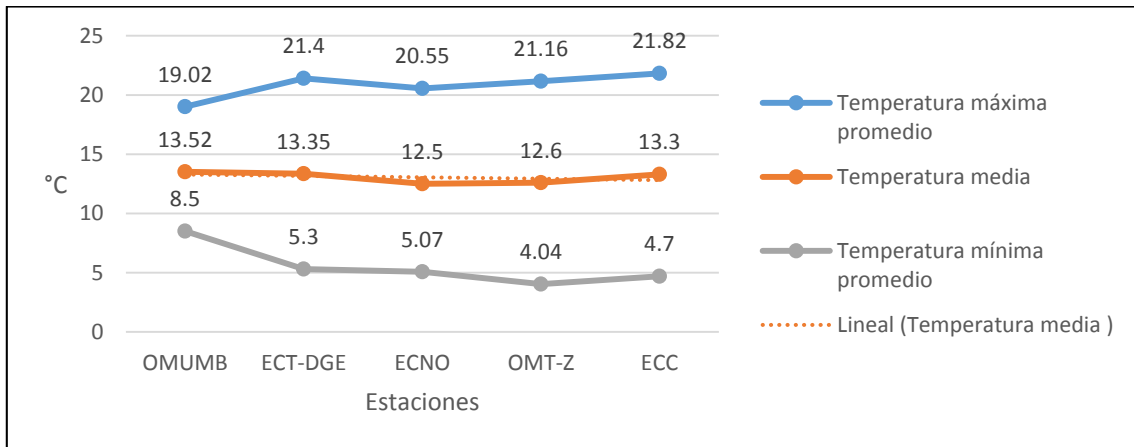
Parámetros climáticos	García (1987)	CONABIO (2008)	Oscilación
TM (Temperatura máxima)	6.5°C - 22°C	22°C - 26°C	19.02°C - 21.8°C
T \bar{x} (Temperatura media)	12°C - 18°C	12°C - 14°C	12.5°C - 13.52°C
Tm (Temperatura mínima)	-3°C - 18°C	0°C - 4°C	8.5°C - 4.04°C
Pp. (Precipitación)	791.6 mm.	800-1000 mm.	560.7 - 739.7 mm

Fuente: Elaboración propia con base en García y CONABIO.

En las figuras siguientes y con los valores de la tabla 3.4, se determina si las variables climáticas de la temperatura máxima, media, mínima promedio así como la precipitación total, se han desfasado de los rangos establecidos por los autores, en cada una de las estaciones meteorológicas. Es importante mencionar que el orden de las estaciones meteorológicas se relaciona con el grado de cercanía, respecto a la ciudad. El OMUMB es la estación que se encuentra en el centro de la ciudad, y su ubicación determina las consecuentes estaciones, en las figuras 3.57 y 3.58.

En la figura 3.57 el OMUMB registró el valor más bajo de temperatura máxima promedio, y el valor más alto fue registrado en la ECC. Así también, se puede identificar que en el Observatorio Meteorológico Universitario Mariano Bárcena se registraron los valores máximos de temperatura media y temperatura mínima sin embargo estas variables descienden hacia la periferia específicamente hasta el OMT-Z, y a partir de la ECC las temperaturas aumentan. Posiblemente la disponibilidad de información en los historiales registrados, los instrumentos y las características de la superficie del terreno, pudieran estar influyendo en el comportamiento de la temperatura. Según Enriqueta García (1987) el rango de temperatura máxima establecido para el área de estudio es de 6.5°C a 22°C, al compararlo con los registros de la gráfica 57, éstas no se han desfasado del promedio. De acuerdo al rango de temperatura máxima que establece CONABIO (2008), que es de 22°C a 26°C, comparado con el valor más alto registrado en la ECC, este último es bajo con el promedio que marca esta institución. La temperatura media de los datos de la gráfica anterior fluctúa en el rango promedio que establecen los autores CONABIO (2008) y García (1987), para el área de estudio. Con base en los parámetros establecidos por CONABIO (2008) se puede observar que la temperatura mínima ha incrementado en cada una de las estaciones, principalmente en las tres más cercanas a la ciudad. Comparando la temperatura mínima establecida por la autora García (1987) los valores de la figura 3.57 fluctúan en el rango promedio, a pesar de que en el OMUMB se haya registrado el valor más alto, con 8.5 °C.

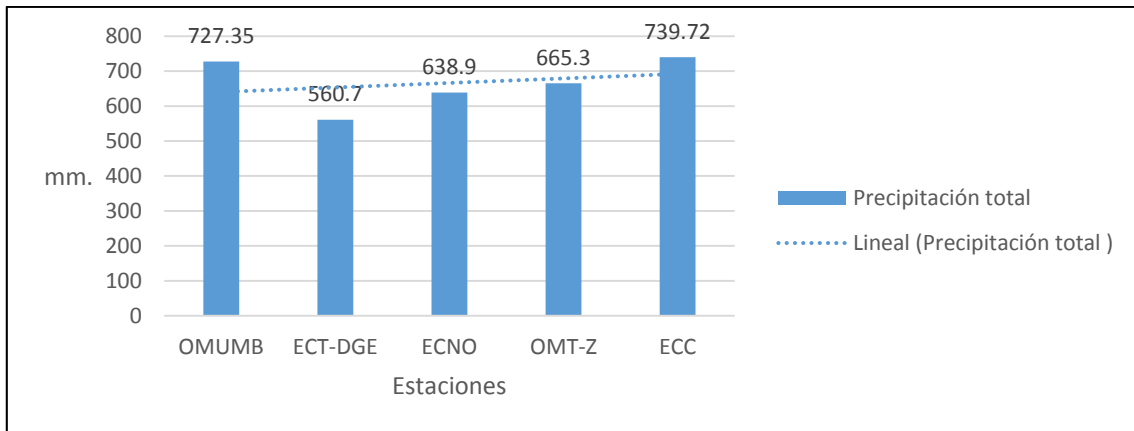
Figura 3.57 Comportamiento de la temperatura por cada estación meteorológica.
 Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

De acuerdo a la figura 3.58, el volumen de las precipitaciones es variable en cada estación meteorológica. Se localiza el dato registrado más alto en la ECC, con 739.72 mm, y el más bajo en la ECT-DGE, con 560.7 mm. Posiblemente el comportamiento de la intensidad de la precipitación, está influida por la disponibilidad de información en los historiales registrados, los aparatos y las características de medición, de las estaciones. Según los parámetros de precipitación que establecen García (1987) y CONABIO (2008), comparado con los valores en cada estación de la gráfica anterior, están por debajo del rango promedio establecido de los autores principalmente en la ECT-DGE, ECNO y el OMT-Z.

Figura 3.58 Comportamiento de la precipitación por cada estación meteorológica.
Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Capítulo 4

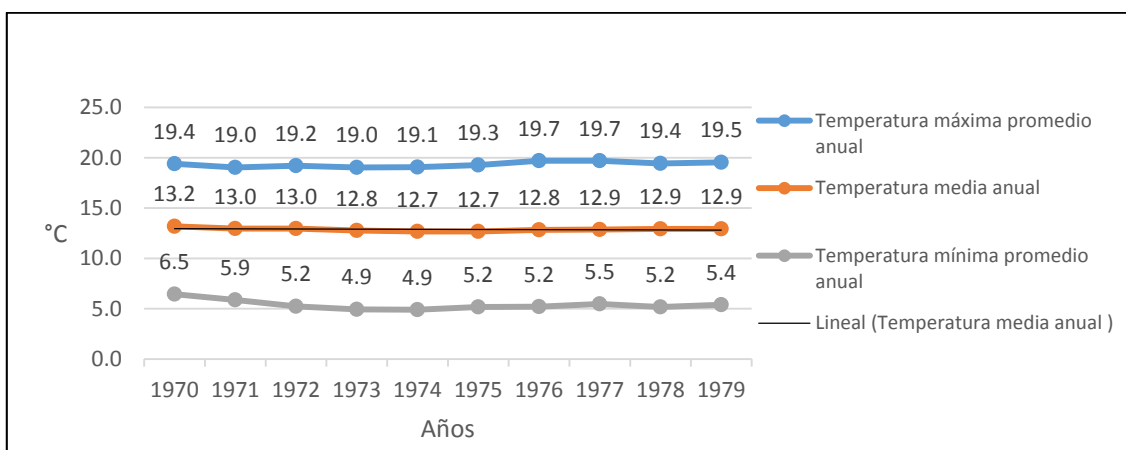
Triangulación de los datos de las 5 estaciones

Resultados

En el apartado de resultados, después de triangular la información de la temperatura y la precipitación de las 5 estaciones, se compara con los rangos establecidos por los autores García (1987) y CONABIO (2008), con la finalidad de identificar la magnitud de la variabilidad de los elementos climáticos en estudios y posteriormente descubrir su relación con los eventos de crecimiento urbano. Cuando se compare el promedio de los elementos climáticos establecido por los autores antes mencionados, se hará conforme al año de su publicación y los periodo de estudio más cercanos.

