

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA



"LAS VARIACIONES CLIMATICAS EN LA REGION CENTRAL DE MEXICO"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A :
SUSANA ORTEGA DEL VALLE

ASESOR: DR. HUGO DELGADO GRANADOS

MEXICO, D. F., MARZO DE 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CON TODO MI CARIÑO

A MIS PADRES

Y A MELINA, JUAN, CARLOS, MIGUEL,  
DAVID, LUCÍA Y ABUELITA POR SU TERNURA Y EJEMPLO

A

MARCO ANTONIO y EMILIANO

*POR SER LOS COLORES DE MI AMOR*

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Hugo por su paciencia, su apoyo y su asesoría en la elaboración del trabajo.

Al sínodo por su tiempo y valiosos comentarios que enriquecieron pródigamente la

tesis: Mtra. Oralia Oropeza, Mtra. Rosalía Vidal, Lic. Francisco Hernández,

Dr. Ernesto Jáuregui y al aspirante a Mtro. Marco A. Huerta, además, por la

elaboración de cartografía.

Al Instituto de Geofísica, por el apoyo de la beca de DGAPA IN-107494 dentro del

proyecto Volcanismo y tectónica activos en el sur de la Cuenca de México, a las

Facultades de Filosofía y Letras y Ciencias, de la UNAM, por el tiempo y el

espacio que me otorgaron.

## **ÍNDICE**

Presentación.	.1
<b>Capítulo 1. Introducción.</b>	
1.1 Antecedentes	.3
1.2 Planteamiento del problema.	.4
1.3 Justificación	.5
1.4 Hipótesis	.5
1.5 Objetivos.	.6
1.6 Métodos de trabajo	.7
<b>Capítulo 2. Base teórica de las variaciones climáticas.</b>	
2.1 Marco Teórico.	.13
2.2 Marco conceptual.	.17
2.3 Marco de referencia.	.20
<b>Capítulo 3. Caracterización ambiental de la zona.</b>	
3.1 Delimitación regional.	.23
3.2 Localización de las estaciones meteorológicas.	.23
3.3 Aspectos físicos.	.24
Topografía.	
Uso del suelo y vegetación.	
Climas.	
3.4 Aspectos socioeconómicos.	.34
<b>Capítulo 4. Las Variaciones climáticas en la Región Central de México.</b>	
4.1 Variaciones climáticas de la región.	.37
Patrones de precipitación y temperatura por estación.	
Estaciones del área circundante al Popocatepetl.	
Estaciones del área circundante al Iztaccihuatl.	
Estaciones del área circundante al Pico de Orizaba.	
Discusión de la información y tendencias.	
4.2 Comparación entre las variaciones climáticas regionales y globales	.71
4.3 Los glaciares de la región central y el cambio climático global	.73
Conclusiones.	.85
Bibliografía	.87
Índice de cuadros y figuras.	.92

## PRESENTACIÓN

El estudio de las variaciones climáticas en la Región Central de México y su posible impacto en los glaciares de la zona, es el tema en que se basa la presente tesis, para desarrollar este trabajo se examinan las series climatológicas de largo periodo (temperatura y precipitación, anuales), en la región próxima a los volcanes Popocatepetl, Iztaccihuatl y Pico de Orizaba (o Citlaltepetl).

El objetivo de este trabajo radica en analizar las variaciones climáticas de la Región Central de México, para dicho propósito se ha dividido en 4 capítulos que incluyen los siguientes contenidos.

El primer capítulo hace una introducción al presente estudio, mediante la exposición de los antecedentes, planteamiento de los objetivos de la investigación y el método de trabajo que se siguió en la elaboración de la misma.

El segundo capítulo se ocupa principalmente de los fundamentos teóricos necesarios para desarrollar la tesis. En primer término se revisan las teorías que explican el cambio climático, las cuales son agrupadas según su origen en naturales y antropogénicas. Posteriormente se establece el marco conceptual de este trabajo y finalmente se hace una mención de las principales líneas de investigación relacionadas como resultado de la labor de compilación, particularmente de los estudios sobre variaciones climáticas (espaciales y temporales) de la zona de estudio

El tercer capítulo se ocupa principalmente del conocimiento de los factores naturales que caracterizan el espacio geográfico representado en la zona de estudio. Para reconocer las condiciones naturales existentes en la Región Central de México (RCM) se hace una explicación de la topografía, el clima, el uso del suelo y la vegetación, así como de algunos aspectos socioeconómicos. Se muestra además la ubicación de las estaciones meteorológicas con información sobre la región de estudio.

En el cuarto capítulo se deducen las variaciones del clima, abordando concretamente la identificación de los patrones climáticos, precipitación y temperatura en la Región Central de México. Posteriormente, el establecer parámetros de comparación entre éstas y los glaciares de la zona, permite inferir algunos aspectos relacionados con la influencia del cambio climático global.

Finalmente, a manera de conclusión, se presentan algunas consideraciones que permiten además evaluar el trabajo desarrollado.

## **Capítulo 1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

Las variaciones climáticas y el cambio climático han existido a lo largo de la historia del planeta, como resultado de procesos exógenos y endógenos, y de la interacción constante entre los componentes del sistema terrestre (Ortega Ramírez, 1995).

Con la intensificación de la actividad industrial, la explotación de recursos naturales y el lanzamiento a la atmósfera de diversos gases y partículas contaminantes, ha habido alteraciones en la composición química y física de la atmósfera. En la actualidad, los cambios climáticos ocurren en periodos de tiempo menores

La acción antrópica tiene varios efectos en el clima. El crecimiento de las manchas urbanas a consecuencia del incremento de la población, así como de la industrialización, sumadas con la incidencia de factores históricos, políticos, económicos y sociales que el crecimiento mencionado implica, se han conjuntado en el centro del país, causando la disminución de áreas de vegetación naturales, lo cual ha provocado variaciones tanto en la temperatura como en la precipitación.



Los glaciares y sus variaciones son excelentes indicadores del clima por lo cual es muy importante su estudio. Para esto, se necesita un análisis previo de las condiciones climáticas de la zona así como de sus variaciones para después comparar tales variaciones con las fluctuaciones glaciales. El presente proyecto forma parte de una investigación glaciológica y complementa esa parte de la investigación.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Entre los factores que pueden provocar variaciones en el clima de la región central de México se encuentran, la altitud, la cercanía a grandes centros poblacionales y la cercanía a los volcanes activos más importantes del país. Otro aspecto relacionado íntimamente con las variaciones climáticas de nuestro país es el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual afecta los regímenes de lluvia de verano e invierno.

Los efectos de las variaciones climáticas, pueden ocasionar cambios de masa en los glaciares que se encuentran en la zona centro de México. Los cambios climáticos pueden tener repercusiones serias a nivel local y regional, y los primeros en responder a los cambios, son los glaciares.

Las variaciones climáticas, además de ser indicadores del deterioro ambiental de la zona y tener una repercusión en el ámbito regional, pueden estar relacionadas con el cambio climático a escala mundial.

### **1.3 Justificación.**

Estudiar la existencia de las variaciones climáticas, a través del estudio de las tendencias de la temperatura y precipitación, para varios periodos dentro de la región central de México, es importante porque permite estimar el posible impacto de las mismas y encontrar medidas de mitigación y prevención de sus efectos, conocer la existencia de modificaciones en el medio natural, así como las implicaciones tanto a nivel local como en el regional y mundial que éstas tengan. Para mitigar los efectos de los cambios climáticos es esencial reconocer los patrones de variación y tendencias, con el fin de evaluar los impactos y planear soluciones.

### **1.4 Hipótesis**

Mediante el estudio de elementos del clima como la temperatura y precipitación, así como su evolución en el tiempo, se pueden identificar variaciones en el clima de la región de estudio, así como su relación con el cambio climático en el ámbito global. Esta información usada en conjunto con la información glaciológica habrá de permitir reconocer los efectos del cambio climático en los glaciares de la zona.

## 1.5 Objetivos.

El objetivo general de la presente investigación es reconocer las variaciones climáticas de carácter local y regional en el tiempo, así como el impacto que estas variaciones han tenido en los glaciares de la Región Central de México (RCM).

Con base en el objetivo antes mencionado, el estudio contempla los siguientes objetivos particulares:

Compilar los estudios sobre variaciones climáticas, espaciales y temporales de la zona de estudio.

Reconocer las condiciones naturales de la Región Central de México (RCM), identificando a su vez los patrones climáticos de precipitación y temperatura en la misma, examinando las series climatológicas de largo periodo<sup>1</sup>

Establecer parámetros de comparación entre datos de estaciones climatológicas de la Región Central de México, para posteriormente establecer su relación con las variaciones climáticas y los glaciares de la región, y de ser posible su relación a nivel global.

---

<sup>1</sup> De temperatura y precipitación anual

## 1.6 Método de trabajo.

El desarrollo de la investigación implicó la realización de las siguientes actividades:

Se compiló información de parámetros climáticos en el Servicio Meteorológico Nacional y en el ERIC (extractor rápido de información climatológica, Comisión Nacional del Agua), de varias estaciones meteorológicas ubicadas en la RCM, para conocer las variaciones y compararlas con otras fuentes de información.

Se seleccionaron las estaciones meteorológicas con mayor cantidad de datos y con mayor calidad, ubicadas en las cercanías de los volcanes mexicanos cubiertos por glaciares.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas fueron: Amecameca, Río Frio, San Rafael Tlalmanalco y Nepantla, Estado de México. Tacubaya, Distrito Federal. Huejotzingo, Atlixco, Tlalchichuca y Ciudad Serdán, Puebla. Coscomatepec y Orizaba, Veracruz.

Se realizó la búsqueda y recopilación de información bibliográfica referente a la zona de estudio que pudiera vincularse al problema de investigación.

Para la obtención de información cartográfica básica y temática referente a climas, localización, topografía, ubicación de estaciones meteorológicas y uso del

suelo, se consultaron el Atlas Nacional del Medio Físico, el Atlas Nacional de México, las cartas de climas de CETENAL y las cartas del índice de cobertura vegetal.

Se elaboró el marco teórico en que se apoya la investigación. Para determinar las variaciones térmicas y pluviométricas se aplicaron métodos estadísticos.

Con los datos se elaboraron gráficas de precipitación y temperatura por estación, a nivel de región y para toda la RCM en su conjunto, en las gráficas a su vez se obtuvo la regresión lineal para conocer las tendencias, posteriormente se analizaron las gráficas.

Se hizo una comparación de los resultados a nivel regional, con otros estudios de variaciones climáticas a nivel mundial, y se analizó la respuesta de los glaciares de la región a las variaciones del clima.

Una vez analizada la información, los resultados se confrontaron con el marco teórico y se hicieron los ajustes necesarios.

Se elaboró por último el reporte final del estudio.

Durante la elaboración de este estudio, se presentaron varias dificultades para la formación de bases de datos. Los principales problemas se pueden resumir como sigue:

Existen lagunas de datos en todos los parámetros que se utilizaron. Los datos no abarcan el mismo periodo en todas las estaciones.

A principios de la década de los 90 se hace una renovación en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)<sup>2</sup>, a causa de lo cual se da la desaparición de algunas estaciones meteorológicas, además de que en otras se cambia de la medición tradicional manual de los instrumentos meteorológicos, hacia la implantación de instrumentos automatizados (Durán, 1997),<sup>3</sup> lo cual hace que varíe el resultado de las mediciones para una misma estación en dicho periodo de tiempo e induce erróneamente hacia variaciones falsas en los parámetros utilizados en el trabajo<sup>4</sup>. Debido a lo anterior se utilizan datos de las estaciones tradicionales en la mayoría de las estaciones.

---

<sup>2</sup> La gerencia del SMN pertenece a la Subdirección General de Administración del Agua, que desde el 28 de diciembre de 1994 depende de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca

<sup>3</sup> Antes de 1992 había 5000 estaciones funcionando de forma tradicional, actualmente existe una red de 77 observatorios automáticos de superficie que conforman la red del SMN.

<sup>4</sup> En septiembre de 1992 se instala en el observatorio central de Tacubaya la primera estación meteorológica automática en el ámbito nacional, dando inicio a la etapa de modernización dentro de la red de observaciones de superficie del área de redes y telecomunicaciones del SMN, donde el proyecto de instalación abarcó a todos los observatorios del territorio. Así se instalaron 600 estaciones climatológicas automáticas con el propósito de abarcar la mayor proporción de superficie mexicana en cuanto a la información del tiempo

Finalmente, los trabajos de variaciones climáticas hechos en México, no están ubicados dentro de las mismas coordenadas que el presente trabajo, por otro lado debido a que el tratamiento estadístico de los datos, y los distintos tipos de parámetros utilizados es diferente según el interés de cada autor, es difícil hacer una comparación objetiva entre los resultados obtenidos al nivel de la RCM con los otros estudios de variaciones climáticas a escala mundial.

## Capítulo 2 BASE TEÓRICA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS.

Un cambio climático indica la sustitución de un clima por otro, y según Tarifa (1994), se admite su existencia cuando se registran variaciones en uno de los principales componentes del clima como son temperatura y precipitación. Hay muchas causas que pueden dar origen a un cambio climático, naturales y no naturales, además de que se han dado este tipo de cambios en toda la historia del planeta y de que han tenido distinta duración. Aunque en la actualidad el cambio climático se ha visto de tal modo influenciado por la actividad humana (sobre todo desde que comenzó la época industrial), que los periodos en que ocurre son menores a los ocurridos en épocas anteriores.

El que exista la sustitución de climas ha tenido grandes efectos sobre la vida y los ecosistemas del planeta, forzándolos muchas veces a desaparecer y otras a cambiar de manera radical.

En México el clima puede ser influenciado, entre muchas causas, por los gases de efecto invernadero que dan origen al calentamiento global de la atmósfera y se traduce en el aumento de temperaturas así como la disminución o alteraciones importantes en la precipitación.

Otro aporte importante a la variación del clima lo da la actividad volcánica que se ha dado en la región de estudio, en especial, la emisión de cenizas a la



atmósfera puede tener un efecto de disminución de la temperatura, la cual podría contrarrestar el efecto del aumento de la misma, debido a los gases de invernadero (con la reciente actividad de algunos volcanes dentro de la zona, como el Popocatepetl, se podría hacer más evidente esta influencia).

El fenómeno del ENOS repercute en el régimen de lluvias, la presión atmosférica, el cambio en la dirección y velocidad de los vientos, etc. además de producir variaciones climáticas a escala planetaria (aunque principalmente en las zonas con influencia de los océanos Pacífico e Indico). A su vez, el fenómeno se ve afectado por el calentamiento climático global tanto en su intensidad como en su periodicidad.

Aunado a lo anterior, las actividades humanas que se desarrollan en la RCM, lugar donde se concentran algunas de las ciudades e industrias más importantes del país, han tenido un papel elemental en lo referente a las variaciones climáticas; con el aporte de gases de efecto invernadero y el calentamiento de la atmósfera así como la deforestación y los cambios en el uso del suelo, las variaciones en temperatura y precipitación son ya significativas, lo cual representa un aporte de la región para el cambio climático global.

Una forma en la que se manifiestan los efectos de estos fenómenos que causan las variaciones climáticas en la RCM, es el cambio en el tamaño de los glaciares que quedan en la zona.

## 2.1 Marco Teórico

Para precisar las posiciones teóricas que se tienen en el presente trabajo se hizo una selección de las teorías que explican los cambios climáticos según su origen en naturales y antropogénicos.

Dentro de las teorías que hablan de causas naturales del cambio climático se encuentran las que mencionan causas externas y las que mencionan causas internas.

Causas externas del cambio climático.

1) La teoría astronómica de las variaciones climáticas, también denominada Teoría de Milankovitch según la cual existen varias formas mediante las cuales la configuración de *la órbita terrestre* puede afectar la radiación recibida y de este modo también afectar, posiblemente el clima. A saber: i) los cambios en la excentricidad, ii) cambios en la oblicuidad y iii) precesión orbital. Las variaciones de la órbita y la inclinación del eje causan cambios en las estaciones y su distribución meridional (Lombardo, 1994).

2) La actividad solar. Históricamente se ha relacionado el ciclo de las manchas solares y las variaciones en el clima sobre todo en lo concerniente a aumentos de temperatura

## Causas internas del cambio climático.

1) Erupciones volcánicas. Los gases y partículas volcánicas son transportados hasta la estratosfera alterando la composición química de la atmósfera (Lombardo,1994).

2) Lento desplazamiento de los continentes. Los movimientos de las placas tectónicas pueden interferir en los cambios climáticos porque aunque la distribución Tierra-Océano varía poco, puede influenciar a las corrientes oceánicas que transportan calor de los trópicos hacia latitudes más elevadas (Lombardo,1994).

3) Las corrientes marinas. Uno de los fenómenos más importantes de estudiar es el conocido como "El Niño", que consiste en la aparición ocasional de corrientes oceánicas cálidas en el Océano Pacífico coincidiendo con el verano del hemisferio sur; produciendo cambios climáticos a escala planetaria, principalmente en costas de los océanos Pacífico e Indico. La llamada Oscilación del sur (variación en las condiciones de presión entre los océanos Indico y Pacífico) es también parte de este fenómeno climático que involucra interacciones entre la atmósfera y el océano.

El mecanismo de activación de El Niño en principio, difiere del cambio climático global (cuyo proceso de activación es atribuible al incremento de gases

de efecto invernadero), por lo que el cambio climático global tiene o tendrá efectos sobre la intensidad y periodicidad de El Niño.

4) Las inversiones en el campo magnético de la Tierra.

5) Sustancias en la atmósfera, como polvo, sal marina, humo de incendios, compuestos gaseosos.

Entre las teorías del cambio climático de origen antropogénico:

1) Desertificación. Es la disminución o destrucción del potencial biológico de la Tierra, que puede desembocar en definitiva en condiciones de tipo desértico. Constituye un aspecto del deterioro generalizado de los ecosistemas y ha reducido o liquidado la producción vegetal y animal con fines múltiples. La desertificación es originada e incrementada principalmente por actividades humanas. Tras la palabra desertificación se esconde todo un conjunto de procesos (físicos, biológicos, históricos, políticos, sociales, culturales y económicos) interrelacionados que se manifiestan a diferentes niveles de resolución tanto espaciales como temporales(Velasco, 1991).

2) Deforestación. Al desaparecer la cobertura vegetal cambia el régimen de lluvia y temperatura de una zona.

3) La urbanización. El crecimiento de la mancha urbana y la desaparición de áreas verdes implica el cambio de las condiciones ambientales de un lugar.

4) Liberación de calor desperdiciado, emitido por automóviles, fábricas y otros elementos de las ciudades, la alteración de los ciclos hidrológico y energético, que se encuentran en relación con la urbanización.

5) Calentamiento global e industrialización.

La teoría sobre calentamiento global se relaciona con la intensificación del efecto invernadero, ya que los gases asociados a este perturban el balance de energía del sistema atmosférico de la Tierra.

El aumento en los gases de efecto invernadero se comienza a dar de forma elevada con el advenimiento de la Revolución Industrial. Por una parte, con la utilización de combustibles fósiles se incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub> (principal gas de efecto invernadero). Por otro lado, con el cambio en los usos del suelo, así como muchas otras actividades humanas, las concentraciones de los demás gases relacionados<sup>5</sup> como metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), y el ozono (O<sub>3</sub>), han aumentado significativamente, lo cual incrementa la temperatura atmosférica en el ámbito global y ocasiona otros fenómenos como el retroceso de glaciares y hielos, la elevación del nivel del mar, sequías, incendios, la variación en los regímenes de precipitación, inundaciones, además de los daños sociales y económicos

---

<sup>5</sup> El vapor de agua (H<sub>2</sub>O), es también un gas de invernadero, aunque su concentración no ha aumentado

El aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, según Argeñal (1997), desde 1750 hasta 1992 se estiman en cantidades que están cerca del 30% para el CO<sub>2</sub>, 14.5% para el CH<sub>4</sub>, y 15% para el NO<sub>2</sub>.