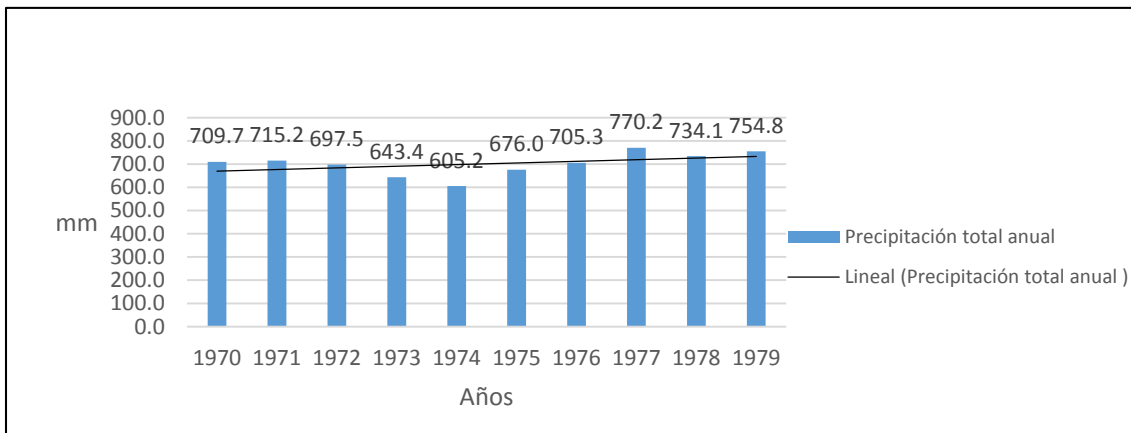
Para el periodo 1970 – 1979 la temperatura máxima promedio se estimó con 19.3°C. La línea de tendencia muestra que la temperatura media se ha mantenido constante. La temperatura mínima promedio ha disminuido al final de la década. De acuerdo a los valores de temperatura máxima, media y mínima que establece García (1987) para la zona de estudio, los parámetros climáticos fluctúan dentro del rango promedio en el periodo de los 70's. Posiblemente la cantidad de actividad terciaria y secundaria así como la disponibilidad de área verde por actividades agrícolas, que sucedían en el momento, esté ligado al comportamiento de la temperatura (Figura 3.59)

Figura 3.59 Comportamiento de la temperatura en la ciudad de Toluca (cT). Periodo: 1970-1979.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.60 Comportamiento de la precipitación en la cT. Periodo: 1970-1979.

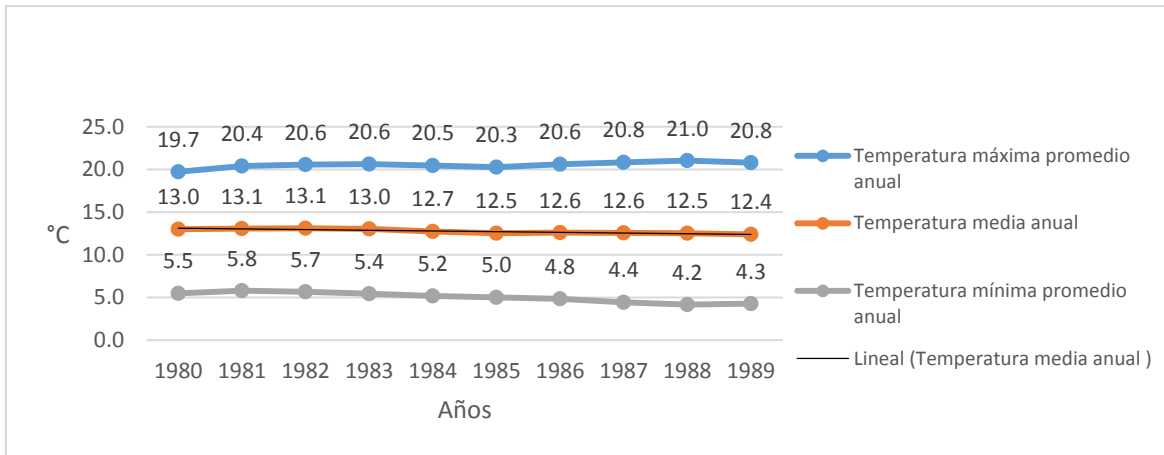


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Durante la década de los 70's la precipitación promedio fue de 701.1 mm. Según García (1987) la precipitación en el área es de 791 mm, y al compararlo con el promedio por década, esta última fue menor con 90 mm. La línea de tendencia muestra que la precipitación incrementó al final del periodo.

Para la década 1980-1989 la temperatura máxima promedio fue de 20.5°C, incrementó 1.2°C en comparación con el periodo anterior. García (1987) establece que la temperatura máxima del área de estudio oscila entre 6.5 y 22°C, comparado con los datos anuales de esta década el promedio permanece dentro del rango establecido, pero la temperatura ha ido incrementando a lo largo del tiempo, particularmente en el año 1988. Con respecto a la temperatura media y mínima, la tendencia muestra que disminuyó al final, incluso fue menor que el promedio por década, del periodo anterior. Cabe recordar que durante este periodo se generó la oleada más importante de migrantes, y las actividades del comercio y los servicios incrementaron al 53%. Se reconoce la influencia de estas actividades en el incremento de la temperatura por la demanda de infraestructura que retiene más calor, las calefacciones, la demanda de transporte para cubrir las necesidades de traslado de personal y mercancía, ya que los contaminantes que emite a la atmósfera tienen influencia en el efecto invernadero y por los aportes de calor, de los vehículos de combustión interna) (Figura 3.61).

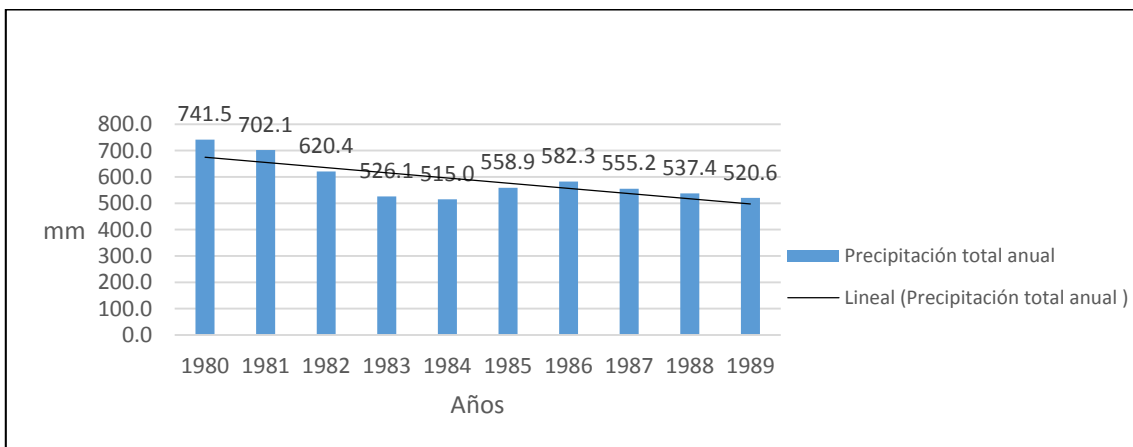
Figura 3.61 Comportamiento de la temperatura en la cT. Periodo: 1980-1989.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