Un elemento que está siendo usado para la detección del cambio climático causado por el calentamiento global, es el cambio en la masa y temperatura de los glaciares, al observar las fluctuaciones de un glaciar se obtiene información importante sobre muchos aspectos que pueden ser vinculados con los cambios en las condiciones atmosféricas y el clima de un lugar.

## **2.2 Marco Conceptual**

*Variación climática.* Es la fluctuación con respecto a la media, de alguno de los componentes principales del clima (temperatura y precipitación), en un periodo corto de tiempo. Cabe señalar que una variación climática puede ser indicadora de un cambio climático. La variabilidad climática se refleja claramente en los cambios de temperatura y masa de los glaciares.

*Cambio climático.* Es un cambio de largo plazo (en escala de siglos), de un conjunto existente de condiciones climáticas, hacia otro conjunto diferente. El cambio puede ser irregular o regular. Frecuentemente se hace una distinción entre

las variaciones transitorias de corto periodo y los cambios a largo plazo en el tiempo (CONACYT, 1976).

*Desglaciación.* Término usado para indicar el desgaste lento de las capas de hielo y la desaparición del mismo observable en función de la desaparición de superficies cubiertas de hielo con anterioridad. Se utiliza específicamente para describir un evento que tuvo lugar en un periodo pasado del tiempo geológico (Whittow 1988).

*Anomalía.* Es una desviación por arriba o por debajo del valor normal (CONACYT 1976).

*Clima.* Es un estado promedio de las condiciones atmosféricas (incluyendo su variabilidad en el tiempo y espacio) ( CONACYT,1976).

*Efecto invernadero.* Es el calentamiento de las capas inferiores de la atmósfera, producido como consecuencia de las diferentes propiedades de absorción de radiación que tiene ésta para las longitudes de onda larga y corta. Este calentamiento propicia condiciones ambientales parecidas a las de un invernadero.

El calentamiento de la Tierra puede estar asociado a la intensificación del efecto invernadero ya que los gases asociados a éste como vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y ozono, perturban el balance de energía del sistema Tierra-atmósfera (se da un forzamiento radiativo del clima)

*El Niño.* Es una aparición ocasional de corrientes oceánicas cálidas en el Océano Pacífico, lo cual coincide con el verano del hemisferio sur, produciendo cambios climáticos a escala planetaria. Durante la ocurrencia de El Niño, la temperatura de la superficie del mar aumenta en uno o cuatro grados por encima del promedio; además de producirse este calentamiento, se altera la presión atmosférica, produciéndose cambios en la dirección y velocidad del viento. El fenómeno se presenta cada 2 a 7 años aproximadamente, y su duración es variable (Chacón, 1993). Cabe aquí aclarar que no todos los fenómenos “El Niño” producen las mismas condiciones climáticas.

Además del fenómeno de El Niño se habla de su contraparte, La Niña, que corresponde a anomalías negativas en la temperatura superficial del Pacífico tropical centro-este (Magaña et al; 1997).

*Oscilación del Sur.* Es una variación de la presión barométrica a intervalos interanuales, que está relacionada con anomalías de tiempo a una escala global, sobre todo en trópicos y subtrópicos. A la Oscilación del sur se le considera como la fluctuación de masas de intercambio en el IndoPacífico. El estado del sistema de presión de la Oscilación del sur es caracterizado por el Índice de la Oscilación del Sur (SOI, por sus siglas en inglés) definido como la anomalía de diferencia de presión en Tapeete, Tahiti y Darwin, Australia (Chacón, 1993).

Los fenómenos de El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) se manifiestan de forma conjunta en el tiempo y el espacio.



*Retroceso glacial.* Fase marcada por la reducción del espesor o reducción espacial de un glaciar o capa de hielo. Viene definida por la disminución de masa de hielo y probablemente un retroceso del frente del hielo, aunque el glaciar en sí mismo puede continuar su movimiento. En esta etapa se producen grandes cantidades de agua de fusión, así como grandes cantidades de derrubios glaciales y sedimentos que son transportados y redepositados posteriormente. Este estado se alcanza cuando la velocidad de ablación supera a la de acumulación, lo que produce un balance de masa negativo (Whittow, 1988).

*Región central.* Para el presente trabajo, la Región Central de México (RCM) es considerada entre los 18°45' y 19°45' Latitud Norte, y los 96°45' y 99°15' Longitud Oeste. Su importancia para este trabajo es que en ella se encuentran los únicos glaciares del país. (Figura 1).

### **2.3 Marco de referencia**

La mayoría de las teorías sobre el calentamiento global, sus efectos, relaciones y predicciones, se basan en estudios hechos en Europa y Estados Unidos

Para la latitud a la que está México se han hecho algunos trabajos. De los estudios consultados, algunos se refieren a aspectos de calentamiento global y océanos, variación y tendencias climáticas, consecuencias y aportes de cierta región para el cambio climático, historia de los climas en México en el siglo XIX, bioclimatología, paleoclimatología, modelos de predicción climática (Barberan, 1992; Arenas, 1992; De la Lanza, 1992; Contreras, 1998; Ortega et al, 1997; Sánchez, 1992; Espinosa, 1998; Tejeda, 1998; Morales, 1998; Ortega Ramírez, 1995).

Sin embargo, en relación al tema y la zona de estudio en su conjunto, no se encontraron trabajos. Solo de algunas áreas dentro de esta zona como las ciudades de Puebla, Tlaxcala, México; y un estudio para la zona central de México de tendencias de precipitación (Jáuregui, 1995; Galindo, 1992; Morales, 1998; Monsiño, 1988; Ortega et al, 1997; García y Vidal, 1981).

En lo referente al tema de los glaciares, Lorenzo (1964) menciona en su libro "Los glaciares de México", a varios autores como White quien publica un trabajo sobre glaciología de los glaciares de México; Aguilera y Ordóñez que son los primeros en mencionar la existencia de una capa de nieve o hielo "que al parecer es permanente y se localiza en las cumbres del Popocatepetl", y Waitz y Blázquez, quienes hablan del glaciar del Pico de Orizaba en sus trabajos, también

en su libro Lorenzo dice que del Iztaccihuatl existen referencias a los glaciares desde 1781<sup>6</sup>.

Lorenzo (1964) realiza el primer inventario de los glaciares de México, donde establece sus características particulares, posición y extensión. Asimismo se aboca al estudio de las condiciones periglaciales de las altas montañas de México, mencionando que el total de las áreas cubiertas por hielo es de cerca de 11.5 km<sup>2</sup>, distribuidos en el Pico de Orizaba 950 000 m<sup>2</sup>, Popocatépetl 720 000 m<sup>2</sup> e Iztaccihuatl 1 210 000 m<sup>2</sup>.

Delgado y Brugman (1995) y Delgado (1997) , realizan varios trabajos sobre los glaciares del Popocatépetl y Pico de Orizaba, hacen notar en forma clara la disminución del área que ocupan en la actualidad, (la que difiere con los datos reportados por Lorenzo). Atribuyen la reducción de masa glaciar, entre otras causas, a la variación de las condiciones climáticas actuales con respecto a las que se tenían en el pasado.

---

<sup>6</sup> Todos los autores citados por Lorenzo(1964).

### Capítulo 3 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA.

#### 3.1 Delimitación Regional.

La Región Central de México (RCM) se encuentra entre los 18°45' y 19°45' de Latitud Norte, y 96°45' y 99°15' de Longitud Oeste. Incluye el Valle de México, Valle de Puebla-Tlaxcala, una porción de los Llanos de San Juan y Valle de San Andrés Chalchicomula, así como una parte de la Sierra de Zongolica.

Forma parte en su conjunto, de la región centro-oriente de la Faja Volcánica Trans-Mexicana. (Figura 1).

#### 3.2 Localización de las estaciones meteorológicas.

Las estaciones meteorológicas se encuentran ubicadas en los estados de México, Puebla, Veracruz y Distrito Federal, localizadas en las siguientes coordenadas:

ESTACION	COORDENADAS		ALTITUD
1 Tacubaya, D.F.	19°24'	99°11'	2303 msnm <sup>7</sup>
2 Amecameca, México	19°08'	98°46'	2479 msnm
3 Rio Frio, México	19°21'	98°40'	3000 msnm
4 Nepantla, México	18°59'	98°50'	1969 msnm

---

<sup>7</sup>msnm = metros sobre el nivel del mar

5	San Rafael Tlalmanalco, México	19°18′	98°48′	2500 msnm
6	Tlalchichuca, Puebla	19°18′	97°25′	2590 msnm
7	Huejotzingo, Puebla	19°09′	98°24′	2291 msnm
8	Atlixco, Puebla	18°55′	98°27′	1840 msnm
9	Ciudad Serdán, Puebla	18°59′	97°26′	2278 msnm
10	Orizaba, Veracruz	18°51′	97°06′	1248 msnm
11	Coscomatepec, Veracruz	19°04′	97°02′	1588 msnm

Las estaciones 2, 3, 4, 5, 7 y 8, se localizan en la vecindad de los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl; las estaciones 6, 9, 10 y 11, se ubican próximas al volcán Pico de Orizaba. La estación Tacubaya se incluye por estar dentro de la zona de estudio, se encuentra en la parte más occidental, y es la estación que cuenta con mayor numero de años registrados en datos.

### 3.3 Aspectos físicos

#### Topografía

La RCM se encuentra situada completamente dentro de la Faja Volcánica Trans- Mexicana, que es una banda de mas de 900 km de largo por una anchura que oscila entre los 70 y 100 km, extendiéndose desde Colima y Tepic en el oeste hasta San Martín Tuxtla en el este. Queda entre los paralelos 18° y 19° de latitud norte<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Lorenzo Los glaciares de México UNAM, 1964 Pag 10

En la mayor parte de la RCM se encuentran altitudes que varían entre 1000 y 2000 msnm. y solo al sur de Atlixco el terreno comienza a descender hacia la cuenca del río Balsas.

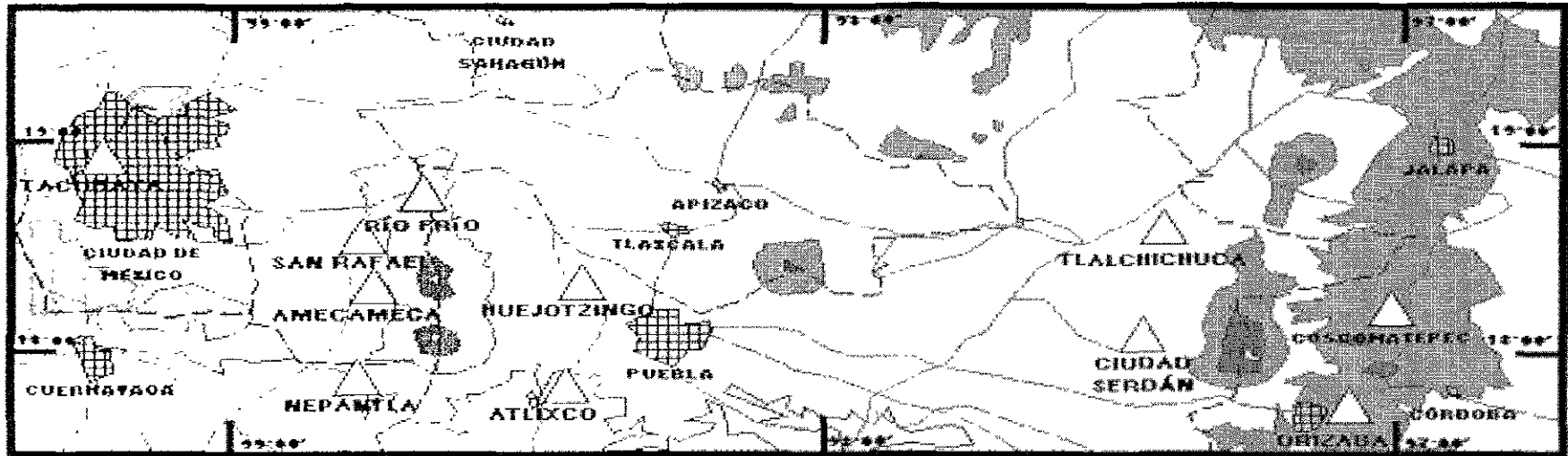
La Sierra Nevada tiene elevaciones que sobrepasan los 5000 msnm, (el Popocatepetl es el segundo volcán más alto de México con 5452 msnm, el Iztaccíhuatl tiene una altura de 5286 msnm).

Por el norte hay ligeras prominencias hacia la zona de los llanos de Apan. El volcán La Malinche queda en la parte central y su cima llega a 4461 msnm.

Al oriente de la RCM, donde esta la sierra de Zongolica se tienen altitudes entre 2000 y 3000 msnm, sólo en donde se ubican los volcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote se encuentran altitudes superiores a 3000 m. El Pico de Orizaba o Citlaltepétl alcanza la mayor altitud dentro de la región con 5675 msnm. (Figura 1).

Entre todos los volcanes que se localizan en la Faja Volcánica Trans-Mexicana, únicamente el Pico de Orizaba o Citlaltepétl, Popocatepetl e Iztaccíhuatl conservan áreas cubiertas por glaciares.

FIGURA 1. TOPOGRAFÍA Y LOCALIZACIÓN DE LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO



**HIPSOMETRÍA**



**ELEMENTOS DEL TERRITORIO**

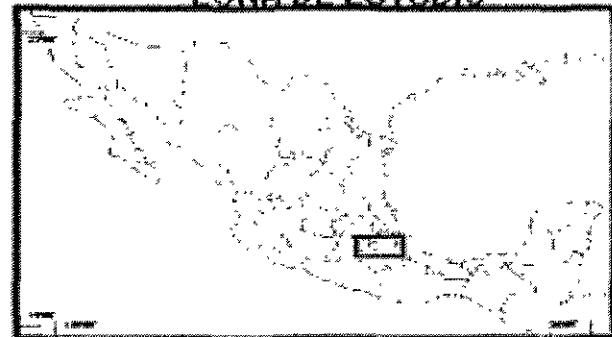
- LÍMITE ESTATAL
- CAMINO PAVIMENTADO
- △ ESTACIÓN METEOROLÓGICA
- ▣ ASENTAMIENTO HUMANO IMPORTANTE

FUENTE INEGI, 1984

**ESCALA GRÁFICA**



**LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**



La región en su conjunto a lo largo del tiempo se ha visto modificada por cambios climáticos (glaciaciones), actividad volcánica y tectónica, así como por actividad humana (deforestación, agricultura y urbanización).

### Uso de suelo y vegetación

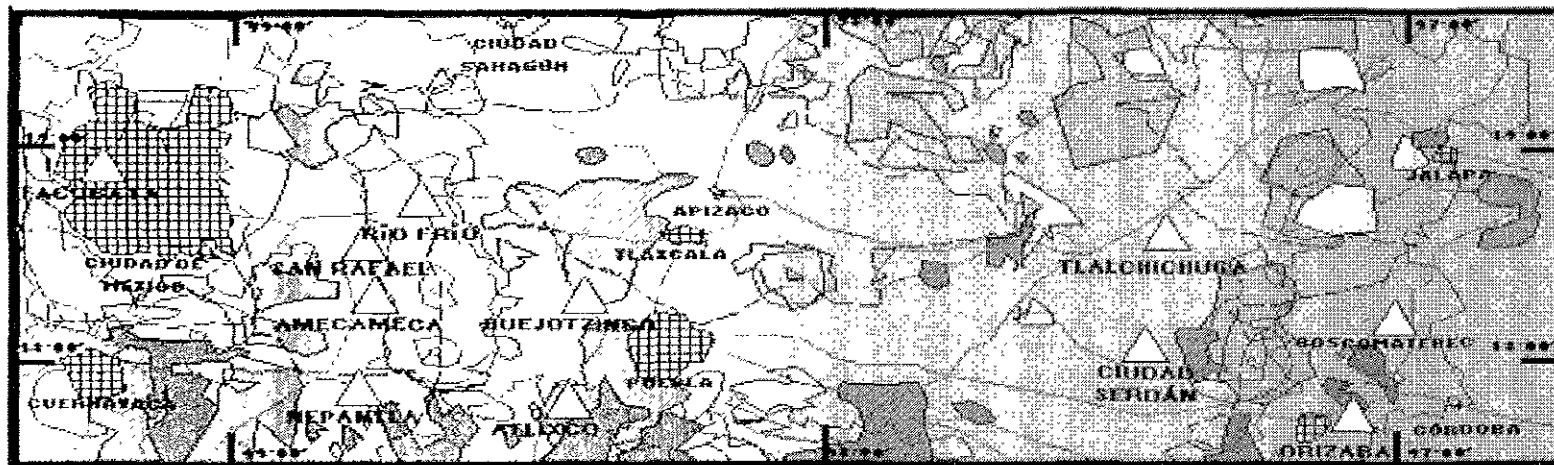
La vegetación en la RCM es muy diversa, en ella se manifiesta el tipo de clima, la disponibilidad de agua, la presión demográfica y los cambios en el uso de suelo, en general ha sufrido muchas transformaciones y es muy sensible a los cambios ambientales.

Existen zonas con vegetación de pastizal y matorral en el valle de México, los llanos de San Juan y hacia el oeste de la zona por debajo de los 1000 msnm., la vegetación se caracteriza por: matorral de Quercus (encino), comunidad arbustiva baja dominada por encino chaparro que se localiza en altitudes entre 2350 y 3100 msnm.


Pastizales, vegetación en que predominan las gramíneas y se localiza desde 2250 hasta 4000 msnm. Matorral xerófilo, se agrupa bajo este nombre varias comunidades arbustivas que se desarrollan sobre todo en regiones secas,



FIGURA 2 a. VEGETACIÓN Y USO DE SUELO EN LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO, 2000







**TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO**

-  AGRICULTURA DE TEMPORAL
-  AGRICULTURA DE RIEGO Y HUMEDAD
-  PASTIZAL
-  BOSQUE TEMPLADO
-  MATORRAL YEROFITO

**ESCALA GRÁFICA**



**ELEMENTOS DEL TERRITORIO**

-  LÍMITE ESTATAL
-  CAMINO PAVIMENTADO
-  ESTACIÓN METEOROLÓGICA
-  ASENTAMIENTO HUMANO IMPORTANTE

FUENTE: INE-INEGI, 2000.

## Climas

La RCM se encuentra ubicada entre tres regiones climáticas, según García, (1980). La primera es la región Centro (vientos alisios en verano, monzón del Pacífico, lluvias en verano y dos máximas de temperatura). La segunda es la región Balsas - Valles de Oaxaca (aislada de vientos húmedos, alisios y monzón descendentes, lluvias de verano y dos máximos de temperatura) y la tercera es la región Golfo de México (ondas del este y ciclones tropicales en verano y otoño, nortes en invierno, régimen intermedio, dos máximos de temperatura).

Los climas (Figura 3), según el sistema de Köppen modificado por García (1980), son:

Al norte del Valle de México existe una porción con clima semiárido templado, BS1kw.

La zona central y occidente de la RCM tiene climas del grupo de los subhúmedos templados y semicálidos, de los tipos Cw2, Cw1, Cw0, y (A)Cw2, (A)Cw1, respectivamente, todos con régimen pluvial de verano

En la fracción centro-poniente existen dos porciones con clima semiárido templado, BS1kw, y una pequeña área con clima árido templado BS0kw con régimen pluvial de verano.

En la parte oriental predominan climas semicálidos húmedos con régimen pluvial intermedio, de los tipos A(C)f y A(C)m(f).

El clima muy frío EFHw en México solo se da en altitudes mayores de 5000 msnm. La disminución de la temperatura se debe a la gran altura sobre el nivel del mar. La temperatura media anual es inferior a 2°C en el mes mas frío.

Siguiendo la clasificación climática propuesta por Köppen<sup>9</sup>, para la mayor parte de la RCM, se define un clima templado Cw; la temperatura media del mes más frío es inferior a 18°; el índice w implica invierno seco, mientras que el índice b señala que la temperatura media en el mes más cálido no supera los 22° C.