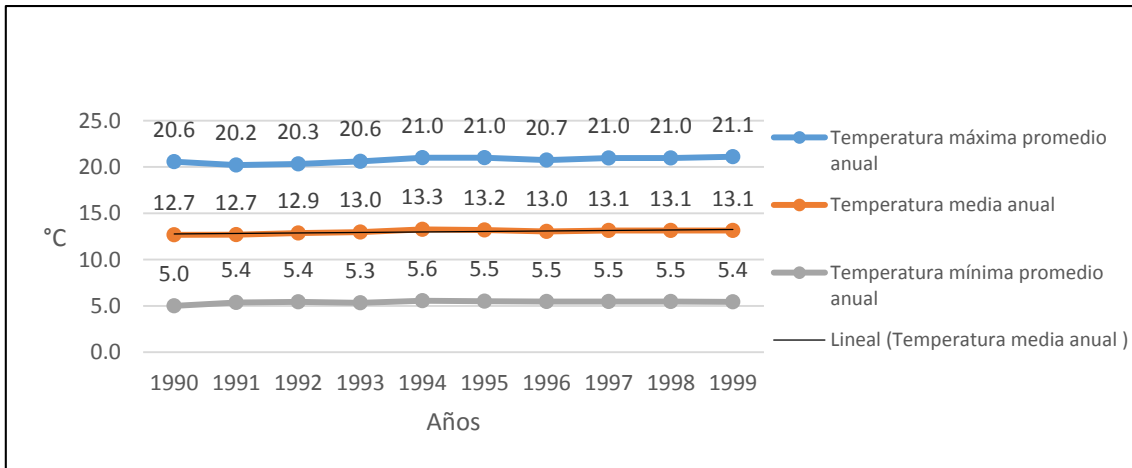
Para el periodo de los 80's la precipitación total fue de 585.9 mm, de acuerdo a los valores establecidos por García (1987) el volumen de precipitación es bajo, siendo que el promedio se estima en 791 mm. En la gráfica anterior se observa que las lluvias descendieron a lo largo de la década, comportamiento similar al que presentaron tanto la temperatura media como la temperatura mínima promedio anual (Figura 3.62).

Figura 3.62 Comportamiento de la precipitación en la cT. Periodo: 1980-1989.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.63 Comportamiento de la temperatura en la cT. Periodo:1990-1999.

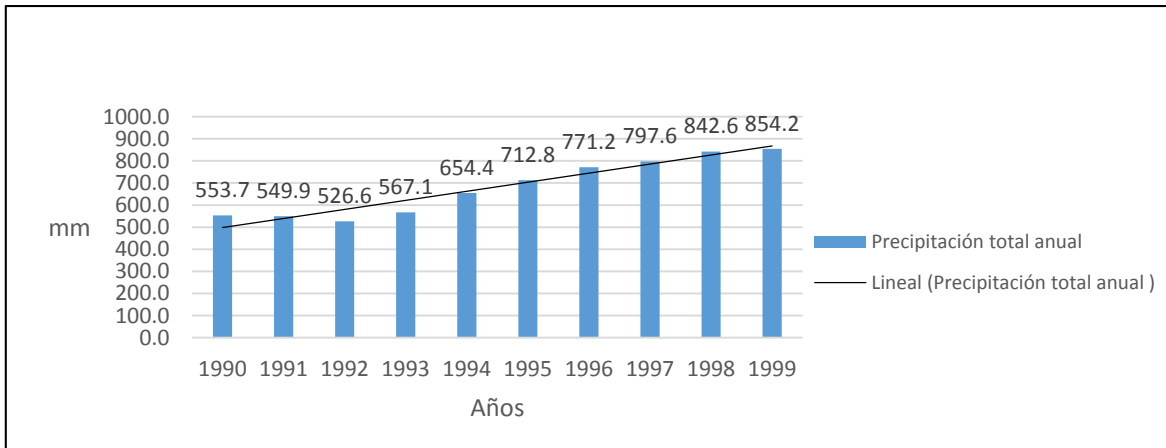


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

En la figura 3.63 se tabulan los resultados del periodo 1990 a 1999, en las cuales los datos de la temperatura media y la temperatura máxima promedio sucedida en el periodo, fueron 0.2°C más altos que los valores de la década anterior, además el incremento en la temperatura mínima promedio fue de 0.4°C , el doble con respecto a las demás variables mencionadas. Al comparar los valores antes mencionados con los rangos que establece García (1987) de la temperatura máxima, media y mínima para el área de estudio, se observó que están fluctuando de acuerdo a los parámetros promedio de la referida autora. Aunque los rangos promedio, según la autora referida, se deban a una fluctuación, la media por década es variable y a partir de 1980 se están incrementado en el área de estudio. El crecimiento constante del sector servicios y el giro hacia el fenómeno del transporte se relaciona con en el incremento de la temperatura, que sucedió durante la década.

La precipitación total para la década de 1990 a 1999 se promedio en 683 mm anuales, casi 100 mm más que el valor del periodo 1980 -1989, y comparandolo con el valor promedio de precipitación que establece García (1987), el promedio de la década de 1990 es bajo. En este periodo se ha identificado una disminución de la precipitación a 500 mm (+,-) proveniente del año 1983, y prolongandose hasta 1993, efecto que también desarrolló la temperatura media y mínima. Solo a partir del año 1994, el volumen de las lluvias incrementó constantemente (Figura 3.64).

Figura 3.64 Comportamiento de la precipitación en la cT. Periodo: 1990-1999.

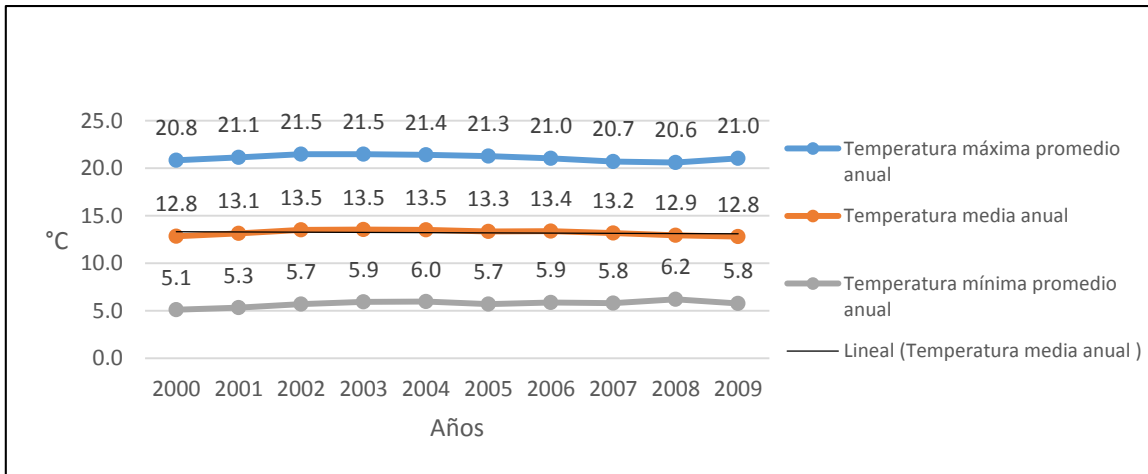


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Apartir de la década del 2000 la información tabulada en las gráficas, se compara con los promedios establecidos por CONABIO (2008).

En el periodo 2000 a 2009, la TMIPA registró el valor más alto en 2008, con 6.2°C, comparado con los rangos de temperatura mínima que establece la CONABIO (2008) que es de 0°C a 4°C para la zona de estudio, resulta que el valor registrado está 2.2°C por encima del promedio del autor. La temperatura media fue de 13.2°C y la temperatura máxima promedio de 21.1°C, valores más altos que los promedios de la década anterior, comparado con el rango que establece CONABIO (2008) la temperatura media es de 12° a 14°C y para la temperatura máxima es de 22° a 26°C, de acuerdo al autor los parámetros no están fuera del rango promedio. Posiblemente las industrias manufactureras, la reducción de áreas verdes y el sector terciario, son las responsables de los incrementos en la temperatura, del periodo y la ciudad (Figura 3.65).

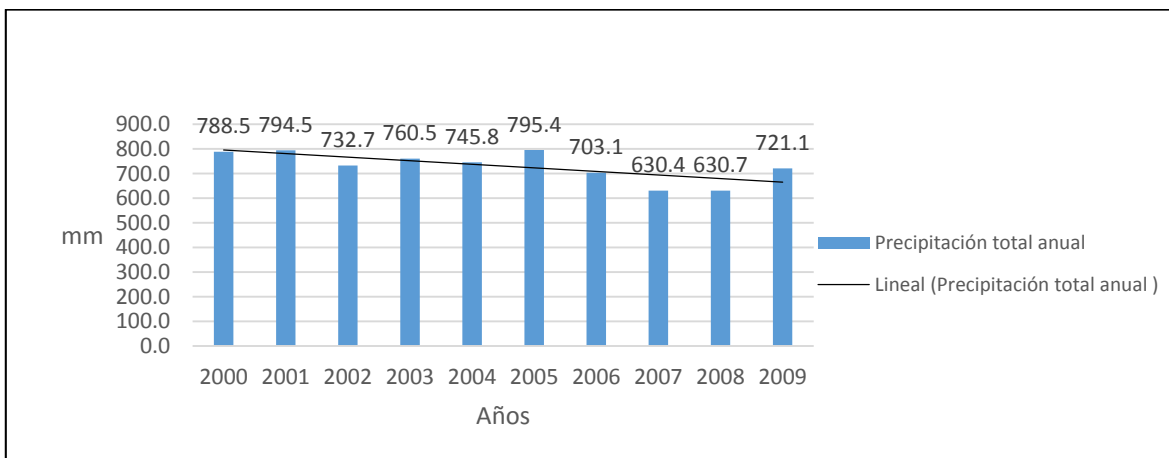
Figura 3.65 Comportamiento de la temperatura en la cT. Periodo: 2000-2009.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

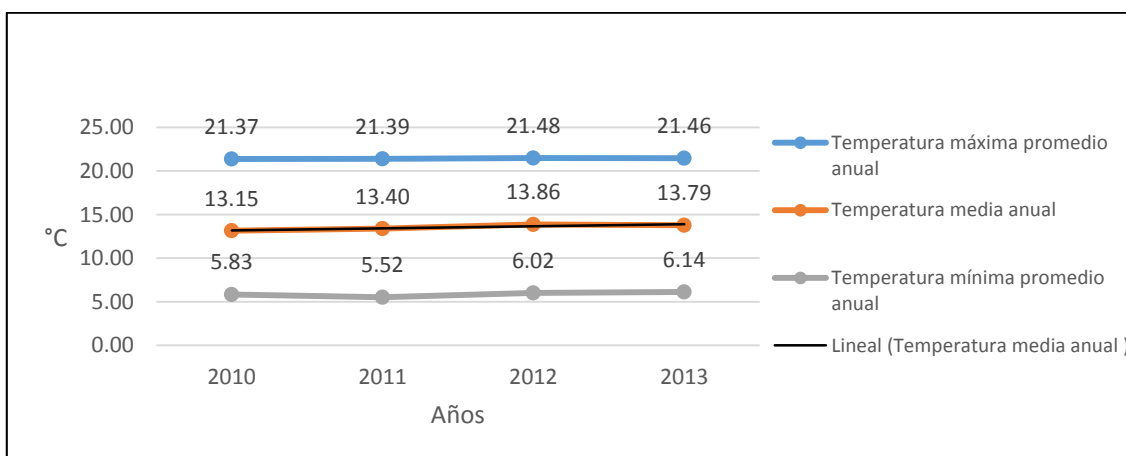
El valor mayor de la precipitación fue registrado en el año 2005 con 795.4 mm. De acuerdo a CONABIO (2008) el rango de precipitación en la zona es de 800 - 1000 mm, comparando los valores del referido autor con el promedio por década del 2000 que es de 730.3 mm, los valores de CONABIO son 70 mm más altos. Parece ser que la línea de tendencia muestra que las lluvias disminuyeron hacia el final del periodo del 2000 (Figura 3.66).

Figura 3.66 Comportamiento de la precipitación en la cT. Periodo: 2000-2009.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.67 Comportamiento de la temperatura en la cT. Periodo: 2010-2013.

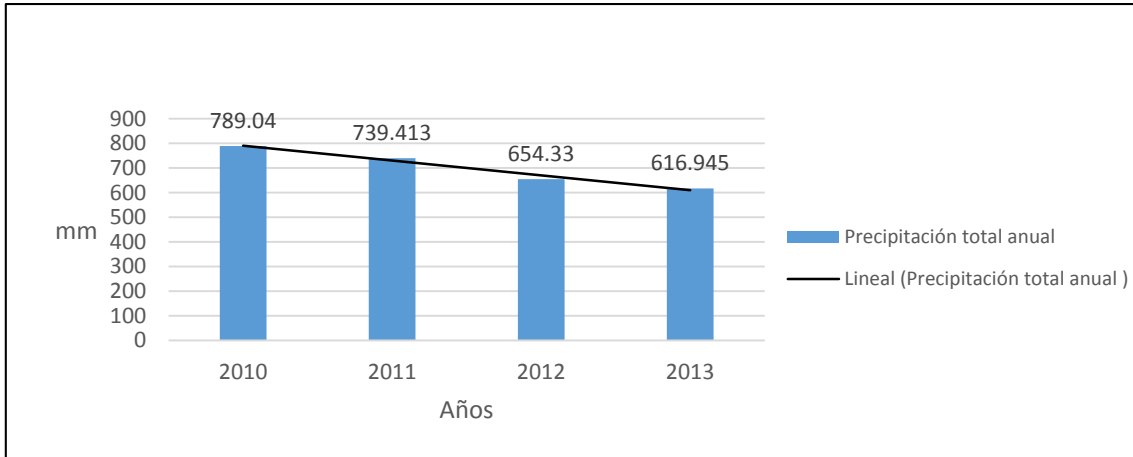


Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

De acuerdo al promedio establecido por CONABIO (2008) la temperatura mínima en el área de estudio debe ser entre 0° y 4°C, comparado con los datos de temperatura mínima promedio anual de la gráfica anterior, los parámetros han incrementado en todos los años. Para el periodo del 2010 la temperatura media fue con 13.5°C comparándolo con el promedio que establece el referido autor (CONABIO, 2008), la variable fluctúa en el promedio, con respecto a la temperatura máxima del valor promedio de 2010 esta es 5.54°C, más baja que el rango establecido por CONABIO de 22° - 26°C. Posiblemente la temperatura del periodo 2010 – 2013 incrementó a consecuencia de las actividades terciarias, la disminución de áreas verdes y las industrias manufactureras, de la ciudad (Figura 3.67).

De acuerdo a CONABIO (2008) la precipitación total anual de la ciudad de Toluca, se encuentra en el rango de 800 – 1000 mm y el valor más alto se registró en 2010 con 798 mm, comparando los valores del autor y el registrado, este último ha sido casi paralelo con el promedio del autor, pero al compararlo con el promedio del periodo 2010 que es de 699.9 mm, es bajo (Figura 3.68).

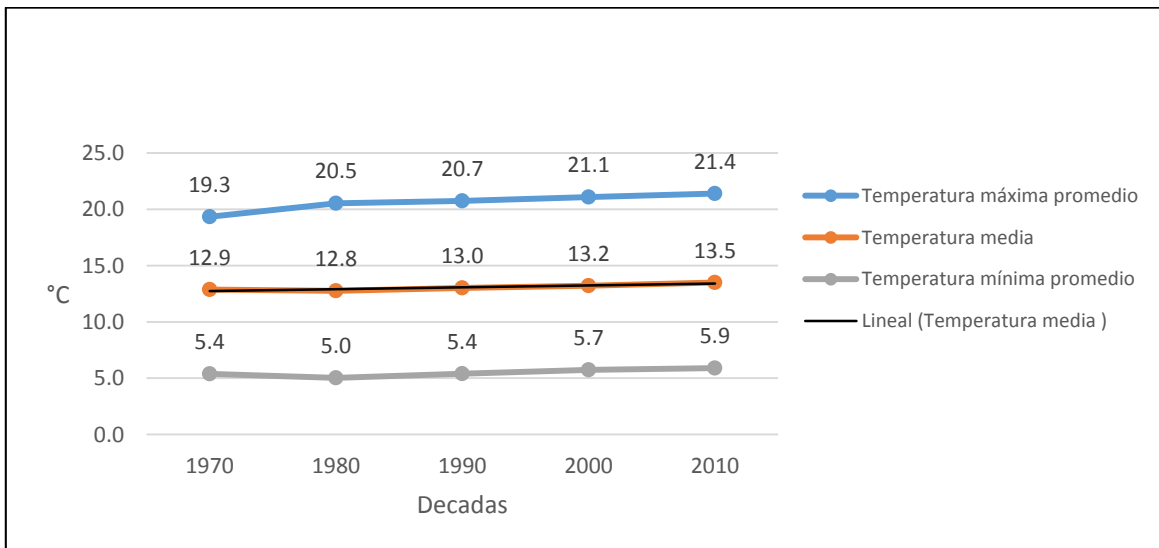
Figura 3.68 Comportamiento de la precipitación en la cT. Periodo: 2010-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