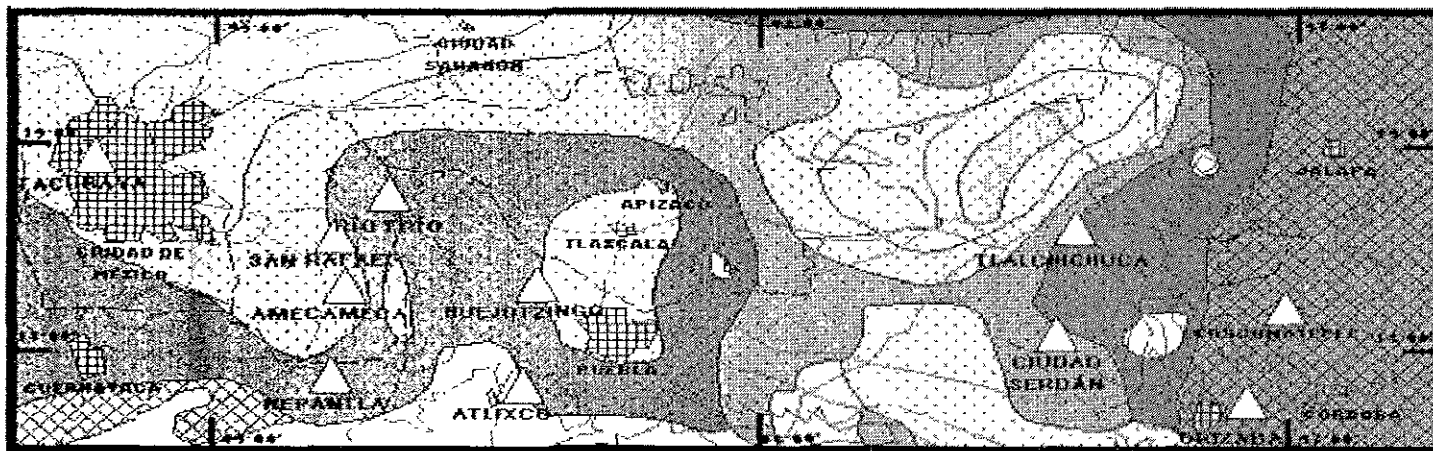
Además, enclavadas en el área de clima templado se encuentran zonas de clima semiárido. Aquí las lluvias son deficientes y la temperatura media anual es menor a 18°.

En la porción más oriental de la RCM existe el clima cálido húmedo, con temperatura media del mes mas frío superior a 18°C, con lluvia del mes más seco superior a 60 mm. Tanto la precipitación como la temperatura, permanecen altas durante todo el año.

---

<sup>9</sup> Köppen W (1931) Climatología. F.C.I. Mexico

FIGURA 3. CLIMAS DE LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO.



TIPO DE CLIMAS

FRÍOS

FFHvw

TEMPLADOS SUBHÚMEDOS CON RÉGIMEN PLUVIAL DE VERANO

Cw2

Cw1

Cw0

TEMPERADOS SUBHÚMEDOS CON RÉGIMEN PLUVIAL DE VERANO

(A)Cw2

SEMILÁRIDOS HÚMEDOS CON RÉGIMEN PLUVIAL INTERMEDIO

ASCY

TEMPLADO SEMIÁRIDO CON RÉGIMEN PLUVIAL DE VERANO

BSHkw

TEMPLADO ÁRIDO CON RÉGIMEN PLUVIAL DE VERANO

BS0kw

ESCALA GRÁFICA



ELEMENTOS DEL TERRITORIO

--- LÍMITE ESTATAL

--- CAMINO PAVIMENTADO

△ ESTACIÓN METEOROLÓGICA

▣ ASENTAMIENTO HUMANO IMPORTANTE

FUENTE: GARCÍA, 1980

### 3.4 Aspectos Socio-Económicos.

En la Región Central de México es donde se concentran las ciudades e industrias más importantes del país, las cuales son las principales aportadoras de gases de efecto invernadero en la región. En conjunto con la deforestación y los cambios en el uso del suelo estos gases, hacen que las variaciones climáticas sean percibidas en forma significativa en la temperatura<sup>10</sup> y precipitación, lo cual representa un aporte de la región para el cambio climático global.

A lo largo de las últimas décadas se ha ido conformando, según Aguilera (1989), un sistema urbano industrial, estrechamente vinculado al área metropolitana de la ciudad de México, el cual incluye como polos principales de actividad económica, demográfica y de servicios a las ciudades de Toluca, Puebla, Tlaxcala, Cuernavaca y otras.

A partir de la década de los 80 estos sistemas urbanos se consolidan hacia tres territorios particulares. Por un lado el área metropolitana y las localidades de la Cuenca del valle de México, por otro, las zonas que se van incorporando al proceso de urbanización en Toluca-Lerma y Cuernavaca, y en una tercera zona que incluye a las áreas urbanas de Puebla y Tlaxcala. Las dos primeras

---

<sup>10</sup> Según Jáuregui(1996) existe una dificultad para detectar el calentamiento atmosférico, que se debe a la formación de las llamadas islas de calor por el crecimiento de la mancha urbana, que hacen que crezca el contraste térmico entre ciudad y campo

mantienen relaciones económicas con los espacios de la región Golfo y la tercera con occidente y norte del país.

Debido a la diversidad y volumen de actividades que se realizan en la RCM se ha ejercido una gran presión sobre los recursos naturales que existen, rebasando la capacidad de recuperación del medio, particularmente en los aspectos relativos a las condiciones atmosféricas, uso del suelo y de recursos hidráulicos.<sup>11</sup>

Según algunos estudios (por ejemplo Jáuregui (1996) y Aguilera(1989)), con la tendencia hacia el crecimiento de las áreas urbanas, la producción de gases de efecto invernadero tenderá a ir aumentando en la misma proporción.

Otra fuente de gases de efecto invernadero se encuentra en los campos de cultivo y en la deforestación; además de que debido a que existen limitaciones naturales para el desarrollo de actividades agrícolas, se han ido extendiendo las áreas de cultivo; aunado con esto, desde hace mucho tiempo se ha dado una inadecuada explotación del suelo, lo que ha provocado problemas de erosión y desertificación..

---

<sup>11</sup> La influencia de la Ciudad de México por sí sola debido a su extensión e intensidad de emisiones de gases de invernadero, según Jáuregui(1996) se deja sentir desde hace varias décadas en los valles de Toluca, Cuernavaca y Puebla, por lo que la contaminación atmosférica de la capital se ha vuelto un problema regional y es muy posible que los gases de esta conurbación contribuyan marcadamente al calentamiento global

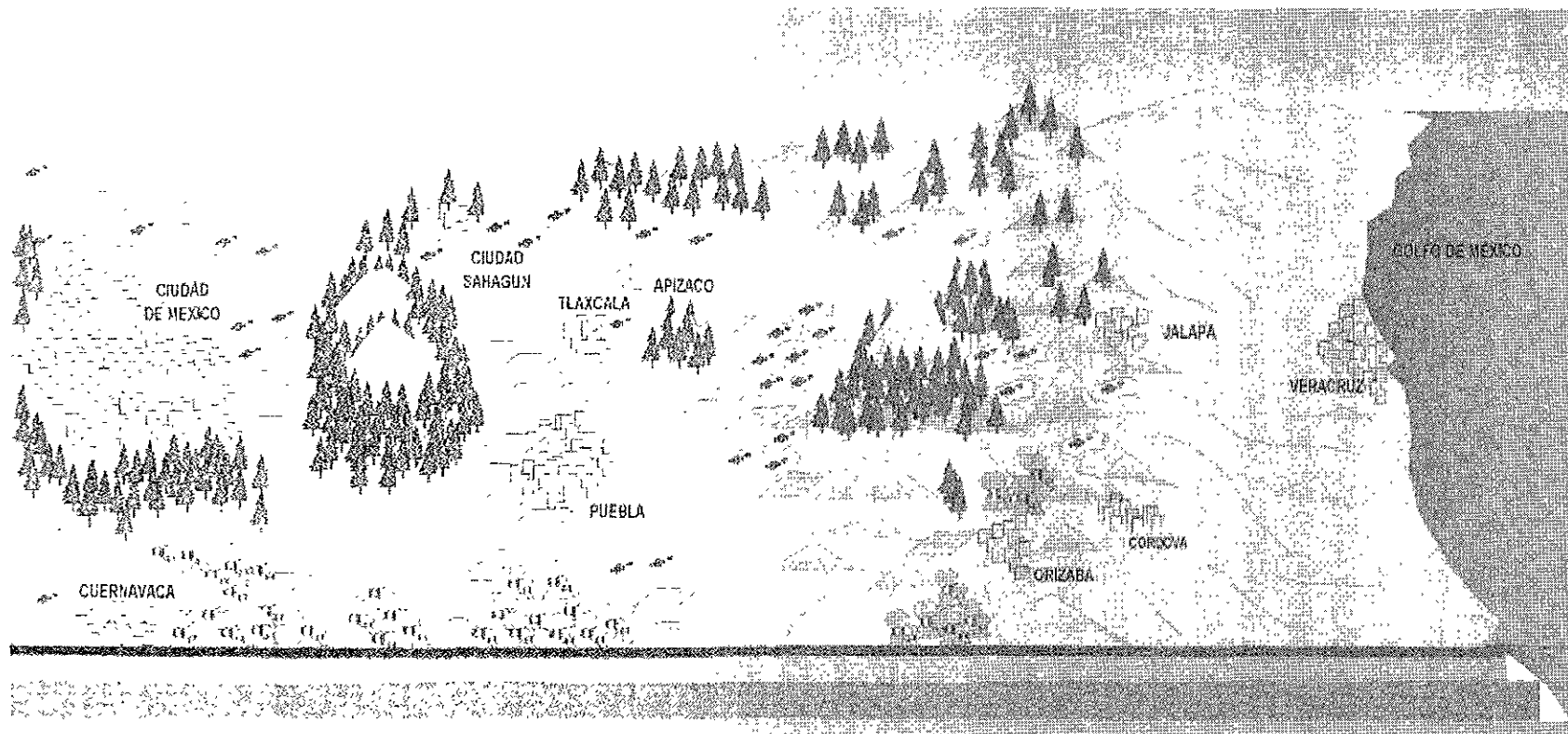


Figura A Esquema de la Región Central de México, donde se reproduce la caracterización ambiental de la RCM, y la posición de los volcanes cubiertos por glaciares, la desaparición de estos últimos causaría un impacto al ambiente, y a su vez son muy impactados por su entorno.

## **Capítulo 4. LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA REGIÓN CENTRAL DE MEXICO.**

### **4.1 Variaciones climáticas de la región.**

Una variación climática se da con respecto a la media. La Región Central de México (RCM) se conforma de muy variados elementos, que a su vez son diferentes entre sí y que tienen al mismo tiempo respuestas distintas a los cambios atmosféricos.

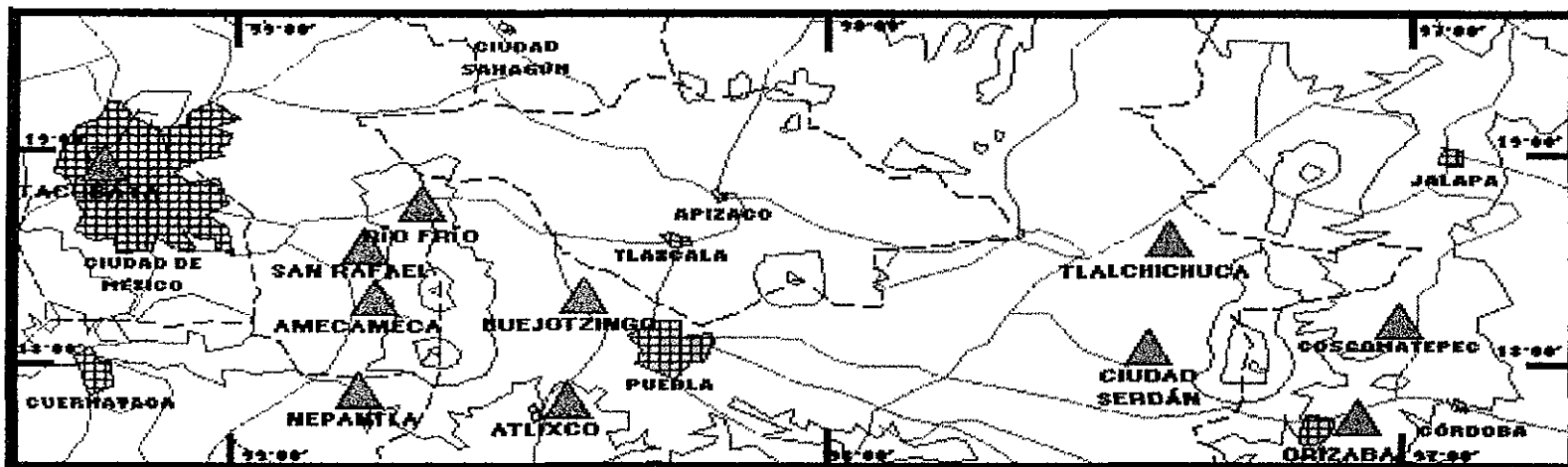
Como se mencionó en el capítulo uno, los factores que actúan para inducir variaciones climáticas en la RCM, son la urbanización, altitud, topografía, deforestación, y contaminación atmosférica debida a diversas causas. La respuesta de los elementos del clima hacia estos factores se manifiesta en la elevación o disminución de la temperatura y precipitación.

En México la información climática se puede describir como insuficiente ya que no hay forma de conocer sobre la calidad de las mediciones. Se sabe que existe un deterioro en las actividades relacionadas con la lectura, registro, organización y almacenamiento de las mediciones, así como con el procesamiento periódico de la información.

En el presente trabajo, los datos de las distintas estaciones no abarcan el mismo periodo de tiempo en los parámetros que se emplearon, faltan además los



**FIGURA B . ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO**



**ELEMENTOS DEL TERRITORIO**

- LÍMITE ESTATAL
- CAMINO PAVIMENTADO
- ▲ ESTACIÓN METEOROLÓGICA
- ASENTAMIENTO HUMANO IMPORTANTE

**ESCALA GRÁFICA**



datos de muchos años en las cifras de las estaciones que se utilizaron por lo que no se pudo hacer un seguimiento por varias décadas; asimismo, debido a la sustitución de la medición tradicional por la de instrumentos automatizados<sup>1</sup>, se encuentran variaciones falsas en las mediciones, la cual pudo ocasionar que se tuvieran ciertas variaciones en los resultados finales.

Pese a todo, el estudio de las tendencias que existen en la temperatura y precipitación, así como los efectos que la variación de estos parámetros pudiera tener sobre el clima y los glaciares de la zona, se hizo examinando los datos por estación, para posteriormente dividir a la RCM en tres áreas, relacionadas con las zonas glaciadas de los volcanes Popocatepetl, Iztaccihuatl y Pico de Orizaba, como se puede observar en la figura B, las áreas se establecen por las estaciones que se encuentran en la vecindad de cada volcán, para el Popocatepetl se utilizan los datos promediados de las estaciones Amecameca, Nepantla, ambas situadas en el occidente del volcán, (Nepantla en el extremo sur), Huejotzingo y Atlixco, situadas al oriente; Para el Pico de Orizaba: Tlalchichuca, ubicada al norte, Ciudad Serdán, al poniente, Orizaba en el sur, y Coscomatepec, al oriente. Para el Iztaccihuatl, Río Frío, ubicada en el norte, San Rafael y Amecameca, en el poniente, y Huejotzingo al oriente del volcán; lo anterior se realizó con el fin de hacer un análisis más detallado de la zona de estudio.

---

<sup>1</sup> Mencionado en el capítulo 1

## **Patrones de precipitación y temperatura por estación.**

Estación Amecameca, 2479 msnm, periodo 1943 – 1988

Precipitación. (Figura 4).

Los valores más altos de precipitación se encuentran en los años 1972, 1973, 1976 y 1981; aunque en los años a partir de 1984 se nota un decremento mas marcado en la precipitación, en toda la grafica existe una tendencia hacia la disminución. El valor mas bajo es en el año 1979.

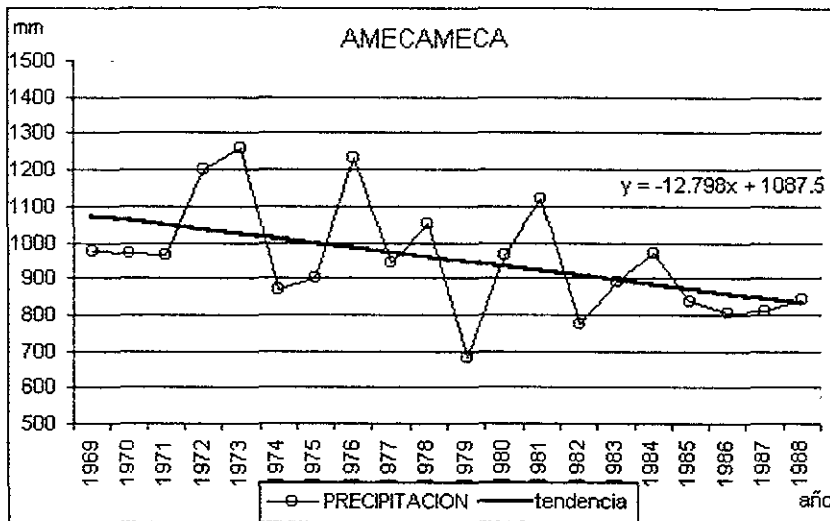
Temperatura. (Figura 4a).

En el periodo 1947 a 1960 la temperatura disminuye con una diferencia de cerca de 3.5 grados. De 1974 a 1988 aumenta casi dos grados. La tendencia de la temperatura en todo el periodo es a disminuir.

# Estación Amecameca

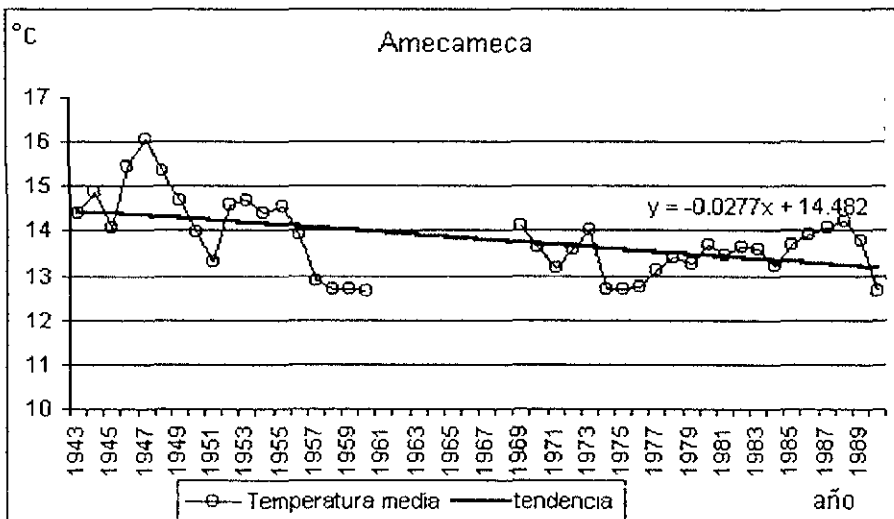
## Figura 4

Grafica de precipitación



## Figura 4a

Gráfica de temperatura



Estación Río Frío, 3000 msnm, periodo 1944 – 1987.

Precipitación (Figura 5).

El año más húmedo es 1965. La línea de tendencia muestra una disminución en los valores de precipitación en todo el periodo estudiado, con fuertes variaciones al final de la época de los 80.