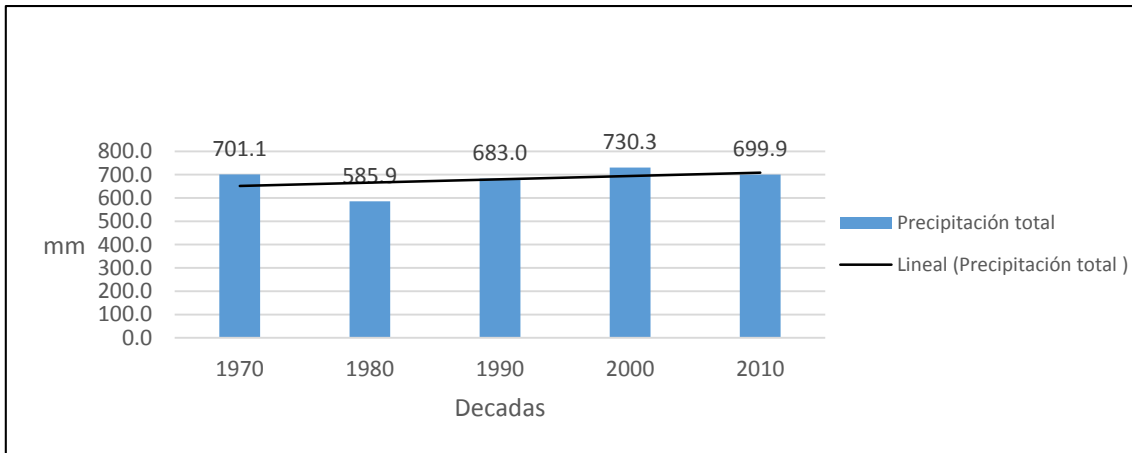
Los resultados de la figura 3.69, de Temperatura máxima, temperatura media y mínima promedio, a partir de la década de 1990 han incrementado en la ciudad de Toluca.

Figura 3.69 Comportamiento de la temperatura por década en la CT. Periodo: 1970-2013.



Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

Figura 3.70 Comportamiento de la precipitación por década en la cT. Periodo: 1970-2013.



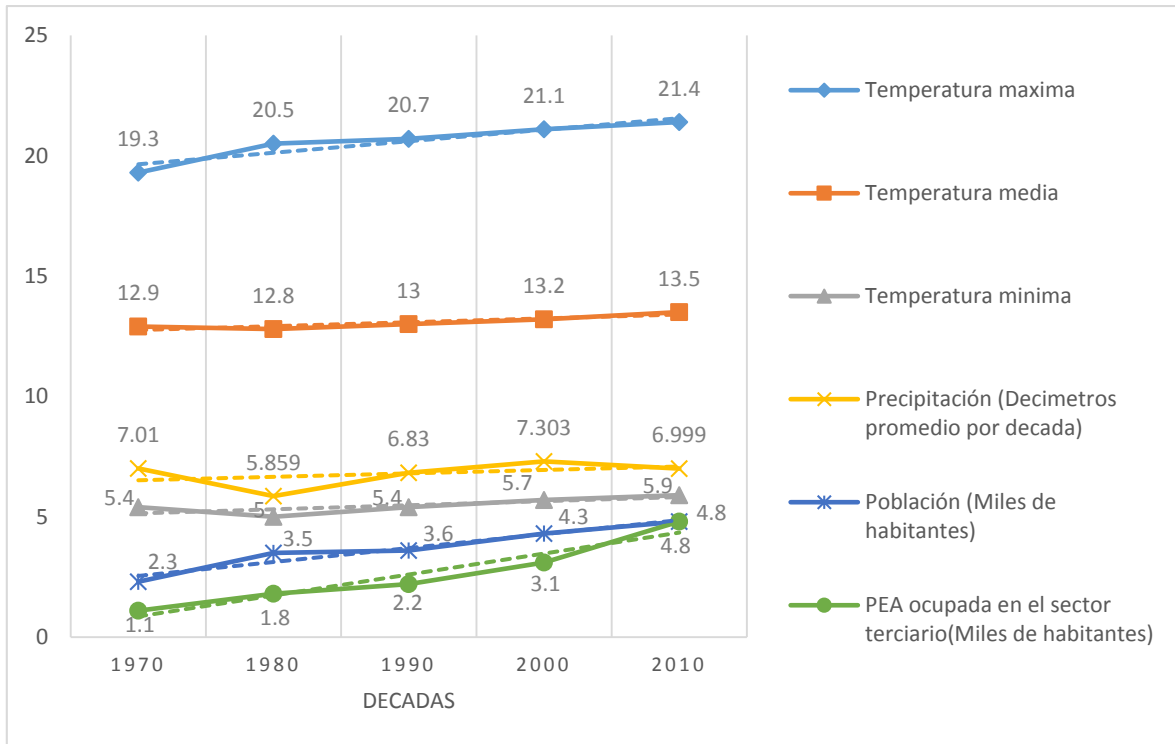
Fuente: Elaboración propia con base en CNA, 2010.

De acuerdo a la línea de tendencia incorporada a la precipitación en la figura 3.70, muestra que incrementó en el área y periodo de estudio.

Para ver el grado de dependencia que existe entre las variables estudiadas, en la figura 3.71 se tabulan los datos y, posteriormente se describen de acuerdo a lo argumentado por el autor citado en el concepto de coeficiente de correlación.

Según Devore (2012): El coeficiente de correlación lineal se expresa mediante la letra r . Si la covarianza **es positiva**, la **correlación es directa**. Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a **1** la correlación es **fuerte y directa**, y será tanto más fuerte cuanto más se aproxime r a 1. Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a **0**, la correlación es **débil**. Será débil si los valores oscilan de $-0.5 = r = 0.5$, moderado si $-0.8 = r = -0.5$ o $0.5 = r = 0.8$ y fuerte si $0.8 = r = 1$. Entonces r , mide el grado de relación lineal entre variables. Un valor de r cercano a 0 no es evidencia de la falta de una fuerte relación, solo la ausencia de una relación lineal.

Figura 3.71 Coeficiente de correlación



Fuente: Elaboración propia con base en CNA (2010), INEGI (1970, 1980, 1990, 2000, 2010).

De la figura 3.71 se calcula el grado de correlación que existe entre la variable población y temperatura máxima, donde $r = .513$, por lo que la correlación es directa y débil; PEA del sector terciario y temperatura máxima, donde $r = .452$ y la correlación es directa y débil; población y temperatura media, donde $r = .049$, la correlación es directa y débil; PEA del sector terciario y temperatura media, donde $r = .058$, la correlación es directa y débil; población y temperatura mínima, donde $r = .058$, la correlación es directa y débil; PEA del sector terciario y temperatura mínima, donde $r = .075$, la correlación es directa y débil; PEA del sector terciario y precipitación, donde $r = .086$, la relación es directa y débil, y población y precipitación, donde $r = .048$, la correlación es directa y débil.

La ciudad de Toluca durante el periodo 1970 - 2013 mantuvo; temperatura máxima promedio de 20.6°C, temperatura mínima promedio de 5.5°C, temperatura media de 13.1°C y precipitación total de 680 mm. Comparando los valores antes

mencionados de precipitación, con los valores establecido por García (1987) y CONABIO (2008) y para el caso de la temperatura mínima con CONABIO, estas, están sufriendo variaciones.

Discusión

La presente investigación analiza la magnitud de la variabilidad de la temperatura y la precipitación del periodo 1970 al 2013, que ocurren en la ciudad de Toluca, e interrelaciona los eventos de crecimiento urbano y las acciones antrópicas, de la misma.

Estudios realizados por Rosendo (2007), Juan, et al. (2010) y Torres (2013), sobre variaciones climáticas en el estado de México, y la presente investigación, que realiza estudios en la ciudad de Toluca, argumentan que las variaciones climáticas están presentes en el área. Pues las temperaturas han incrementado a partir de la década de 1990, por el crecimiento urbano y las acciones antrópicas, además como lo argumenta Hoyos & Camacho (2010) las actividades mal planificadas tienen impactos en el desarrollo urbano, la economía urbana y en el ambiente, que suceden en la ciudad.

En la ciudad de Toluca, el valor menor de TMAPA se registró en los años 1971 y 1973, con 19°C, y el mayor fue registrado en el año 2013, con 21.46°C, respectivamente, cabe mencionar que difieren con 2.46°C. La TMIPA mayor para el periodo de estudio fue con 6.5°C, que corresponde al año 1970; y la TMIPA menor fue 4.2°C para el año 1988, lo cual representa una diferencia de 2.3°C. En cuanto a la TMA mínima, ésta se registró en 1989, con 12.4°C, y la máxima se registró en el año 2012, con 13.86°C. La PTA mínima para el periodo 1970 – 2013 fue de 515 mm, que corresponde al año 1984; y la precipitación total anual mayor fue con 854.2 mm, registrado en el año 1999.

Al analizar los datos de la temperatura y de la precipitación registrada por las estaciones que circundan a la ciudad de Toluca, del periodo 1970 al 2013, el resultado fue que existen variaciones en el clima de la región. La temperatura mínima promedio que mantuvo el área de estudio, del periodo 1970 al 2013, fue de 5.5°C, y según los valores establecidos por CONABIO (2008) el rango de temperatura mínima fluctúa de 0°C a 4°C, por lo que la temperatura incrementó 1.5°C, pero de acuerdo al rango que establece García (1987) los valores climáticos incrementan dentro del promedio. El promedio de precipitación que mantuvo el área

de estudio fue de 680 mm, y al compararlo con los promedios que establecen los autores referidos de clima, está por debajo de los valores de los autores. Para la temperatura media y la máxima incrementan dentro del rango que establecen los autores de clima (Garcia y CONABIO).

Posiblemente los factores que están influyendo, en el comportamiento de la magnitud de la temperatura y la precipitación del clima de la ciudad; es el crecimiento urbano, las acciones antrópicas, el cambio de uso de suelo y la reducción de áreas verdes, que suceden al interior de la urbe.

El crecimiento urbano motiva el cambio de uso de suelo natural, por agrícola o urbano, en esta última se tienen una cantidad creciente de fuentes de calor, que desprenden las edificaciones, calefacciones, motores de combustión interna (núcleos de condensación y contaminantes atmosféricos), industrias manufactureras (descargas de vapor de agua a la atmósfera o contaminantes) y los componentes de mayor superficie asfalto o concreto. Los últimos componentes retienen calor y condicionan la dirección y filtración, del agua al subsuelo.

El comportamiento del clima de la ciudad de Toluca, se encuentra relacionado con los factores geográficos, los elementos climáticos, así como el crecimiento urbano y las acciones antrópicas que convergen en la misma. Situación que modifica las características de un clima regional e inhibe la situación de un ambiente natural.

A nivel regional es más difícil de identificar las causas por las variaciones climáticas pero sí las ciudades son la fuente principal, y con aporte en los valores medios mundiales, es ahí donde tienen que tomarse las acciones.

Según Raynal (2011) el 2010 se perfiló como uno de los más cálidos. La década de 2000-2009 fue la más cálida registrada desde 1880. Para la presente investigación, también fueron los más cálidos, del periodo 1970 - 2013.

En el análisis de las variables climáticas de la ciudad de Toluca, se encontró un crecimiento homogéneo entre la temperatura y la precipitación de las décadas 1980, 1990 y 2000, sin embargo en la temperatura máxima promedio de la década de

1970 y los tres valores de la temperatura de 2010 resultaron opuestos con los valores de precipitación, respectivamente.

La presente investigación está limitado por la disponibilidad de información en los registros capturados por las estaciones meteorológicas, a las cuales se les implementó el método promedio móvil centrado.

Se incorpora la línea de tendencia a los registros de temperatura y de precipitación, para observar el comportamiento de los elementos climáticos. Cabe mencionar que se tuvieron muchos problemas para obtener los registros meteorológicos como; Por cumplir con el periodo de investigación, por los huecos en la información y, para determinar los más aptos y cumplir con las expectativas del trabajo.

Conclusiones

Al analizar la magnitud de la variabilidad de la temperatura y la precipitación del periodo 1970 - 2013, de la ciudad de Toluca, el resultado es que el área de estudio está sufriendo variaciones, principalmente los incrementos en la temperatura mínima y las variaciones en la precipitación, por los factores geográficos, las acciones antropogénicas y el crecimiento urbano, en la ciudad.

Por lo que la hipótesis; La magnitud de la variabilidad de la temperatura y la precipitación en la ciudad de Toluca, Estado de México, se debe a la expansión urbana y las acciones antrópicas, de la misma, es aceptable.

La temperatura y la precipitación de la década de 1980 al 2000 muestran un incremento paralelo, y la temperatura máxima promedio de la década de 1970 junto con las tres temperaturas de 2010 con sus respectivos valores de precipitación, son opuestos.

El incremento promedio entre década que corresponde al periodo 1970 – 2013 es de 0.52°C para la temperatura máxima, con 0.5°C para la temperatura mínima, y con 0.12°C para la temperatura media, así como la precipitación fue con -0.3 mm por década. Posiblemente la información de los registros, la falta de una extensa cobertura vegetal que elimina gran parte de la evapotranspiración e incrementa el calor urbano, está influyendo en el comportamiento de la precipitación. Además con los contaminantes suspendidos en la atmósfera urbana, los cuales son empujados por las partículas de agua hasta la superficie terrestre, se observa que las lluvias son más intensas en la ciudad.

En la ciudad de Toluca se desarrollan las islas de lluvia, posiblemente por causas Orográficas y de convección, ya que la isla de calor proporciona energía adicional, para el desarrollo de nubes convectivas.

Posiblemente en la actualidad todavía se vive en un caos para definir el rango de las variables climáticas en la ciudad de Toluca.

Citas bibliográficas

Libros;

1. Aranda, J. M. (2000). *Conformación de la zona metropolitana de Toluca, 1960-1990*. (1ra. ed.) México: U.A.E.M. Centro de investigaciones en Ciencias sociales y humanidades, 2000.
2. Austin, A. (1982). *Climatología* (5ta ed.). Printed in Spain: Omega.
3. Ayllón, T. (2003). *Elementos de meteorología y climatología* (2da ed.). Trillas. (pp. 44-183).
4. Correa, A. (2004). *Contaminantes atmosféricos en la zona metropolitana de la ciudad de México* (1ra ed.). Tresguerras 27: México. (pp. 11-26).
5. Devore, J. (2012). *Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias*. (8a. ed.). México, D.F.: Cengage Learning, 2012.
6. Thompson, D. P. & Brian R. (1970). *Fenómenos Atmosféricos* (2da ed.). Time-Life Internacional.
7. Griffiths, J. F. (1985). *Climatología Aplicada* (1ra ed.). Estados Unidos: Publicaciones culturales.
8. Flohn, H. (1968). *Clima y tiempo*. Madrid: Guadarrama.
9. Fuentes, J. L. (2000). *Iniciación a la Meteorología y la Climatología* (1ra. ed.). España: Mundi. (pp. 25-30).
10. Galofre, S. y Escobar, S. (2003). *El arte de escribir correctamente: ortografía y puntuación. Principios de redacción*. (vigésima ed.). Miembro de la cámara nacional de la industria editorial. Reg. núm. 757. Impreso en México.
11. García, E. (1986). *Apuntes de climatología* (según el programa vigente en las carreras de biólogos). Ediciones: México.
12. García, E. (1987). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (4ta ed.). México. (pp. 134).
13. Barry R. G., & Chorley R. J. (1999). *ATMÓSFERA, TIEMPO Y CLIMA* (Séptima reimpresión). Edición omega: Barcelona.
14. Guevara, J. M. (1988). *Meteorología* (1ra edición.). Universidad central de Venezuela. (pp. 16-21).