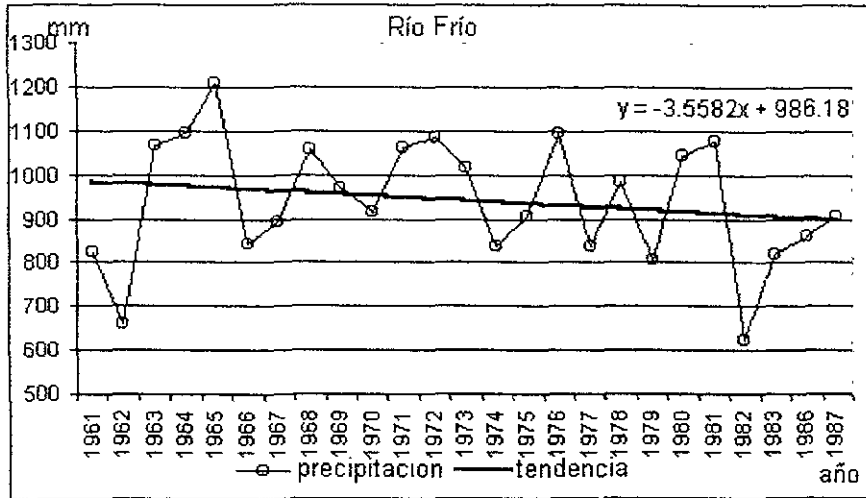
Temperatura (Figura 5a).

Los datos hasta 1953 alcanzan las temperaturas mas altas de la serie, de 1956 a 1982 los datos tienen tendencia permanecer entre los 9 y 11 grados, de 1983 en adelante hay temperaturas mas bajas que estas. La línea de tendencia indica una disminución de temperatura.

# Estación Río Frío

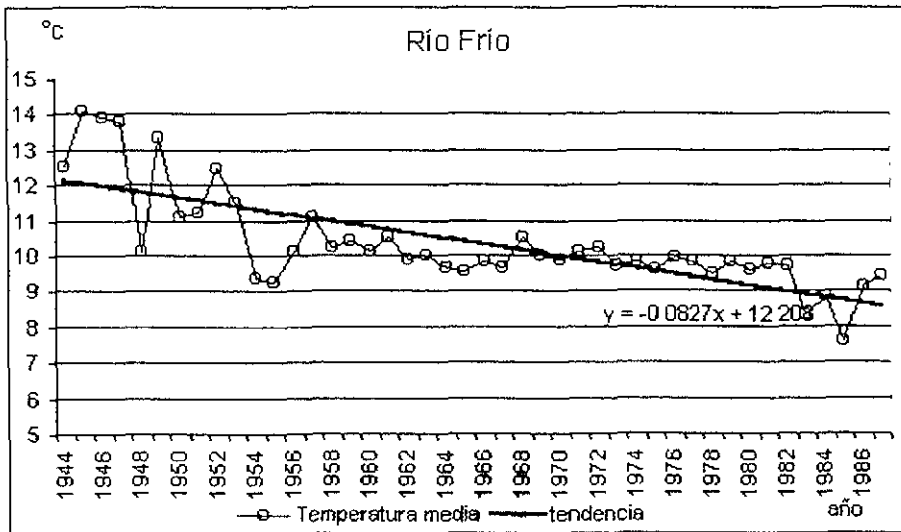
## Figura 5

Gráfica de precipitación.



## Figura 5a

Gráfica de temperatura.



Estación San Rafael Tlalmanalco, 2500 msnm, periodo 1922 – 1985.

Precipitación (Figura 6).

A partir del año 1926 hasta 1951 se nota una brusca disminución de la precipitación, a partir de ese año los valores de la precipitación aumentan, para luego volver a disminuir, existe una tendencia general de los datos de precipitación a disminuir.

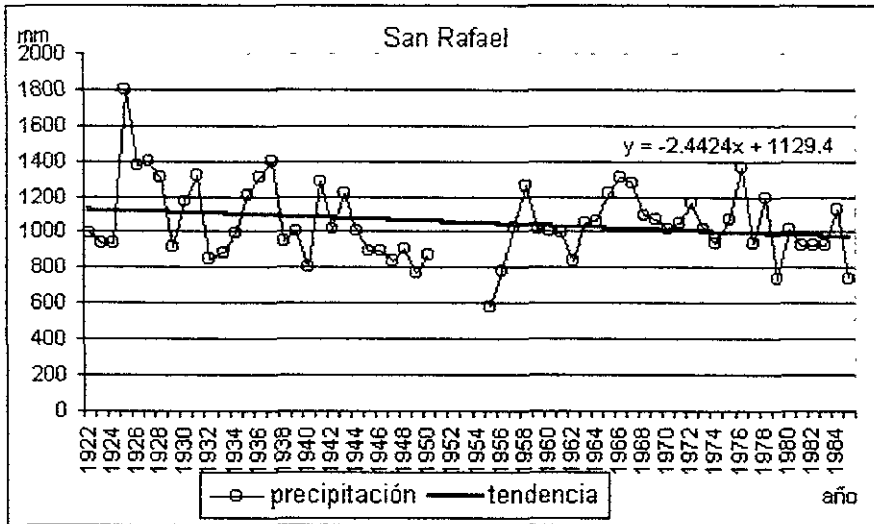
Temperatura (Figura 6a).

En años anteriores a 1933 los valores no tienen una variación significativa. De 1938 a 1943 y desde 1947 a 1953, los valores disminuyen. En 1953 comienza a aumentar la temperatura hasta 1956, a partir de este año y hasta 1984 los valores se mantienen constantes por arriba de los 14 grados. La tendencia de la temperatura es de aumentar.

# Estación San Rafael

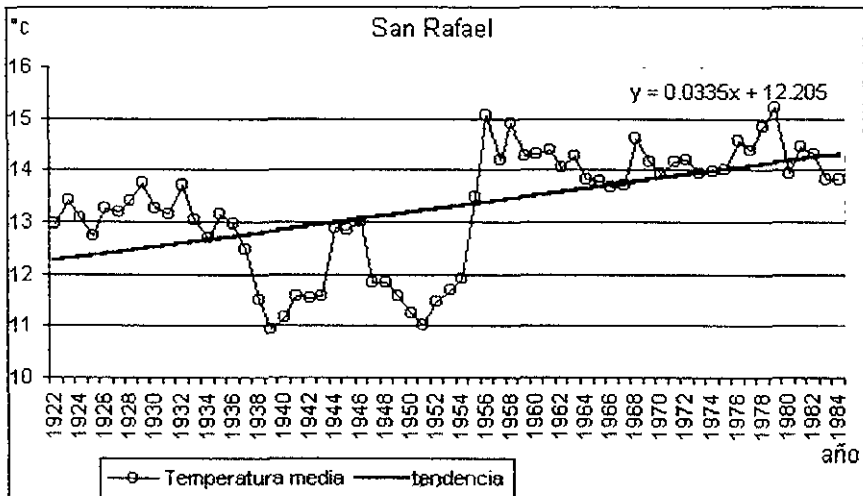
## Figura 6

Gráfica de Precipitación.



## Figura 6a

Gráfica de temperatura





Estación Nepantla, 1969 msnm, periodo 1944-1988.

Precipitación (Figura 7).

La precipitación muestra una tendencia muy marcada a disminuir en todo el periodo estudiado desde 1944 a 1986. Los años con mayor precipitación son 1954 y 1955, en 1975 se da el valor mínimo para toda la serie. El impacto mayor del descenso de precipitación, para el área que rodea al Popocatepetl ,se observa en Nepantla.

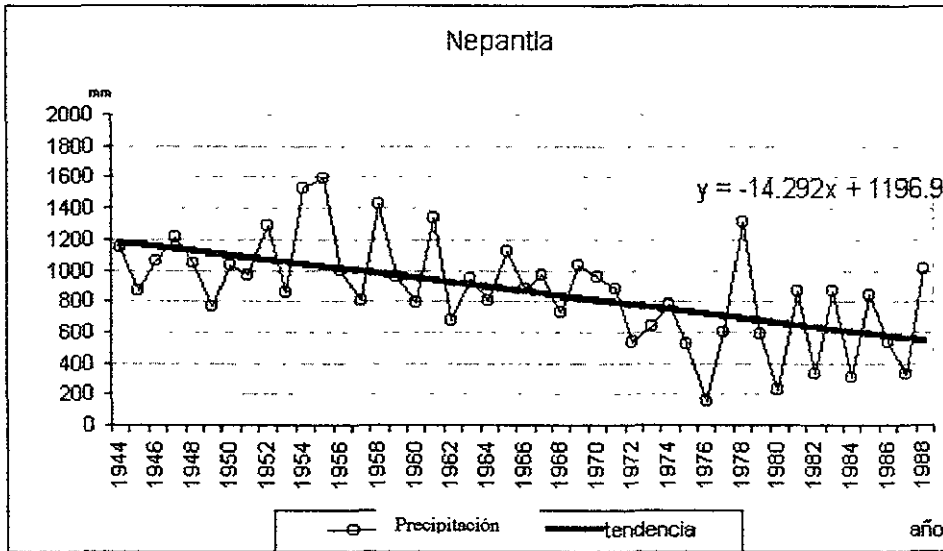
Temperatura (Figura 7a).

La temperatura desciende hasta 1957. A partir de 1958 a 1960 va incrementándose. De 1960 disminuye hasta el dato mas bajo de la serie en 1971, volviendo a aumentar desde ahí hasta 1988. La tendencia de la temperatura es de aumentar en el periodo que va desde 1944 a 1988.

# Estación Nepantla

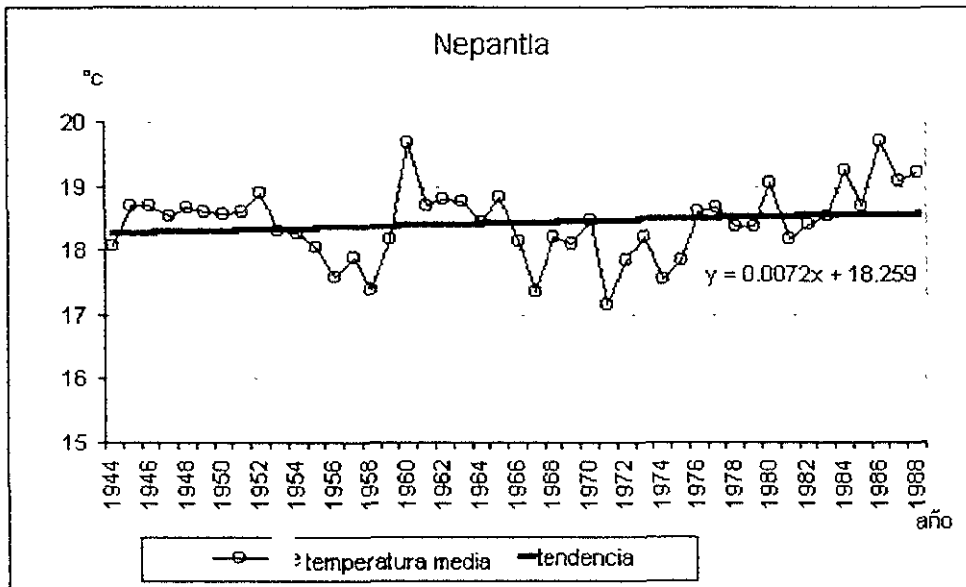
## Figura 7

### Gráfica de Precipitación



### Figura 7a.

### Gráfica de Temperatura



Estación Tlalchichuca, 2590 msnm, periodo 1934 –1985.

Precipitación (Figura 8).

La precipitación tiene marcadas variaciones hasta 1964, de ahí en adelante las variaciones son menos notorias, de 1976 a 1985 hay una notoria disminución de los valores. La precipitación muestra una tendencia a disminuir.

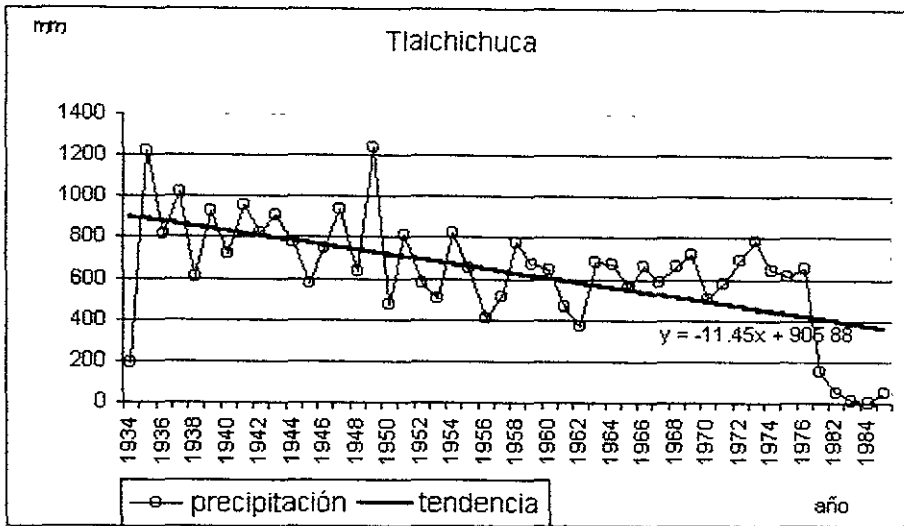
Temperatura (Figura 8a).

Del año 1938 a 1942 aumentan los valores de temperatura; de 1945 a 1950 la temperatura muestra una disminución. Hasta 1964 hay un constante aumento, después de este año se notan ciertas variaciones que tienden a disminuir en los últimos años. La tendencia de 1934 a 1985 muestra un aumento.

# Estación Tlalchichuca

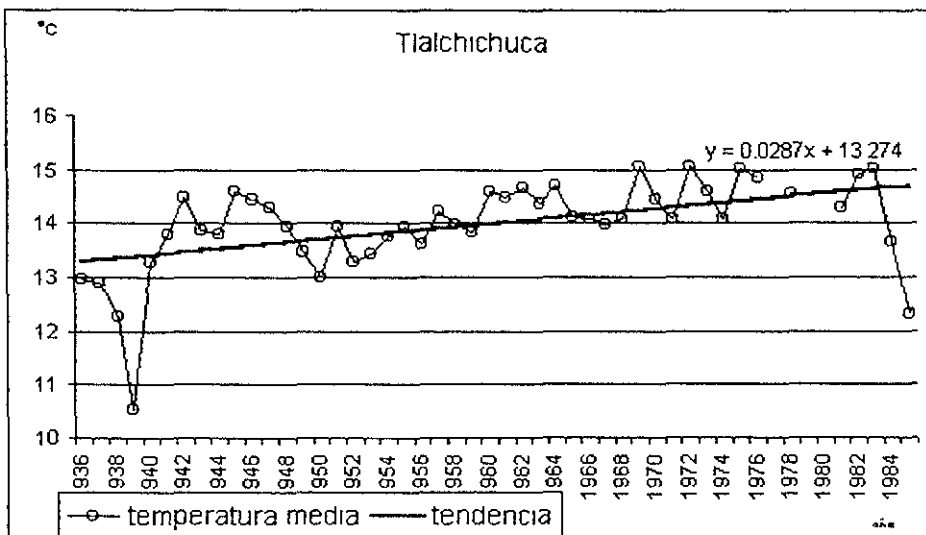
## Figura 8

Gráfica de precipitación.



## Figura 8a

Gráfica de Temperatura



Estación Huejotzingo, 2291 msnm, periodo 1942 – 1990.

Precipitación (Figura 9).

1942, 1953, 1982 fueron años muy secos. 1943, 1954, 1955, 1956, 1958, 1963, 1965, 1981 son los años más húmedos de toda la serie. La precipitación tiene una tendencia al aumento.

Temperatura (Figura 9a).

Los valores de los 46 años estudiados muestran variaciones, pero en general hay una tendencia hacia el aumento de la temperatura. En 1945, 1948, 1958, 1964, 1970 a 1972, los valores están elevados con respecto a años anteriores o posteriores. En la década de los 80 se nota una propensión hacia el incremento de temperatura.

# Estación Huejotzingo

Figura 9

## Gráfica de Precipitación

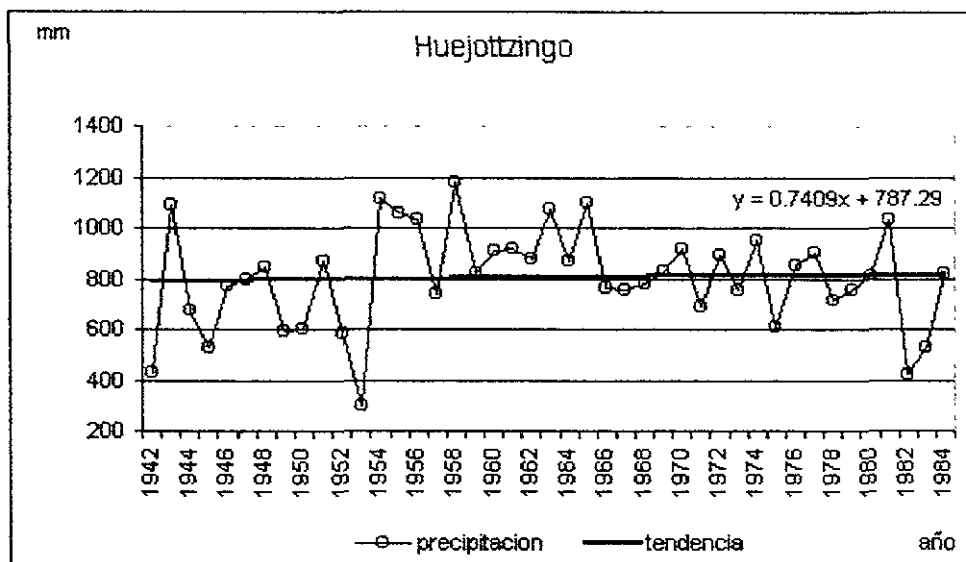
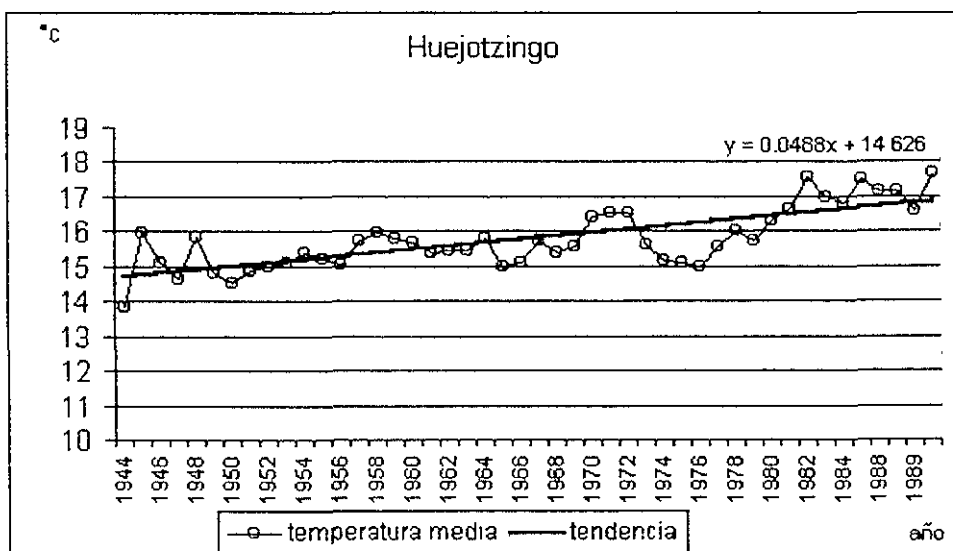


Figura 9a.

## Gráfica de Temperatura



Estación Atlixco, 1840 msnm, periodo 1962 – 1985

Precipitación (Figura10).

Los años 1964, 1967, 1969 y 1980 son los más húmedos. Los demás años se encuentran por debajo de 1000mm . En general se encamina a bajar la tendencia de la precipitación en el periodo.