15. Keller, A. E. & Blodgett, H. R. (2007). *Riesgos naturales (procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes)*. "Clima y cambio climático". Traductor: Pilar Gil Ruiz. Universidad de Navarra. Pearson: España. Educación. (pp. 286-305).
16. Donn, W. L. (1978). *Meteorología* (1ra. ed.). Rebertc. (pp. 511-535).
17. Mendehall, W. (2009). *Introducción a la Probabilidad y Estadística* (13ra ed.). Traductor; Romo. Ediciones Universidad la Salle Morelia. (pp. 19).
18. Miguel, A. (2005). *Redacción* (Vigésima quinta reimpresión). Miembro de la cámara nacional de la industria: Registro núm. 43. Editorial: Continental.
19. Lorente, J. M. (1961). *Meteorología* (4ta ed.). Editorial: Labor.
20. Morales, C. C. (1990). *Meteorología* (Selección de lecturas, cuaderno de apoyo 2) (7ma reimpresión.)
21. Moral, L. E., Rodríguez, O. M., & Mejía, P. (2008). *Actividad económica regional en el Estado de México*. Gobierno del Estado de México (1ra ed.). Consejo Editorial de la Administración pública estatal (pp. 80-90).
22. Peña, O. (1977). *Clima urbano medio ambiente y planificación del espacio* (1ra ed.). Coria. (pp. 1-15).
23. Van, J. P. (2000). *Teoría General de Sistemas* (Séptima Reimpresión). Editoriales Trillas (pp. 17-18).

Tesis;

24. Crescencio, J. B. (1990). *Análisis de algunas variables meteorológicas y su área de influencia, en ciudad universitaria, D.F., durante el período 1963 a 1983*. Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). D.F.
25. Rubí, M. E. (1991). *Cambios en Temperatura y Precipitación de la Ciudad de México debido a la organización durante el periodo (1961- 1980)*. Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). D.F.
26. García, F. (1992). *Influencia del crecimiento Urbano sobre los patrones de precipitación y temperatura en el Distrito Federal*. Licenciado en Geografía.

Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). D.F.

27. Castillo, O. (1992). *El proceso de metropolización de la ciudad de Toluca*. Maestro en Planeación Urbana y Regional. Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca. México.
28. Martínez, J. (1997). *Áreas verdes de la ciudad de Toluca*. Licenciado en Geografía. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca. México.
29. Rosendo, J. (1997). *Diferencias climáticas entre el centro de la ciudad de Toluca y áreas adyacentes*. Licenciado en geografía. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca. México.
30. Hernández, J. C. (2002). *Contaminación atmosférica de la CD. de Toluca*. Licenciado en Geografía. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca. México.
31. Torres, I. (2013). *Variaciones climáticas en la zona metropolitana del valle de Toluca, estado de México en el periodo de 1961 a 2008*. Lic. en Geografía. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca. México.

Fuentes electrónicas;

32. SÁNCHEZ, A. & GARCÍA, F. (2011). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, Estado de México*. Consultado el 20 de octubre de 2011, de http://www.elocal.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_mexico
33. Caetano, E. & Iniestra, R. (2008). *Identificación de cuencas atmosféricas en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado el 24 de febrero de 2015, de http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/pres_proname_ago2008_e_c_aetano.pdf

34. Girola, R. (2015). *El clima terrestre y los factores astronómicos*. Planetario de la ciudad de Buenos Aires. Consultado el 25 de enero de 2015, de http://www.planetario.gov.ar/astro_art_clima_terrestre.html
35. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Censo General de Población 1970 DGE. IX Censo General de Población 1970. Tabulados básicos*. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1970/default.aspx>
36. Instituto Nacional de Estadística Geográfica (INEGI). *DGE. X Censo General de Población y Vivienda 1980. Tabulados básicos*. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/default.aspx?c=16762&s=est>
37. Instituto Nacional de Estadística Geográfica (INEGI). *Censo General de Población y Vivienda 1990*. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de http://www.inegi.org.mx/lib/Olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=11894
38. Instituto Nacional de Estadística Geográfica (INEGI). *Conteo de Población y Vivienda 1995*. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de http://www.inegi.org.mx/lib/Olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=cpv95_pt
39. Instituto Nacional de Estadística Geográfica (INEGI). *Principales resultados por localidad XII Censo General de Población y vivienda 2000*. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de http://www.inegi.org.mx/lib/Olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=cpv00_pt
40. Instituto Nacional de Estadística Geográfica (INEGI). *Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados del cuestionario ampliado*. Población ocupada y su distribución porcentual según sector de actividad económica. Consultado el 21 de septiembre de 2010, de http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=cpv10_pt.

Publicaciones oficiales de gobierno:

41. Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO). *Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008*. Toluca: México. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
42. Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Nevado de Toluca. RTP-109. Consultado el 20 de abril de 2015, http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_109.pdf
43. Gobierno del Estado de México (GEM). *Plan Regional de Desarrollo Urbano del Valle de Toluca, 2005*. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de http://seduv.edomexico.gob.mx/dgau/planes_regionales/prduvt/Doc%20PRDUVT.pdf
44. INSTITUTO DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN GEOGRÁFICA ESTADÍSTICA Y CATASTRAL DEL ESTADO DE MÉXICO. *Área metropolitana de la ciudad de Toluca (Expansión territorial)*. Toluca: México: consultado el 10 de junio de 2015. En campo. Página de internet <http://iiigecem.edomex.gob.mx>
45. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos (Clave geoestadística 15106.)*. 2009. Toluca: México. Consultado el 21 de septiembre de 2011, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15106.pdf>
46. Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). *El municipio: una institución diseñada para el fracaso*. Propuestas para la gestión profesional de las ciudades. A.C. Índice de Competitividad Urbana. 2012.
47. Sistema Urbano Nacional (SUN, 2012). *Catálogo. Sistema Urbano Nacional 2012*. Secretaria de desarrollo social. Consejo nacional de población. Impreso en México

Informes:

48. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2008. Ginebra.
49. Flores, R. M. & Ortiz, H. B. (2009). *Captura y disposición del CO₂*. Gerencia de Ciencias Ambientales. Departamento de estudios del ambiente; Informe técnico. Instituto nacional de investigaciones nucleares (ININ).
50. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Cambio Climático 2001*. Informe de Síntesis. Tercer Informe de Evaluación. Anexo B, Glosario de términos, 27 págs.
51. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
52. Organización Meteorológica Mundial (OMM). *Guía de Prácticas hidrológicas. 1994*. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones (5ta ed.).
53. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). *La situación del ambiente mundial*. GEO. Gaceta Ecológica. Núm. 54. 2000. pp. 12-23. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.

Revistas científicas de internet;

54. Benjamín, J. A. & Masera, O. (2001). *Captura de carbono ante el cambio climático*. Madera y Bosques, primavera, año/vol.7, Núm. 001. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. Pp. 3-12.
55. Buendía, E. J. (2012). *Sobre las variaciones climáticas en México*. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, núm. 11, enero-diciembre, pp. 117-127. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

56. Calvo, E. (2008). *CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD HUMANA: UN MENSAJE REITERADO DESDE 1995*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, Vol. 25, Núm. 4, 2008, pp. 410-412. Instituto Nacional de Salud (Perú). Perú
57. Correa, E.N., Flores L. S. & Lesino G. (2003). *Isla de calor urbana: Efecto de los pavimentos. Informe de avance*. Avances en energías renovables y medio ambiente, Vol. 7, N° 2, pp.11.25-11.30. Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.
58. Ferrán, B. (2005). *Contaminación atmosférica, cambio climático y salud*. Revista española de salud pública, marzo-abril, año/vol. 79. Número 002. Ministerio de sanidad y consumo de España. Madrid, España. Pp.159-175.
59. Fernández, F. (2010). *Ciudad y cambio climático: Aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid*. Investigaciones geográficas (Esp), núm. 49., 2009, pp. 173-180. Universidad de Alicante. Alicante, España.
60. Franco, C. J.; Baena, A. I. (2010). *Dinámica de la penetración de tecnologías alternativas para vehículos automotores y su impacto en las concentraciones de carbono atmosférico*. Revista Avances en Sistemas e Informática, vol. 7, núm. 3. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. pp. 135-141.
61. García, R. / Tobías, A. / Sanz, J. / Navarro, C. y García, A. (2008). *Efecto del calor sobre el Número de Urgencias Hospitalarias en la Región de Murcia Durante los Veranos del Período 2000-2005 y su uso en la Vigilancia Epidemiológica*. Revista española de salud pública, marzo – abril, año/vol. 82, numero 002. Ministerio de sanidad y consumo. Madrid, España. Pp. 153 - 166.
62. García, M. E. / Ramírez, H. U. / Meulenert, A. R. / García, F. O. / Alcalá, J. / Arellano, C. J. / Espinosa, M. L. y Torre V. O. (2006). *Influencia de los contaminantes SO₂ y NO₂ en la formación de lluvia acida en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México*. e-Gnosis, año/Vol. 4. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.