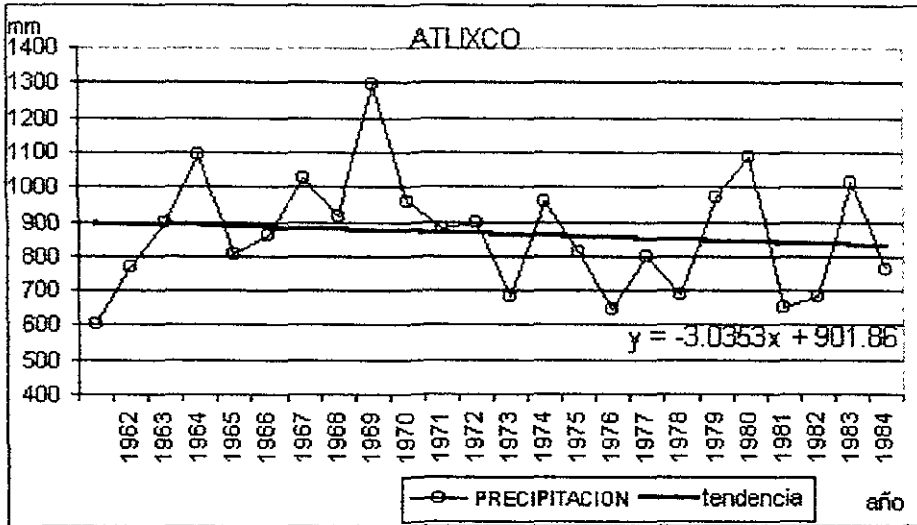
Temperatura (Figura 10a).

De 1962 a 1966 se da la etapa más fría de todo el periodo, todos los demás datos son más altos de 17 grados, existiendo variaciones en ellos. La línea de tendencia marca un aumento en la temperatura.

# Estación Atlixco

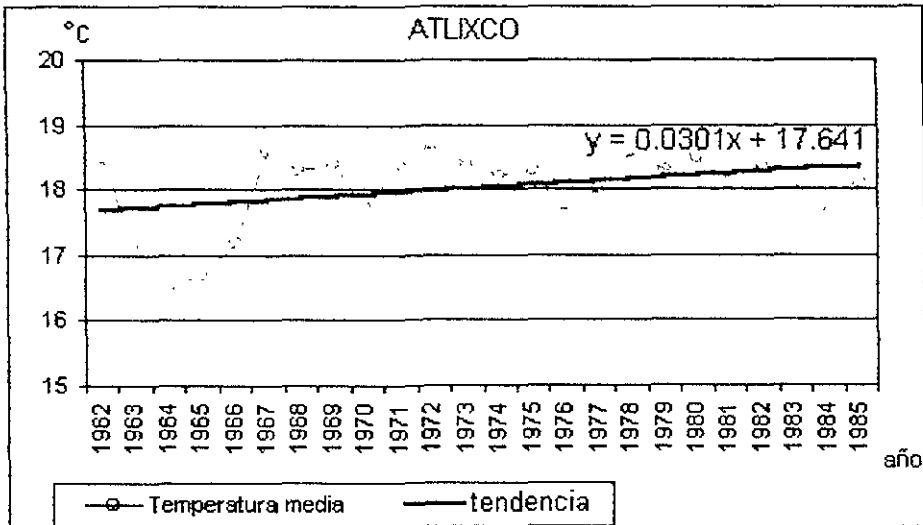
## Figura 10

### Gráfica de Precipitación



### Figura 10a.

### Gráfica de Temperatura





Estación Ciudad Serdán, 2278 msnm, periodo 1942 – 1985.

Precipitación(Figura 11).

En años anteriores a 1950, la precipitación no es alta con respecto a la serie. 1942 es el año más seco. De 1968 a 1978 hay una brusca disminución de precipitación. Después de estos años se da un aumento en los valores. En la serie de datos hay la tendencia hacia el aumento de la precipitación.

Temperatura (Figura 11a).

Hasta 1950 hay una disminución de temperatura. Luego esta aumenta hasta 1954, posterior a este año y hasta 1968 los datos no alcanzan los 14 grados. El año 1980 es el más alto de todo el periodo con un valor de 14.9 grados.

La temperatura muestra una tendencia hacia el incremento para todo el periodo estudiado.

# Estación Ciudad Serdán

## Figura 11

### Gráfica de Precipitación

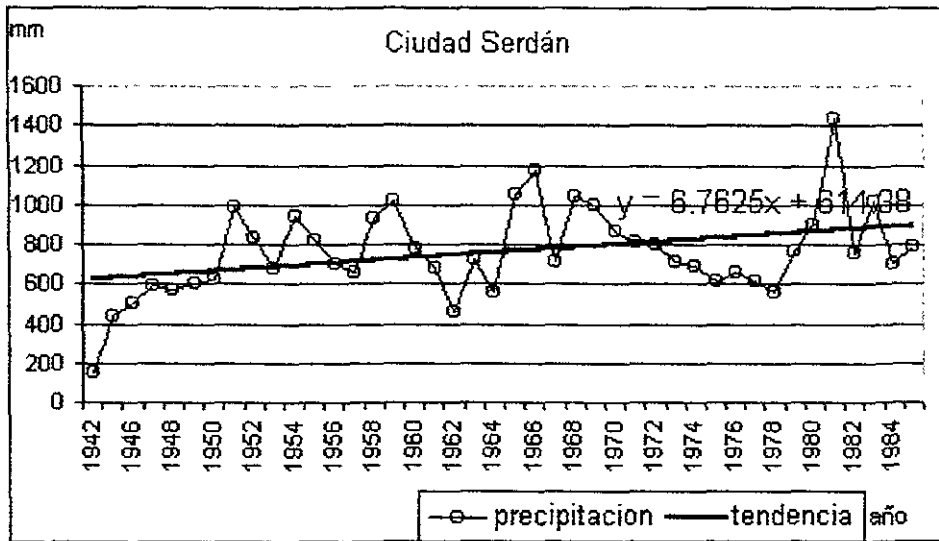
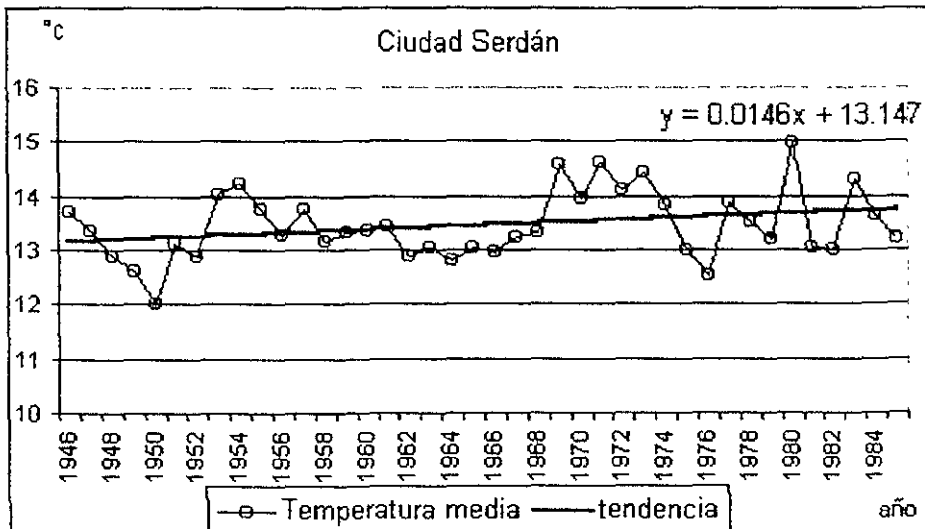


Figura 11a.

### Gráfica de Temperatura



Estación Orizaba, 1248 msnm, periodo 1873 – 1988.

Precipitación (Figura 12).

El año más seco fue 1973 llegando sólo a los 913.7 mm. Fueron años muy húmedos 1919,1961,1969, 1981. Los datos tienen variaciones más amplias a partir de la década de los 60. La línea de tendencia muestra una ligera elevación de la precipitación para todo el periodo.

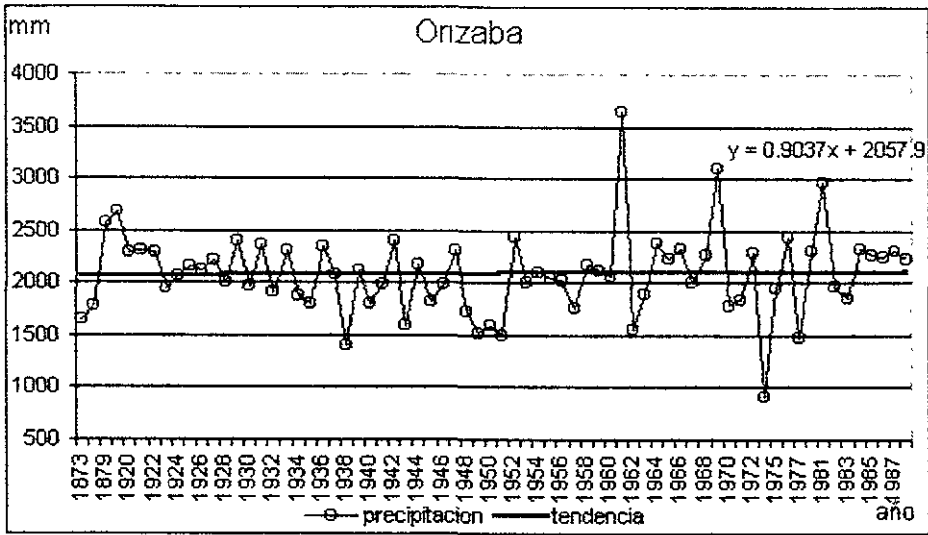
Temperatura (Figura 12 a).

Hasta 1925 disminuye la temperatura, de ahí se va elevando hasta 1973, para luego disminuir a partir de los años setenta y hasta 1988, en 1976 se da el valor mas bajo de la serie de temperatura. No existen variaciones muy extremas en esta estación, la línea de tendencia de la temperatura permanece casi constante para todo el periodo.

# Estación Orizaba

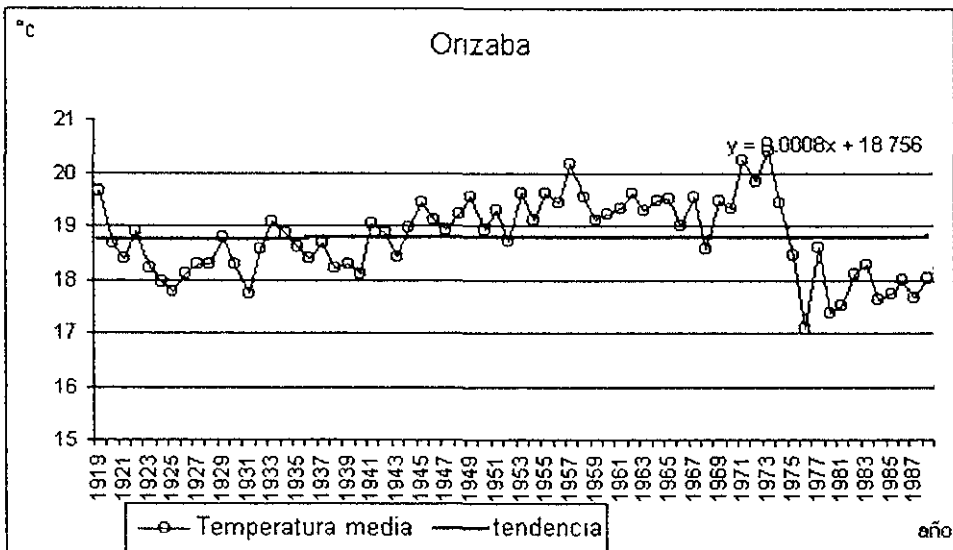
## Figura 12

### Gráfica de Precipitación



## Figura 12a.

### Gráfica de Temperatura



Estación Coscomatepec, 1588 msnm, periodo 1961 – 1990.

Precipitación (Figura 13).

La línea de tendencia muestra una disminución en la precipitación, 1961,1965,1967 y 1981 son años muy húmedos. El año más seco es 1973.La serie de datos muestra marcadas variaciones.

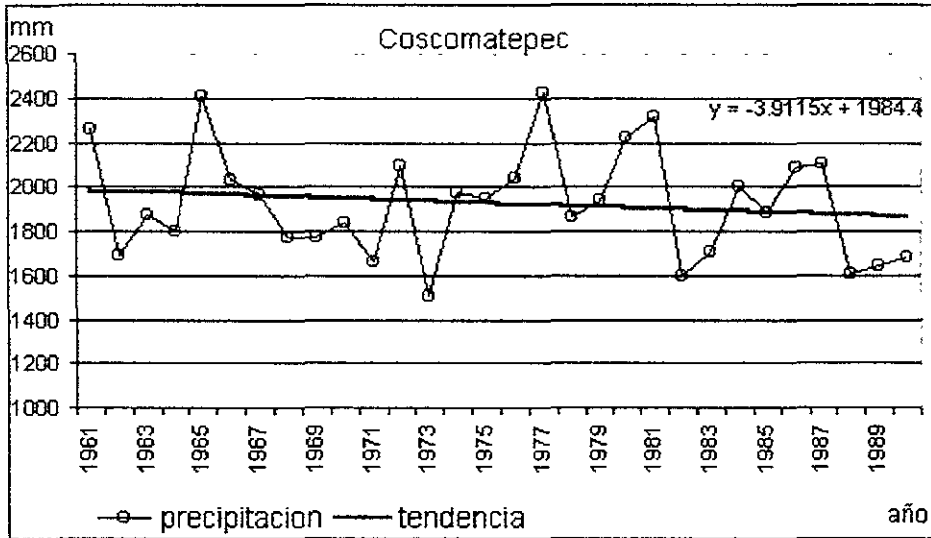
Temperatura (Figura 13 a).

Hasta 1957 los valores se elevan . De 1958 a 1966 la temperatura no aumenta. A partir de 1969 a 1977 disminuye, para aumentar hasta 1980 y posteriormente declina. La tendencia de la temperatura para el periodo en general es a disminuir.

# Estación Coscomatepec

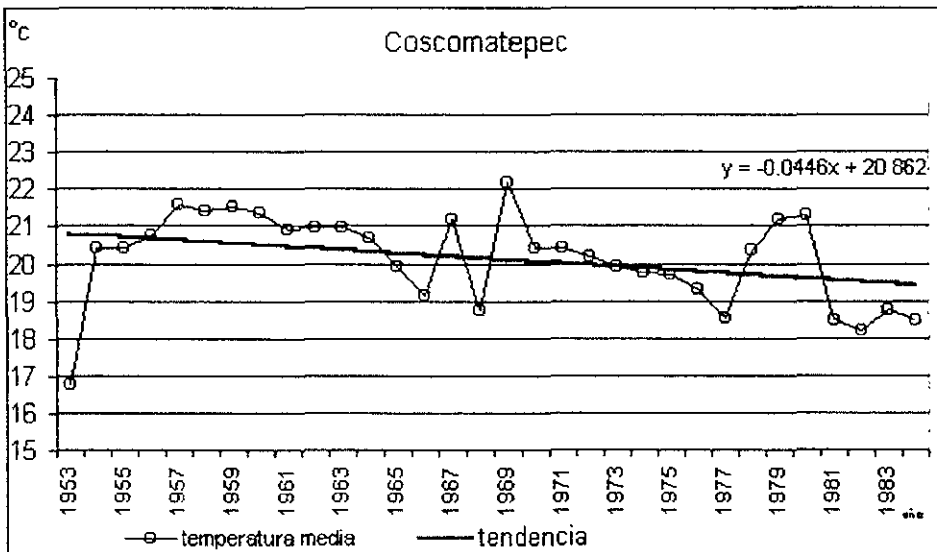
## Figura 13

Gráfica de precipitación.



### Figura 13 a

Gráfica de Temperatura



Estación Tacubaya, 2303 msnm, periodo 1911 -1998

Precipitación (Figura 14).

La precipitación muestra un incremento en el periodo estudiado. Se alcanzan valores muy húmedos en 1958, 1991 y 1992. En esta estación es muy marcada la influencia de la urbanización por el crecimiento de la ciudad de México, la cual ocasiona que las variaciones de temperatura y precipitación sean considerablemente notorias y más marcadas que en otros lugares.

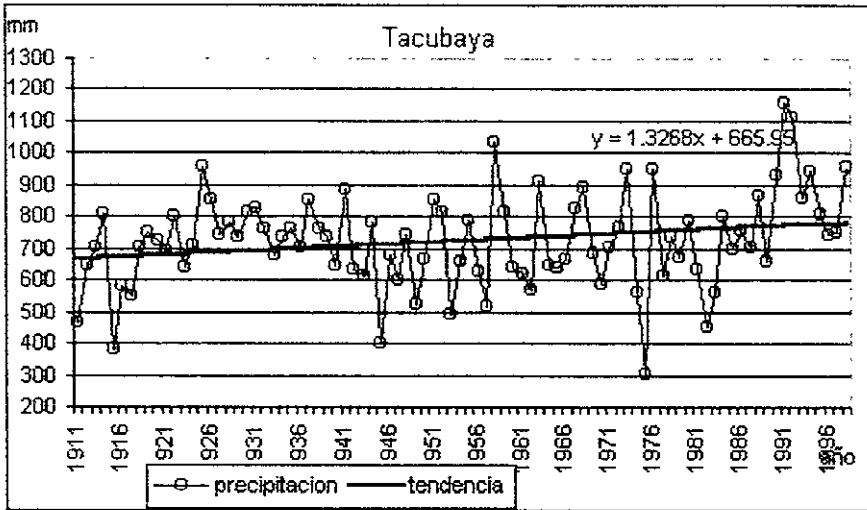
Temperatura (Figura 14 a).

En todo el periodo la temperatura media se incrementa, excepto en la década que va de 1931 a 1940; Aumenta en un décimo de grado en las décadas 1941-1970, entre 1971 y 1980 en 0.3, y en 0.4 y 0.6 respectivamente en las últimas décadas. (Cervantes 1999).

# Estación Tacubaya

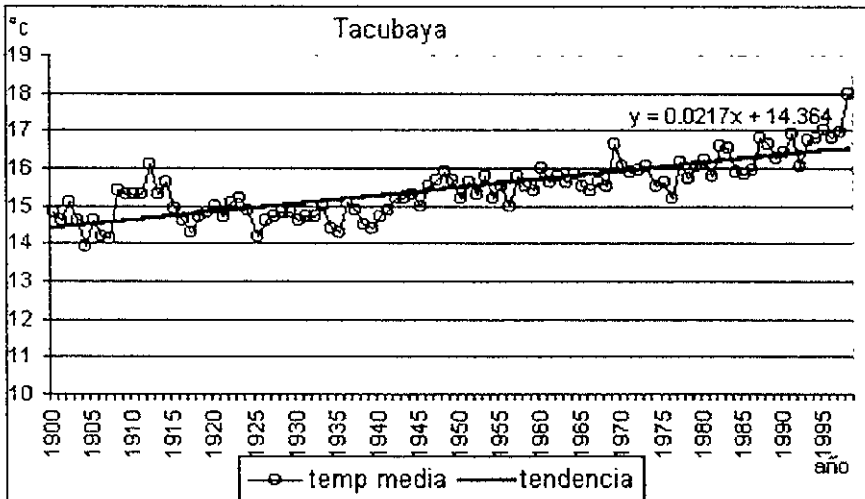
## Figura 14

### Gráfica de Precipitación



### Figura 14 a.

### Gráfica de Temperatura





## **Estaciones del área circundante al volcán Popocatépetl.**

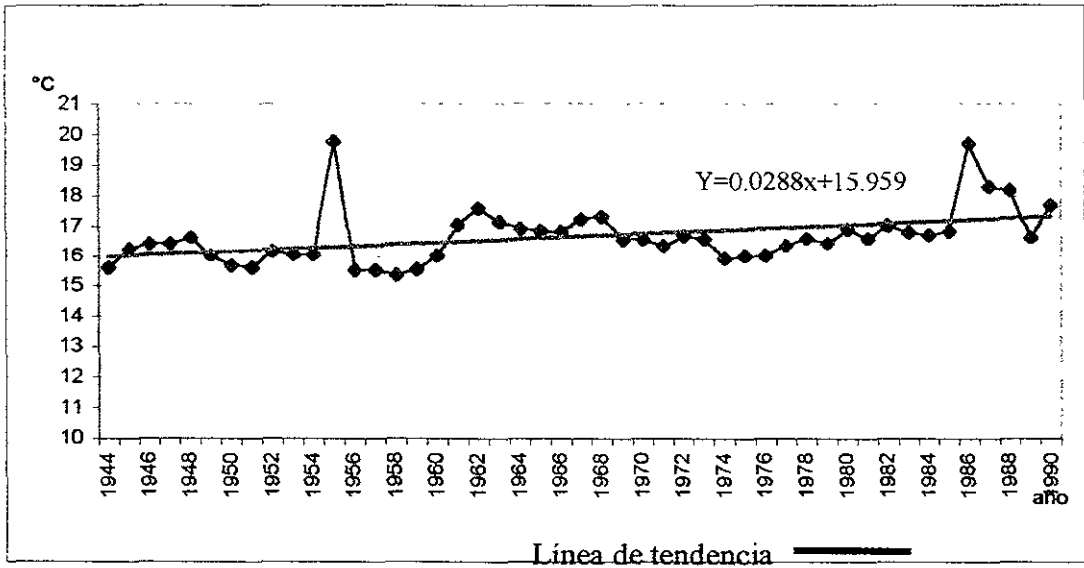
Los datos de temperatura media y precipitación en esta zona abarcan el periodo que va de 1944 a 1990. Las estaciones tomadas en cuenta para esta área son Amecameca, Huejotzingo, Atlixco y Nepantla.

El promedio de temperatura anual en este tiempo es de 16.6 grados. Los valores más altos de la serie se dan en 1955 y 1986, los valores mas bajos de 1956 a 1959, siendo el año de 1958 el más bajo. En general, los años anteriores a 1961 se encuentran por debajo del promedio y los años posteriores a este año lo superan; Con excepción del periodo que va de 1986 a 1989 donde hay una disminución muy brusca de temperatura de casi tres grados (Figura 15 a). Se presenta en general un incremento de la temperatura como un indicio de la tendencia hacia años cálidos<sup>1</sup>. La tendencia de la precipitación anual es decreciente para el periodo en su conjunto, aunque es muy notorio este decremento en la zona sur-poniente del área. Desde 1954 a 1965 y de 1969 a 1973, los valores están en su mayoría por arriba del promedio que es de 883.72 mm. El valor máximo se da en 1955 y el mínimo en 1982(Figura 15 b). Existe una gran variación en todos los años con respecto a la media, encontrándose por encima y debajo de esta en periodos similares. Los años entre 1970 y 1977 se distinguen por ser una época en la que sólo disminuye la precipitación. Este aumento de la temperatura y el decreciente aporte de precipitación se indican en la disminución del tamaño de los glaciares. Sin olvidar que también la actividad del volcán es muy importante en este proceso.

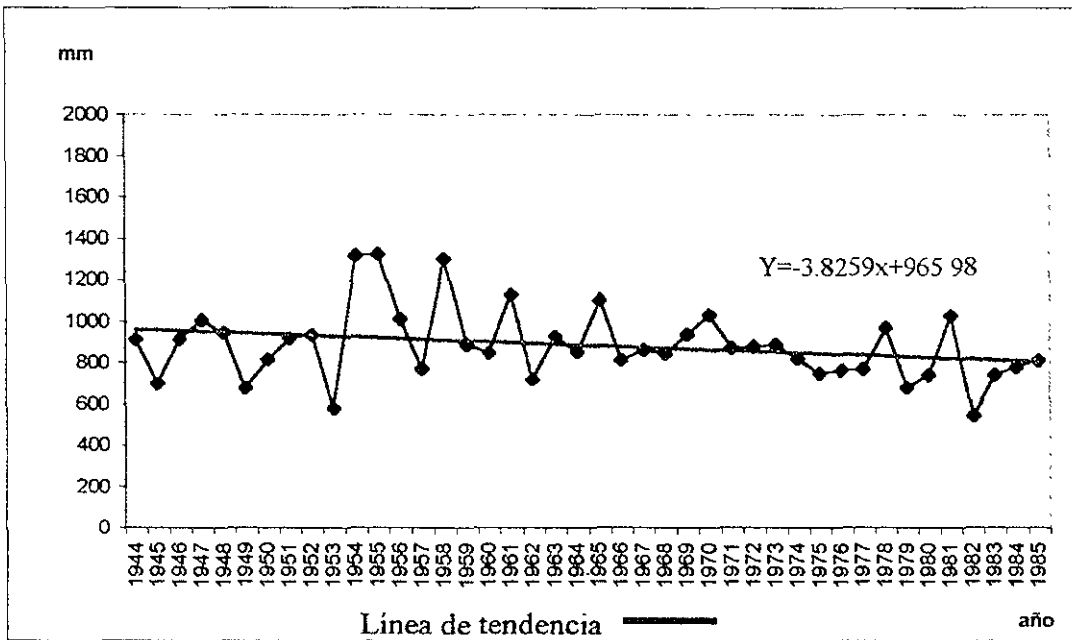
---

<sup>1</sup> que manifiestan probablemente el efecto de invernadero.

Figura 15. Graficas del área circundante al volcán Popocatepetl



a) temperatura



b) precipitación

## **Estaciones del área circundante al volcán Iztaccihuatl.**

Los datos de temperatura media anual y precipitación anual, de las estaciones tomadas en cuenta para esta área, San Rafael, Río Frío, Huejotzingo y Amecameca, están promediados y son del periodo que va de 1922 a 1990.

La temperatura en general tiene una tendencia hacia el aumento (Figura 16 a). De 1938 a 1943 se dan los datos menores de temperatura. La mayoría de los años que no están dentro de este mismo periodo se encuentran por arriba del promedio. El promedio de temperatura es de 13.3 grados. 1955, 1988, 1989 y 1990 son los años con mayor temperatura de la serie. La estación de Río Frío, situada al norte del volcán, parece no haber sufrido un cambio apreciable de la temperatura de los últimos cincuenta años.

La precipitación tiene variaciones con respecto a la media que es de 937.09 mm. Los años desde 1922 hasta el de 1953 muestran un periodo de disminución de la lluvia, de ahí hasta 1965 se da un periodo de aumento y una disminución hasta 1985 aunque con muchas variaciones intermedias. En 1953 se da el valor más bajo de la serie y en 1926 el mas alto. La tendencia de la precipitación en general es a disminuir (Figura 16 b).

Gráficas del área circundante al volcán Iztaccihuatl.

Figura 16 a)

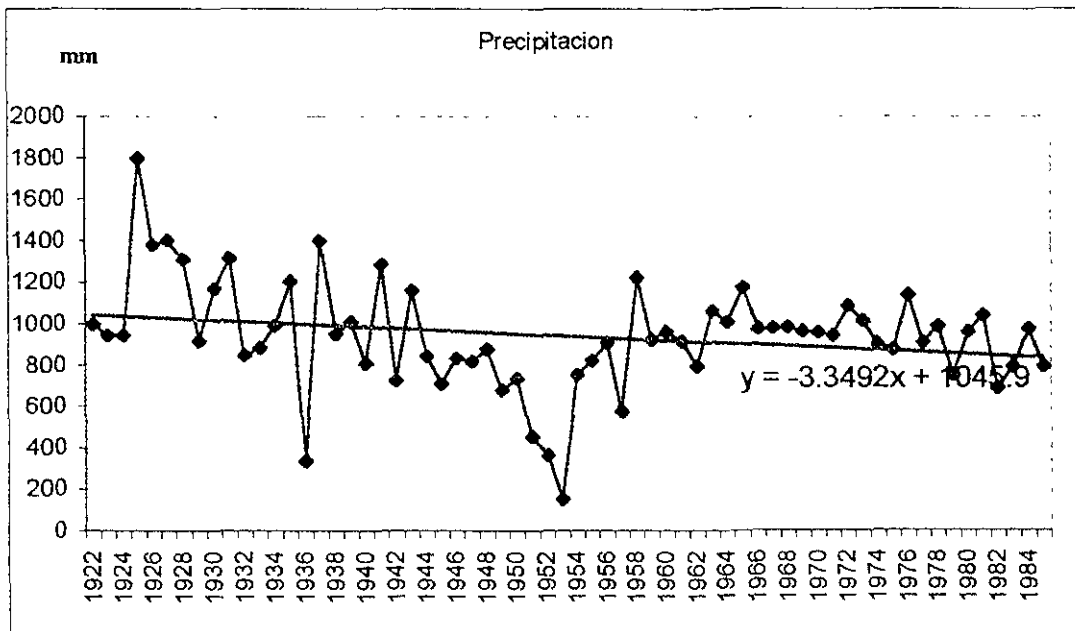
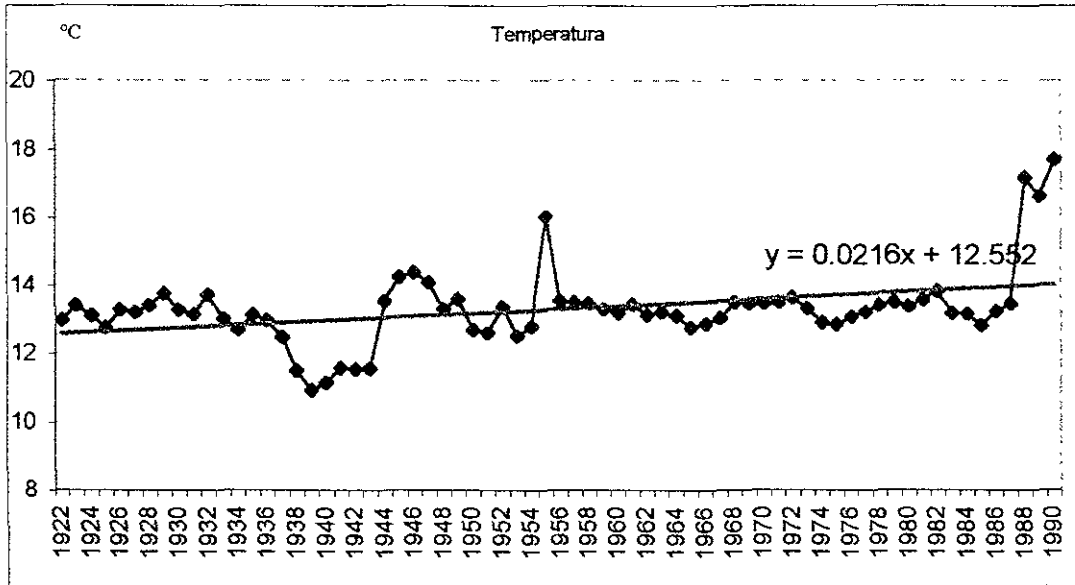


Figura 16 b)

Línea de tendencia \_\_\_\_\_

## **Estaciones del área circundante al volcán Pico de Orizaba.**

Los datos en esta área abarcan el periodo que va de 1946 a 1985. Se utilizan los datos promediados de las estaciones Coscomatepec, Ciudad Serdán, Orizaba y Tlalchichuca. El promedio de temperatura es de 15.8 grados, existen ciertas variaciones con respecto a ésta; de 1946 a 1950 la temperatura baja, de ahí a 1962 sube cerca de dos grados, de este año y hasta 1968 disminuye casi un grado, de 1969 a 1985 se da una brusca disminución de más de tres grados (figura 17a).

El dato mas alto de temperatura es el de 1969 con 17.3 grados y el más bajo es en 1985 con 13.9 grados. Aquí la tendencia de la temperatura permanece constante es decir, que no se muestra que exista una tendencia hacia el aumento o la disminución de toda la serie de datos en el tiempo (figura 17 b).

La precipitación tiene una gran variabilidad con respecto a la media, abarcando intervalos de casi tres años con datos parecidos. Los datos anteriores a 1963 en su generalidad, están por debajo de la media y posteriores a este año en su mayoría están por arriba del promedio que es de 1277 mm. Las estaciones en esta área muestran en general una tendencia creciente de la precipitación, con excepción de la estación Coscomatepec que es la más próxima al Pico de Orizaba y tiene una tendencia decreciente, lo cual puede impactar en los glaciares.

Gráficas del área circundante al Pico de Orizaba

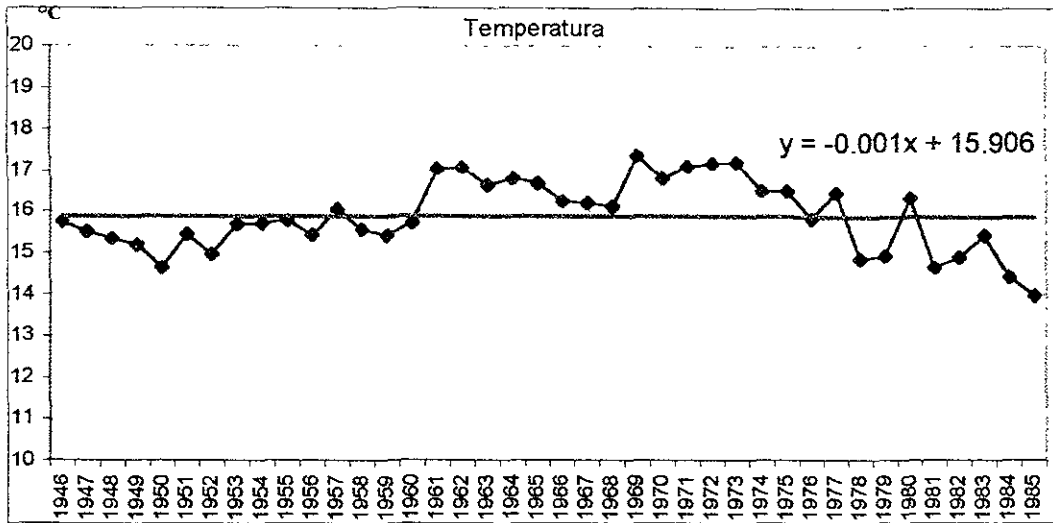
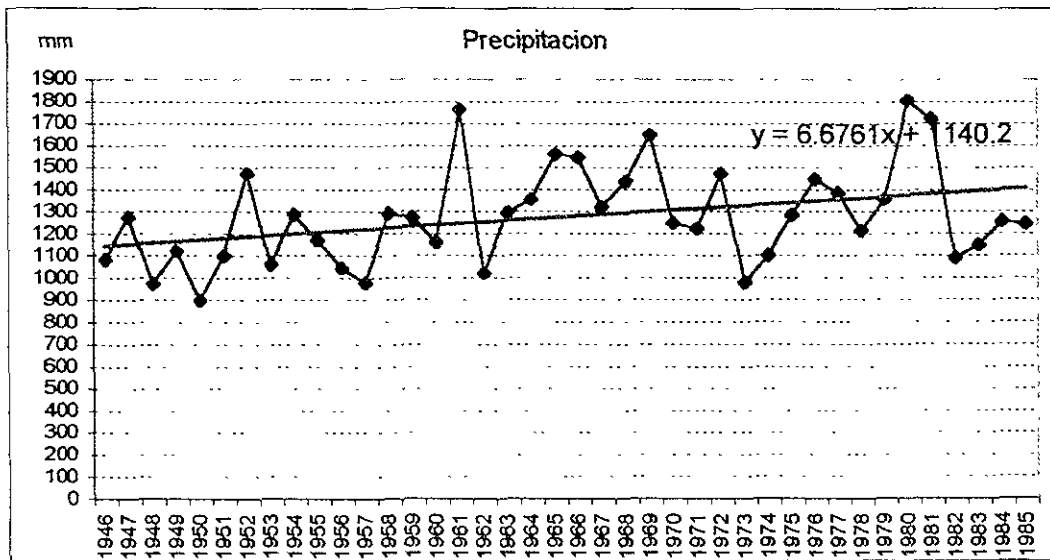


Figura 17 a)



Línea de tendencia

Figura 17 b)

## Discusión de la información y tendencias

Al analizar a la RCM se encontró que en las dos primeras áreas, Popocatepetl e Iztaccihuatl, hay la tendencia hacia el aumento de temperatura y disminución de la lluvia; las variaciones de temperatura y precipitación son marcadas y tienen la influencia de los gases de invernadero que existen en la zona derivados de la operación industrial, la actividad del volcán Popocatépetl, así como otras labores, provenientes de la actividad humana como la urbanización, que asimismo van en aumento, como a continuación se explica.

La contribución regional de México al efecto invernadero del planeta por emisiones industriales y deforestación era de 1% en 1987. En 1990, México contribuyó con cerca del 2% de las emisiones globales, según SEMARNAP (1997). Según Jáuregui (1992), el efecto de la urbanización sobre la temperatura, es de calentamiento del aire por causa de la isla de calor, y se hace esto evidente en ciudades que crecen rápidamente como la de México.

Las mayores emisiones de gases de efecto invernadero en México en 1990 fueron, de bióxido de carbono 96.4%, monóxido de carbono 2.4%, metano 0.8% y otros 0.4% (miles de toneladas)<sup>2</sup> Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con el uso de la energía aumentaron 14.1% entre 1987 y 1993. Las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO y CH<sub>4</sub> se incrementaron en 19.8, 35.6 y 30.7% respectivamente, mientras que las

---

<sup>2</sup> Fuente Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP

emisiones de NO<sub>2</sub> aumentaron en 6% debido al creciente consumo del combustóleo en los sectores industrial y del transporte.

En las emisiones por sector, el de los transportes representa el 32% de las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles, seguido por el de generación de electricidad (23%) y la industria (22%). El transporte es el principal contribuyente a las emisiones de NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> y CO. Las emisiones equivalentes a CO<sub>2</sub> debidas a cambios de usos del suelo, representaron 26.8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.

En la zona Pico de Orizaba las tendencias de la temperatura y la precipitación son distintas a los de las otras, aledañas a los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl, lo anterior puede ocurrir debido a su ubicación en un lugar con menos urbanización e industrias que las anteriores así como a la influencia que pueda tener el Golfo de México y sus características climáticas. Jáuregui (op.cit.) dice que en poblaciones menores a 50 000 habitantes, los cambios de temperatura semejan a los reportados a escala global, calentamiento antes de los años cuarenta y enfriamiento después de los sesentas / setentas, como se puede constatar en la figura 17 a.

Un factor también concerniente a la variabilidad interanual del clima en todo nuestro país es el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual perturba los regímenes de lluvia de verano e invernales. Basta recordar que para



la mayor parte de la RCM, se define un clima templado con invierno seco además de pequeñas zonas de clima semiárido donde las lluvias son deficientes.

Se ha encontrado<sup>3</sup> que en el invierno de años donde hay ENOS, en la zona centro del país existe una mayor ocurrencia de frentes fríos y lluvia, aunque el impacto de dicho fenómeno no siempre es igual, principalmente cuando se analizan los cambios a nivel regional, estas diferencias en la precipitación de invierno dependen mucho de cómo está conformada la actividad convectiva anómala en el Océano Pacífico central.

En tanto que en el verano las lluvias disminuyen de tal modo que se presenta la sequía en una gran parte del país, incluyendo a la RCM; también se ven aumentados el número de huracanes en las costas del Pacífico y se cree que hasta su intensidad puede verse afectada. Además durante los años en que se manifiesta el fenómeno de La Niña todo este sistema tiende a cambiar.

En toda la RCM en conjunto, la temperatura muestra en años anteriores a 1960 que la mayoría de los datos están por abajo de la media, de ahí hasta 1974 están por arriba, posteriormente disminuyen hasta 1986, para luego aumentar hasta 1998, además de encontrarse encima del promedio en este último periodo, prevalece una notable variación de la temperatura durante todo el tiempo estudiado.

---

<sup>3</sup> Según un estudio del centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, hecho por Magaña(1997).

Las variaciones de la precipitación son también muy notorias aunque siempre hay una tendencia a disminuir, para años anteriores a 1944 la mayor parte de los datos están por arriba del promedio así como de 1964 a 1970, los demás datos en su mayoría son mas bajos que la media.

La temperatura anual muestra una tendencia a aumentar y la precipitación anual a disminuir, ambas para el periodo que va desde 1922 hasta 1998, como se puede observar en las siguientes gráficas ( figuras 18 y 19).