63. Hernández, J. C., Madrigal, D. y Morales, C. (2004). *Comportamiento del Monóxido de Carbono y el Clima en la Ciudad de Toluca, de 1995 a 2001*. Ciencia Ergo Sum, noviembre, año/Vol.11. Núm. 003. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca, México. pp. 263–274.
64. Hoyos, G & Camacho, M. D. (2010) *VIALIDAD PASEO TOLLOCAN EN LA CIUDAD DE TOLUCA*. Quivera. vol. 12, núm. 2, 2010, pp. 221-246. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México
65. Jáuregui, E. (1971). *Meso microclima de la ciudad de México*. Boletín, (1ra ed.). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). pp. 5-16.
66. Jáuregui, E. (1974). *Las Investigaciones sobre clima urbano y contaminación del Aire en la república federal de Alemania*. Boletín No. 4 del Instituto de Geografía. UNAM. pp. 71-87.
67. Jáuregui, E. (1995). *Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la ciudad de México debidas a la Urbanización*. Departamento de meteorología general. Centro de Ciencias de la atmósfera. UNAM. Investigaciones geográficas Boletín, Núm. 31. pp. 9–44.
68. Jáuregui, E. (2004) *Impact of land-use changes on the climate of the Mexico City Región*. Investigaciones Geográficas, Boletín Núm. 55, del Instituto de Geografía. UNAM. pp. 46-60.
69. Jáuregui, E. (2009). *The heat spells of Mexico City*. Investigaciones Geográficas, Boletín Núm. 70, del Instituto de Geografía. UNAM ISSN 0188-4611, pp. 71-76.
70. Jáuregui, E. (n. d.). *Las precipitaciones extremas en la ciudad de México*. Centro de ciencias de la atmósfera. Universidad Nacional Autónoma del Estado de México (UNAM). pp. 5-16.
71. Juan, J. I.*, Antonio, X *, Monroy, J. F.*, Gutiérrez, J. G.*, Balderas, M. A.*, Loik, M. E. **, Hernández, M. M. *** y Camacho, J. M. * (2010). *Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007*. CIENCIA ergo sum, Vol. 17-2, julio-octubre. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Pp. 143-153.

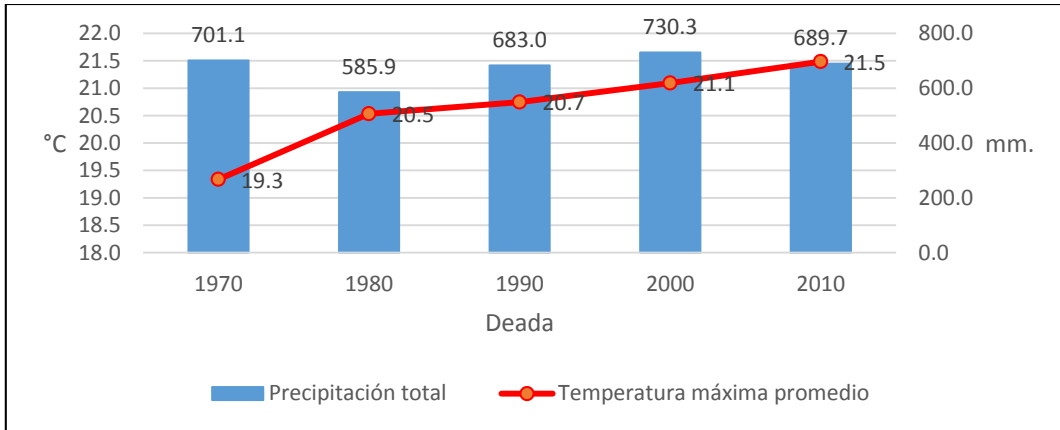
72. Méndez, J.; Návar, J. J. y González, V. (2007). *Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 65, 2008, pp. 38-55
73. Merlotto, A.; Piccolo, M. C. (2010). *Tendencia climática de Necochea - Quequén (1956-2006), Argentina*. Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 50, 2009, pp. 143 – 167, Alicante, España: Universidad de Alicante.
74. Montoya, M. R.; Morales, A.; Olaya, J. (2005). Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO₂ y SO₂ en Santiago de Cali. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, vol. II, núm. 1, 2005, pp. 23-27. Universidad del Valle Cali, Colombia.
75. Morales, C. C., Madrigal, D. y González, L. A. (2007). *Islas de calor en Toluca, México*. Ciencia ergo sum. Vol. 14-3, noviembre 2007 – febrero 2008, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México, pp. 307- 316.
76. Piña, J. E.; Proenza, J.; Quevedo, R.; Rojas, M. (2005). *Evolución de los procesos de Sequía y Aridez en los últimos años para los municipios de R. Freyre y Banes*. Ciencias Holguín, vol. XI, núm. 3, julio-septiembre, pp. 1-9. Instituto de Información Científica y Tecnológica Holguín, Cuba.
77. Quereda, J.; Monton, E. & Escrig, J. (2008). *Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas*. Investigaciones Geográficas (Esp), Núm. 43, sin mes, pp. 5-17. Universidad de Alicante. España
78. Ramos, S; Bautista, R; Valdez, A. (2010). *Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México*. Universidad y Ciencia, vol. 26, núm. 1, abril, pp. 65-80. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa, México
79. Reyes, I. y Gutiérrez, J. J. (2010). *Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca*. Quivera, vol. 12, núm. 1, enero-junio, 2010, pp. 96-102, Universidad autónoma del estado de México, México.

80. Raynal, J.A. (2011). *Cambio climático global: una realidad inequívoca*. Ingeniería. Investigación y Tecnología, vol. XII, núm. 4, 2011, pp. 421-427. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
81. Romero, H.; Salgado, M. & Smith, P. (2010). *CAMBIOS CLIMÁTICOS Y CLIMAS URBANOS: Relaciones entre zonas termales y condiciones Socioeconómicas de la población de Santiago de Chile*”. Revista INVI, vol. 25, núm. 70, noviembre, 2010, pp. 151-179 Universidad de Chile. Santiago, Chile.
82. Serra, J. A. (2008). *Estudio de la isla de calor de la ciudad de Ibiza*. Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 44, 2007, pp. 55-73. Universidad de Alicante, España.
83. Staines, F. (2007). *Cambio Climático: Interpretando el Pasado para Entender el Presente*. Ciencia Ergo Sum, noviembre – febrero, año/vol. 14, numero 003. Universidad autónoma del estado de México. Toluca, México. pp. 345-351.
84. Vide, J. M. (2010). *Conceptos previos y Conceptos nuevos en el estudio del cambio climático reciente*. Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 49. Universidad de Alicante. pp. 51-63.

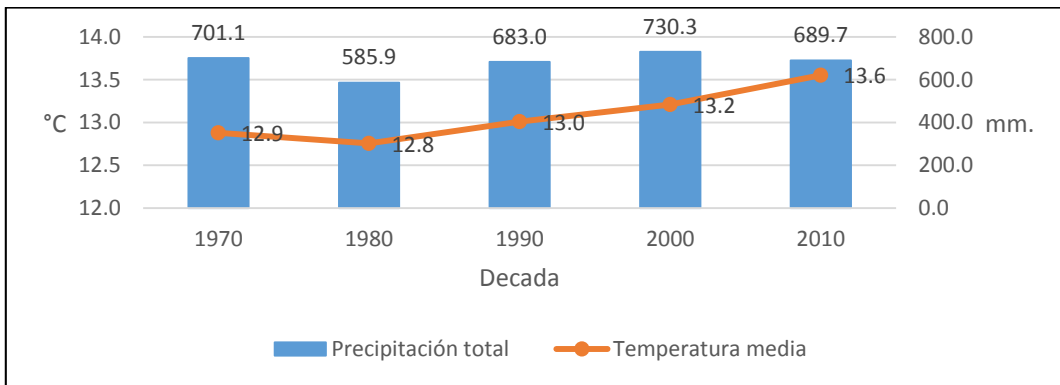
Anexos

Anexo I. Para interpretar la relación de los parámetros climáticos (temperatura y precipitación) se han creado climogramas, por décadas;

En la siguiente gráfica se observan los datos de precipitación total y temperatura máxima promedio del periodo; 1970 – 2013.



En el siguiente gráfico se exponen los datos de precipitación total y temperatura media. Periodo; 1970 - 2013.



En la siguiente figura se tabulan los datos del comportamiento de precipitación total y temperatura mínima promedio. Periodo; 1970 – 2013.