17

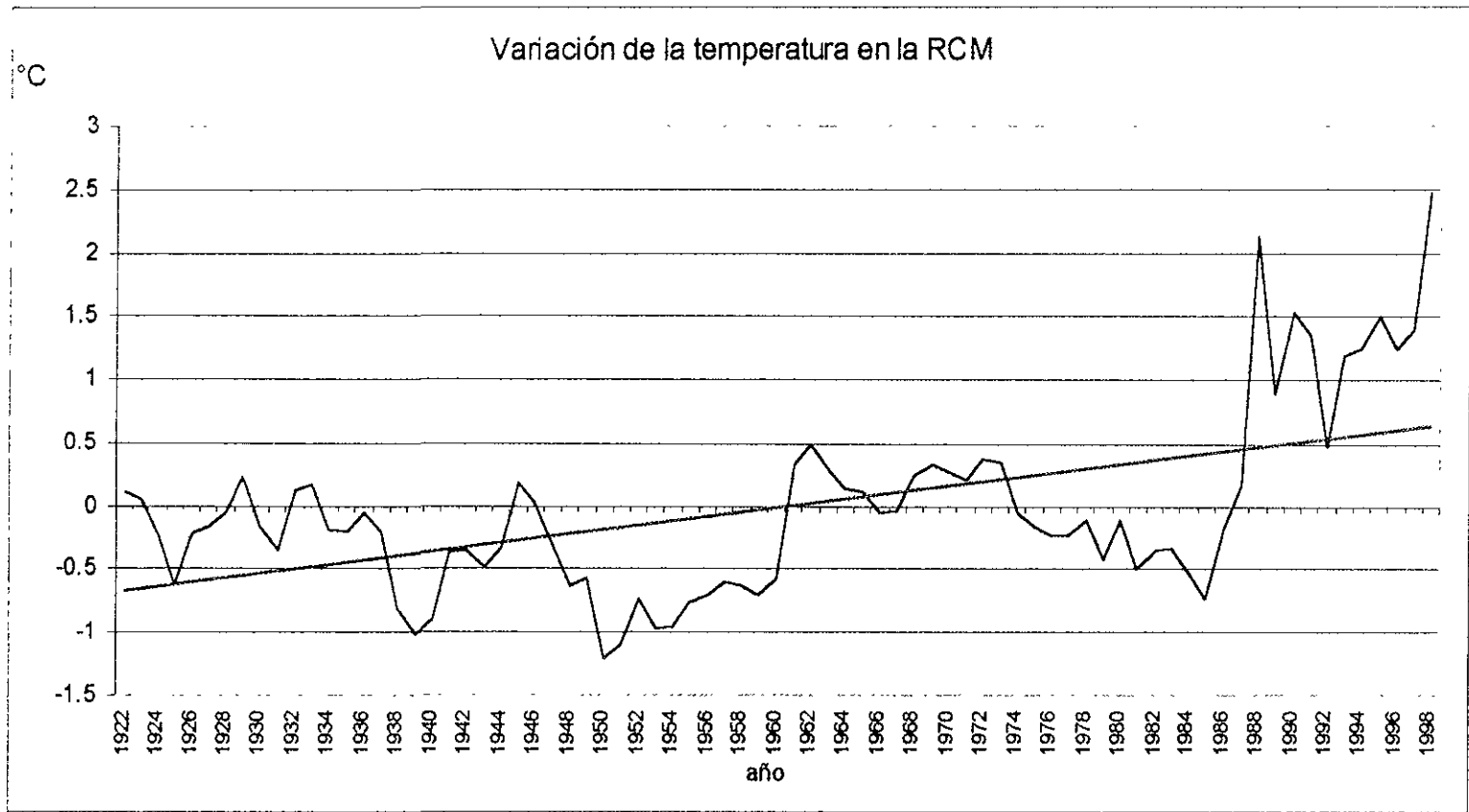


Figura 18

Línea de tendencia

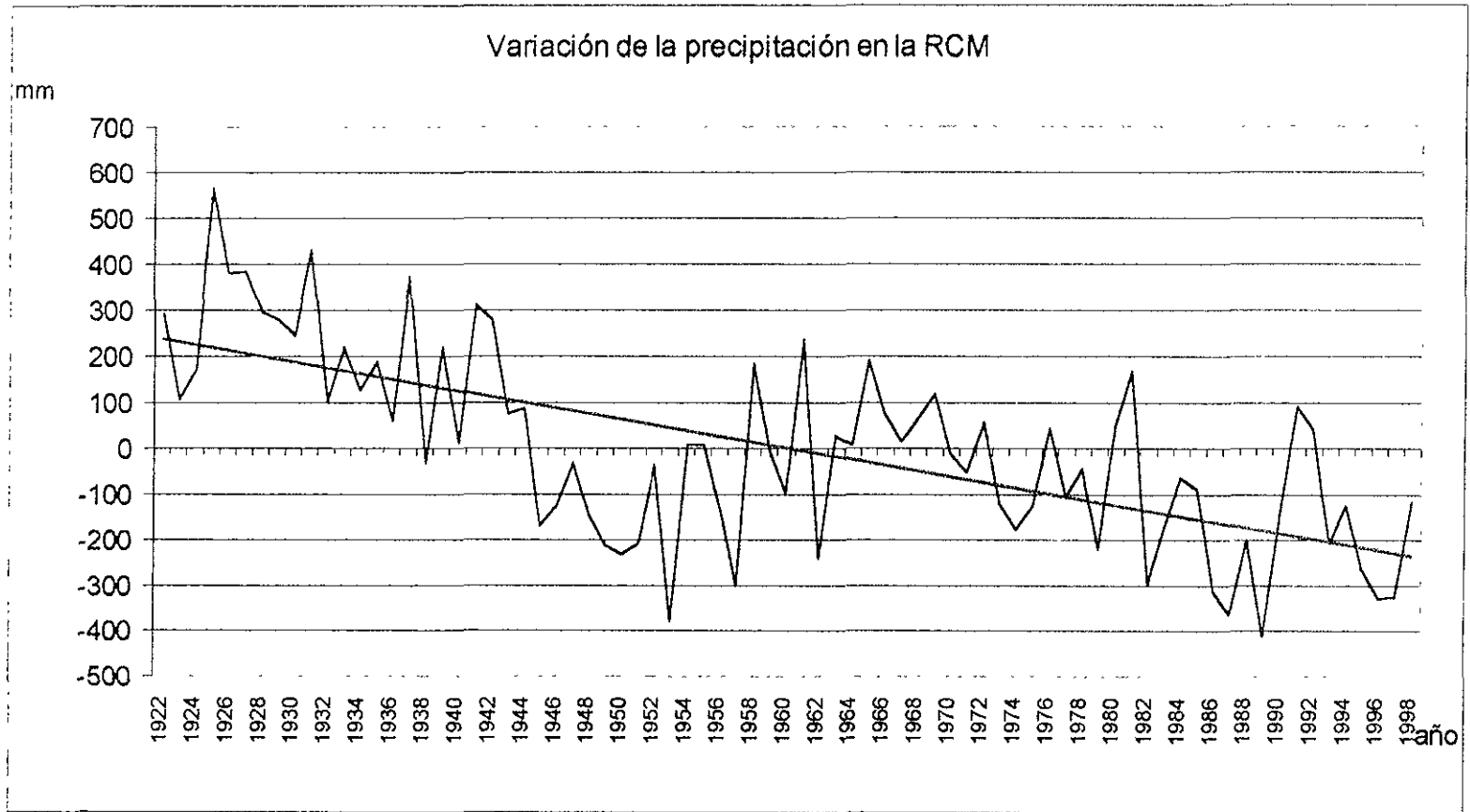


Figura 19

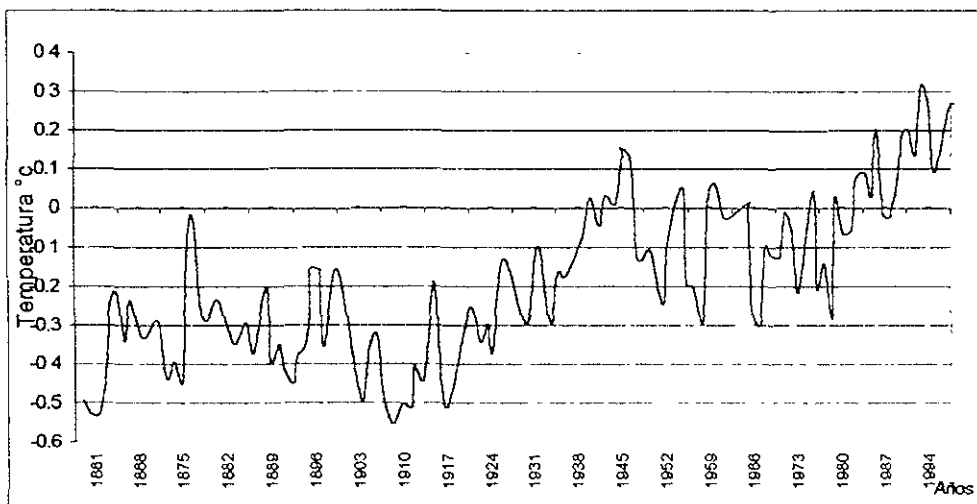
Línea de tendencia

## 4.2 Comparación entre las variaciones climáticas regionales y globales.

El siglo XX se caracterizó por una tendencia hacia el calentamiento del clima (no obstante que esto no ha sido uniforme para todos los lugares) en distintos trabajos se menciona que el aumento de temperatura va desde casi medio grado hasta tres grados (Greenpeace 1994, Sánchez 1992, Tejeda 1998, etc).

El apartado anterior, donde se explican las variaciones de temperatura y precipitación para toda la RCM, tiene relación con los reportes de la variación de la temperatura a nivel global como se muestra en la figura 20, siguiente, publicada por el World Resources Institute en 1992, que abarca el periodo de 1861 a 1994, donde la elevación de la temperatura promedio mundial es de  $0.3^{\circ}\text{C}$  por década.

Figura 20 Variación de la temperatura global.



Fuente: World Resources Institute, 1992. Atmósfera y Clima, Washington D C

En la figura anterior, se muestra que en los últimos 20 años a partir de la década de 1980 la temperatura, además de elevarse, siempre se encuentra por arriba del promedio.

Galindo (1992) en su trabajo sobre cambios climáticos regionales como componentes del cambio climático global, menciona que existe un calentamiento atmosférico<sup>4</sup> de 0.2°C por cada 10 años, con el aumento de temperatura, se encuentran incrementos de 39 mm por década en la precipitación total anual<sup>5</sup>.

La media de la temperatura superficial del aire se ha incrementado entre 0.2 y 0.3 grados centígrados, en los últimos 40 años, aunque el incremento de la temperatura no es similar en todo el planeta. México se clasifica entre los 15 países con mayores emisiones de gases de efecto invernadero<sup>6</sup>.

A nivel mundial, el ascenso de la temperatura durante la primera mitad del siglo alcanzó su valor más alto por los años cuarenta, mientras que hasta finales de los años setenta, (es decir, durante casi 40 años), la temperatura se mantuvo inhabitualmente baja y sólo en el decenio de 1980 volvió a aumentar.

---

<sup>4</sup> Su estudio lo hace de cambios climáticos que se observan en ciudades como Monterrey, México, Guadalajara y Acapulco.

<sup>5</sup> Morales(1998), menciona para la ciudad de Toluca, una elevación de 0.3 grados relacionada con el deterioro ambiental.

<sup>6</sup> según SEMARNAP,1997

En síntesis, la región de estudio se encuentra en la zona mas urbanizada y contaminada del país, existen variaciones en la temperatura y precipitación, en este contexto, los glaciares han tenido también variaciones en su tamaño.

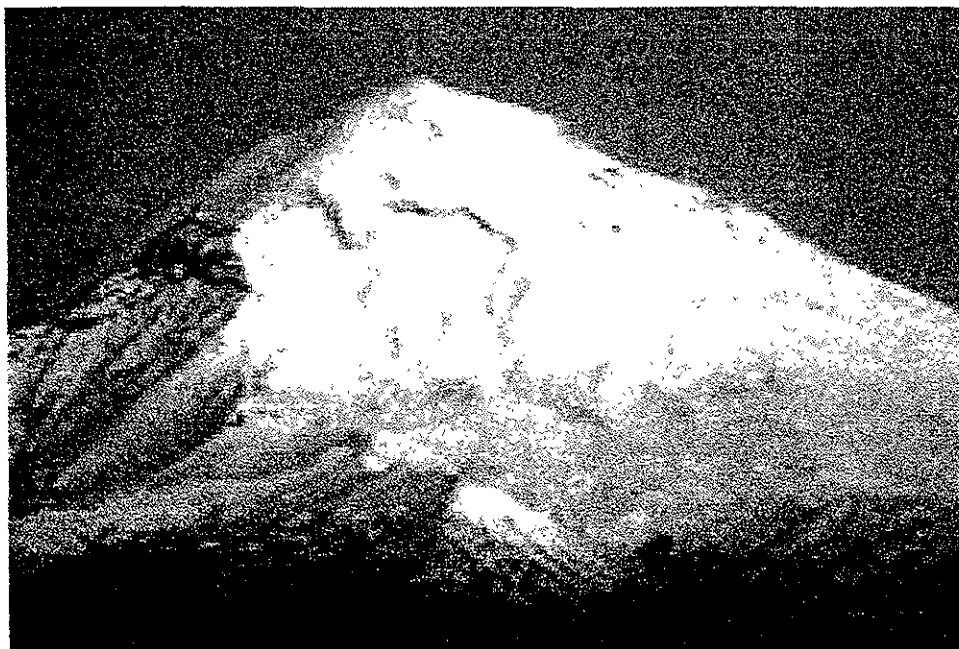


Figura C Uno de los glaciares de la región de estudio.

### **4.3 Los glaciares en la RCM y el cambio climático global.**

Los glaciares como masas de hielo en movimiento que son, responden a las condiciones de precipitación y temperatura para su crecimiento, retroceso y permanencia lo cual significa que las tendencias climáticas se verán reflejadas notoriamente en los glaciares.

Alrededor del mundo se han hecho varios estudios glaciológicos, que mencionan que con las tendencias generales del cambio climático en los últimos 100 años, también ha cambiado la glaciación de montaña. Según Kotlyakov (1994), el último aumento de los glaciares de montaña, que marcó el final del Pequeño Período Glacial, se produjo en los decenios de 1850 a 1870, y pasado ese período los glaciares empezaron a retirarse constantemente, proceso sólo interrumpido por breves expansiones. Se produjeron avances reducidos con particular frecuencia en los decenios de 1910 y 1920, debido a cierto aumento de las precipitaciones coincidente con un calentamiento climático insuficiente. Los años treinta y especialmente los cuarenta se caracterizaron por una retirada muy extensa de los glaciares de montaña, al alcanzar en ese período las temperaturas estivales valores máximos y al disminuir algo las precipitaciones.

El régimen de la glaciación de montaña empezó a modificarse en el mundo, de manera apreciable a partir de finales del decenio de 1950. Aunque el número de glaciares en expansión en los Alpes en los años cuarenta fue casi nulo, a mediados de los años sesenta casi el 30% de todos los glaciares objeto de estudio



en los Alpes estaban progresando (a mediados de los años setenta el porcentaje era de casi 55%). En el Cáucaso, en los años sesenta, las velocidades de retirada de los glaciares se redujeron en 2.5 veces, mientras que las velocidades del movimiento de los glaciares aumentó de 1.5 a 2 veces, y muchos glaciares empezaron a extenderse.

Los glaciares escandinavos impusieron un intercambio positivo de masa en los años sesenta y la actividad de los glaciares de las montañas de América del Norte y de Alaska se intensificó. La retirada de los glaciares de Asia central se hizo más lenta y algunos glaciares empezaron a extenderse en esa región. El cambio de régimen de los glaciares se reflejó en fluctuaciones de la escorrentía causada por la fusión de la nieve de las regiones de los glaciares de montaña que aumentó en un 10% desde finales del siglo XIX hasta el decenio de 1930 para volver a disminuir en el 5% hacia los años setenta (Kotlyakov 1994).

Los glaciares de todo el mundo se encuentran actualmente en retroceso debido a los cambios climáticos importantes de carácter global. Los glaciares de nuestro país son, por sus características especiales (tamaño, posición, forma y actividad volcánica), sumamente sensibles a los cambios climáticos. Como menciona Delgado (1995) la desaparición de los glaciares constituiría un desastre ambiental de gran impacto y se originaría (o aceleraría) la desertificación con sus respectivas consecuencias.

La existencia de áreas glaciadas en México se debe a la altitud que alcanzan los volcanes de más de 5000 msnm donde se encuentran temperaturas muy bajas, especialmente en las caras que dan al norte, además de su gran atractivo estético, son los glaciares muy importantes en el proceso de la recarga de los acuíferos de las zonas que los rodean, así como en la estabilización de las condiciones ecológicas especiales de esas pequeñas zonas con características únicas en México.

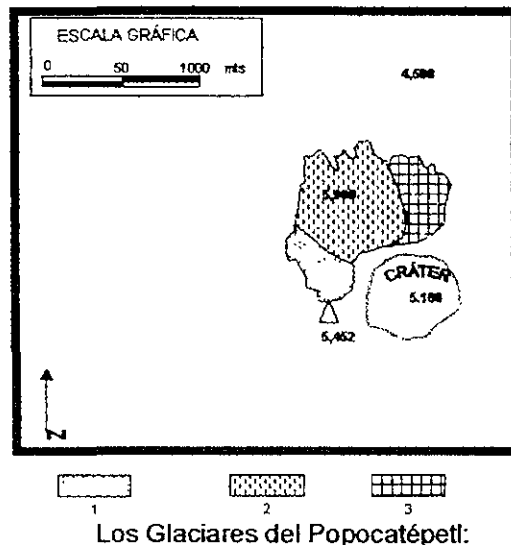
Pero los glaciares también pueden representar cierto peligro en los volcanes que se encuentran en actividad, como el Popocatepetl y el Pico de Orizaba, pudiéndose combinar esta actividad con el glaciar y generar flujos de lodo o de detritos( lahares), así como otros flujos asociados con glaciares.

Los glaciares en México han sido estudiados por varios autores, (aunque sobresalen las referencias a los glaciares del volcán Popocatepetl), entre los que se encuentra el trabajo de J. L. Lorenzo (publicado en 1964), quien hizo el primer inventario de glaciares en México y menciona que el total de las áreas cubiertas por hielo es de cerca de 11.5 km<sup>2</sup>, distribuidos en el Pico de Orizaba 9.50 km<sup>2</sup>, Popocatepetl 0.72 km<sup>2</sup> e Iztaccihuatl 1.21 km<sup>2</sup>.

Los glaciares del Popocatepetl se hallan en la ladera norte del volcán, según Lorenzo en 1964, existen tres glaciares: el del Ventorrillo o Teopixcalco, el Norte y el Noroccidental, en su conjunto abarcan un área de 720 000 m<sup>2</sup>. (Figura 21).

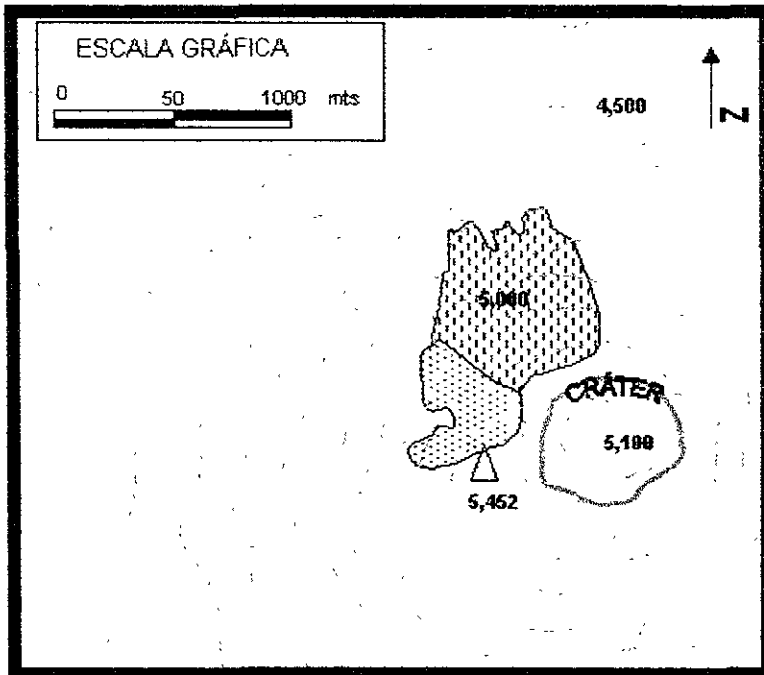
Trabajos más modernos de Delgado y Brugman (1995) y Delgado (1997) reportan la existencia de sólo dos glaciares: el del Ventorrillo y el Noroccidental; el área total glaciada para 1982 fue 0.559 km<sup>2</sup>, (figura 22), que comparada con el área total reportada en 1964, de 0.720 km<sup>2</sup> resulta en una pérdida de 0.161 km<sup>2</sup> (cerca del 22%). El mismo autor reporta un retroceso espectacular entre 1920- 1921, y un avance de los glaciares entre 1968 y 1978. El porcentaje promedio de retroceso entre 1906 y 1968 fue cercano a 7 m/año. El avance entre 1968 y 1978 fue de 10 m/año, y el repentino retroceso del glaciar en 1978-1982 fue de 40 m/año, (cerca de 6 veces el porcentaje de retroceso entre 1906 y 1968), entre 1982 y 1995 la tasa de retroceso fue de 7.6 m/año. Se puede comparar, en las siguientes figuras la diferencia de tamaño en el glaciar en dos épocas distintas.

Figura 21. mapa que muestra los glaciares cartografiados por J L Lorenzo en 1964.



- 1.. Glaciar Noroccidental 2. Glaciar del ventorrillo. 3. Glaciar Norte.

Figura 22 Mapa publicado por H. Delgado en 1997



Glaciares del Popocatépetl: 1. Glaciar Noroccidental 2. Glaciar del ventorrillo

Basado en un análisis de fotografías aéreas, documentos y observaciones en campo y tomando a la masa glacial como una sola, un autor determina las variaciones del límite tanto inferior como superior, de los glaciares del Popocatépetl, en épocas distintas y su retroceso en el tiempo hasta 1954, este autor, Palacios<sup>7</sup>, asimismo establece el avance máximo que tuvieron los glaciares del Popocatépetl en la pequeña edad de hielo (siglos XVI y XVII). Dichas transformaciones se muestran en las figuras 23 y 24, que a su vez sirven de punto de comparación para mostrar el retroceso de los glaciares en las últimas décadas.

<sup>7</sup> Citado por Gómez (1998)

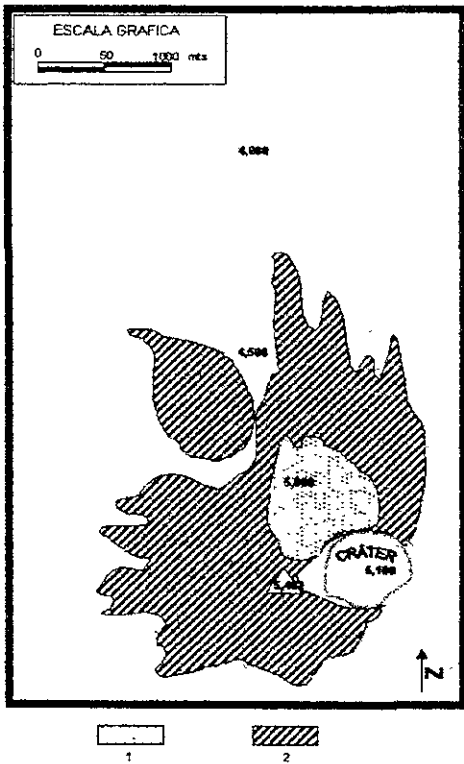
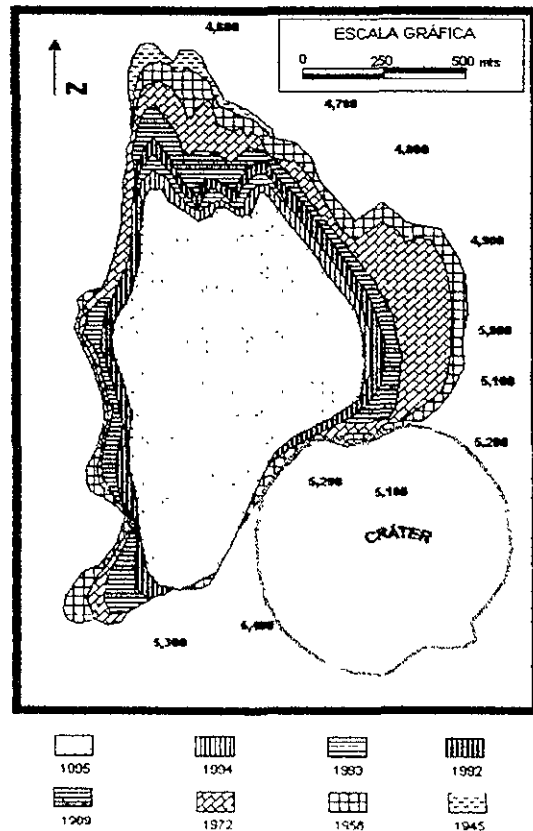


Figura 23 . Avance de los glaciares del Popocatépetl en la Pequeña Edad del Hielo (s. XVI y XVII).

1. Glaciar actual del Popocatépetl.
2. Extensión máxima de los glaciares en la pequeña Edad de hielo.

Figura 24

Transformación reciente del glaciar del Popocatépetl



Fuente: Gómez (1988).

El Iztaccihuatl es la tercer montaña más alta del país, según Lorenzo (1964) se señalan referencias a los glaciares del Iztaccihuatl desde 1781, aunque no se menciona el área total de las zonas cubiertas por nieve en trabajos anteriores a éste, se habla de que en el pasado pudo haber existido una masa glacial más grande de la que Lorenzo reporta y que debió cubrir al volcán por completo.<sup>8</sup>

Blázquez(1961), citado por Guillén(1996), calcula los espesores medios de nieve y hielo, y volúmenes de esos depósitos, en las cumbres del Iztaccihuatl, él concluye que el límite de las nieves no tiene una frontera fija a esas altitudes, mientras que los mantos de hielo tienen un límite inferior relativamente estable.

White(1962) menciona que los depósitos glaciales mas antiguos, en el lado oeste del volcán, llegaron a alcanzar los 2450 msnm, lo cual implica que allí hubo un área considerable de glaciación, también presenta un mapa con los límites de los depósitos glaciales adjudicados a la ultima glaciación cuaternaria durante el Pleistoceno tardío, donde se muestra el retroceso de los glaciares.

Posteriormente Heine (1973,1983,1988), citado por Guillén (1996), realiza investigaciones de morfología glacial en el volcán la Malinche, y correlaciona sus resultados con otras montañas del centro de México, su aporte principal es el conocimiento de las características climáticas que prevalecieron durante las etapas glaciales en los últimos cuarenta mil años.

---

<sup>8</sup> También se señala que el deterioro de los glaciares ha hecho que se abandonen rutas de ascenso al volcán

Vázquez (1991) realiza estudios glaciales del volcán Teoyotl (que forma parte del conjunto volcánico del Iztaccihuatl) y presenta evidencias de tres fases de glaciación.

Las superficies glaciadas del Iztaccihuatl, se distribuyen en la dirección Norte-Sur<sup>9</sup> son denominadas glaciar del Cuello, glaciar de Ayolotepito, glaciar Nororiental,

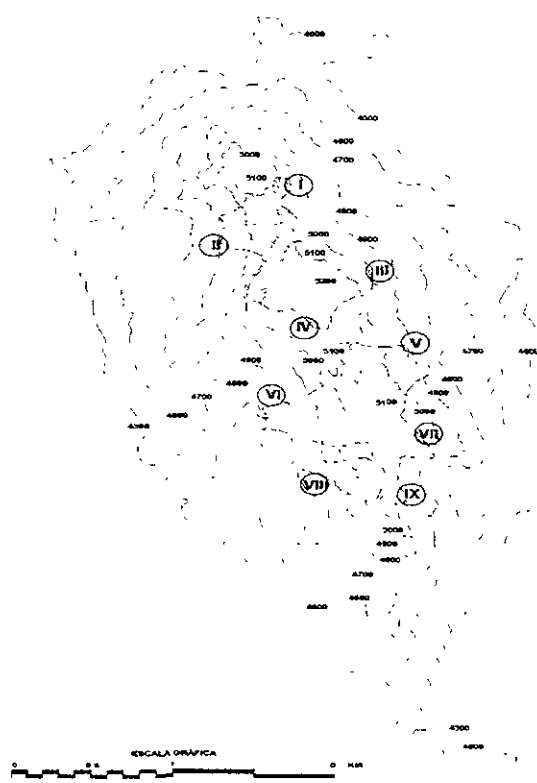


Figura 25. mapa que muestra los glaciares cartografiados por J L Lorenzo en 1964

- I. Glaciar del cuello.
- II. Glaciar de Ayolotepito.
- III. Glaciar Nororiental.
- IV: Glaciar del Pecho.
- V. Glaciar Centro-Oriental.
- VI. Glaciar de Ayoloco.
- VII. Glaciar Suroriental.
- VIII. Glaciar Atzintli.

glaciar del Pecho,

glaciar Centro-

oriental, glaciar de Ayoloco, glaciar Sudoriental, glaciar Atzintli y glaciar de San

Agustín, el total de área cubierta por hielo para 1964, es de 1, 210, 000 m<sup>2</sup>.

(Figura 25).

<sup>9</sup> En el texto se menciona que los glaciares que se desarrollan hacia el lado Oeste son los más grandes, lo contrario de los otros volcanes cuyas áreas de glaciares dan hacia la ladera norte

El Pico de Orizaba es el volcán más alto de la RCM con 5675 msnm, Waitz en 1910 y Blázquez en 1957 mencionan en sus trabajos ciertos aspectos de los glaciares, ambos citados por Lorenzo (1964), quien describe las zonas glaciadas del Pico de Orizaba ubicadas sobre todo en la parte norte del cono superior, abarcando un área total de 9.5 km<sup>2</sup>, el mismo autor menciona la existencia de varios glaciares en el Pico de Orizaba: el glaciar Oriental y el Gran Glaciar Norte, además, como parte de este último, sus lenguas: glaciar de Jamapa, lengua del Chichimeco, glaciar del Toro, glaciar de la Barba, glaciar Noroccidental, glaciar Occidental, y glaciar Suroccidental. (Figura 26).

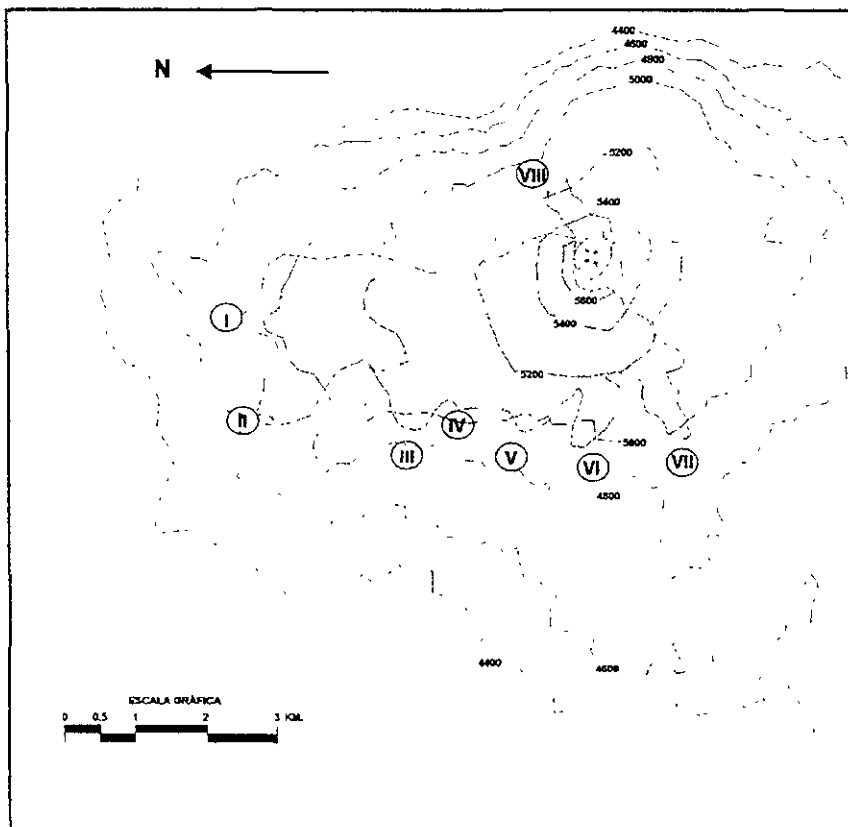


Figura 26. mapa que muestra los glaciares cartografiados por J L Lorenzo en 1964  
I. Lengua del Chichimeco. II. Lengua Oeste de Jamapa. VL. Glaciar Occidental. VII. Glaciar Suroeste. VIII. Glaciar Oriental



En el momento en que se completó la elaboración de la presente tesis no se encontraron más datos, actualizados, sobre la reducción y aumento en el tamaño de los glaciares existentes en el Iztaccihuatl y en el Pico de Orizaba, por lo que no es posible mostrar las variaciones en sus glaciares, y en consecuencia hacer una comparación con las variaciones climáticas ocurridas en la RCM.

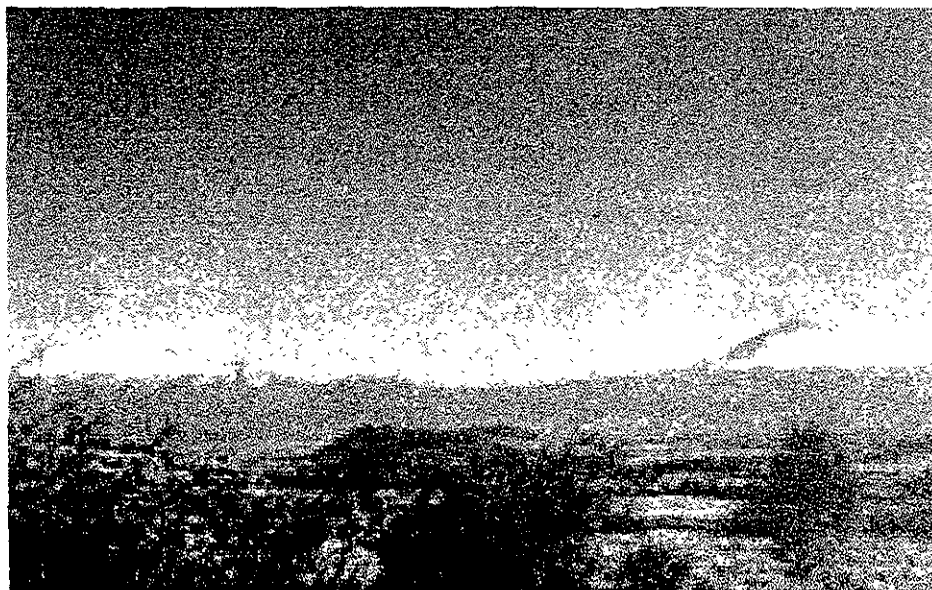


Figura D Los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl vistos por el lado occidental.

## CONCLUSIONES

El clima por naturaleza siempre ha sido variable pero debido a diversos factores ya mencionados en los años últimos esta variabilidad se ha visto acentuada, para la región de estudio en conjunto se ha notado que la temperatura aumenta y las lluvias no aparecen con un régimen constante, sino que presentan una serie de variaciones en los distintos años pero con una tendencia general a disminuir. Esta tendencia de aumento gradual de la temperatura, combinada con la disminución de la precipitación, son, junto con otros factores, las responsables de las modificaciones del tamaño de los glaciares mexicanos, pues los glaciares revelan ser vulnerables al cambio climático.

Sin, por supuesto, olvidar las demás causas que pueden ocasionar, en la zona, el retroceso y adelgazamiento de los glaciares como la actividad que se ha dado en los últimos años del Popocatepetl, que puede ocasionar por calentamiento, el aceleramiento de la fase regresiva del ciclo glacial, que indica la reducción de la superficie glaciada hasta su extinción total en la RCM, lo cual sería una importante pérdida que afectaría a su entorno natural.

El estudio de la temperatura y precipitación, así como su evolución en el tiempo, resultaron esenciales para el reconocimiento de las variaciones en el clima de la Región Central de México, así como para establecer su relación con el cambio climático en el ámbito global, (y de haber existido la suficiente información

glaciológica) el identificar los efectos del cambio climático de forma más detallada en todos los glaciares de la RCM.

En cuanto al presente trabajo se puede afirmar que el cumplimiento de los objetivos se realizó parcialmente debido a la insuficiencia de datos de origen climatológico y glaciológico, lo cual dificultó el establecimiento de parámetros de comparación a nivel global y con las variaciones climáticas y los glaciares de la región, aunque por otro lado, no se descarta la idea de continuar el estudio en el futuro.

Con el conocimiento de que las actividades humanas tienen un efecto adverso sobre el clima, de modo tal que la temperatura tiende a aumentar y la precipitación a disminuir, es importante el tratar de reducir la emisión de los gases de efecto invernadero, previniendo una mayor concentración de éstos en la atmósfera y sus repercusiones sobre la Tierra.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, M. (1989) Las ciudades mexicanas en la última década del siglo XX. UAM Xochimilco. México, pp. 39-41.

Arenas, V. (1992) Ecosistemas de surgencia. Ciencia num.43, número especial, México, pp. 91-95.

Argeñal F. Calentamiento global y cambio climático. <http://ns.sdnhon.org.hk>.

Ayllón, T. (1977) El Observatorio Meteorológico. Escuela Normal Superior, México, pp. 9.

Barberan, J. (1992) Calentamiento global y océano. Ciencia, num.43, número especial, México, pp.97-101.

Biassi, B. (1997) Fluctuaciones Climáticas em Cabo Frio. Revista do departamento de geografia, num.11, Humanitas Publicações. FFLCH/USP Sao Paulo, p.p. 95.

Bravo, A. H. (1992) Ozono y lluvia ácida en la ciudad de México. Revista Ciencias, num. 22, Abril.

Cenapred (1995) El glaciar del Popocatepetl. Prevención núm. 11 junio.

Cervantes, S.O. (1999) El Clima de la Ciudad de México en el siglo XX. IX Congreso Nacional de Meteorología, Universidad de Guadalajara, México. Libro electrónico.

Chacón, R.B. (1993) Aspectos de la influencia del fenómeno del Niño en el clima costarricense. Revista Geográfica de América Central, num. 27. Costa Rica.

Comisión Nacional del Agua, (1996) ERIC (extractor rápido de información climatológica). Coord. de Hidrología, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, libro electrónico.

CONACYT (1976) Fluctuaciones climáticas y su impacto en las actividades humanas. Serie traducciones. CONACYT, México.

Contreras, S.C. (1998) El clima en México en el siglo XIX. Conferencia, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM; México.

De la Lanza G. (1992) El Niño y el cambio climático. Ciencia, num.43, numero especial, México, pp.103-110.

Delgado H. (1997) The Glaciers of Popocatepetl volcano (México): changes and causes. Quaternary International, vol. 43/44, pp. 53-60.

Delgado y Brugman (1995) Monitoreo de los glaciares del Popocatépetl. Volcán Popocatepetl, estudios realizados durante la crisis 1994-1995. CENAPRED-UNAM.

Duran ,V. (1997) Análisis comparativo de los elementos temperatura, presión y precipitación, registrada de manera tradicional y automática en el observatorio meteorológico central de Tacubaya. Colegio de Geografía, FF y L, UNAM.

Espinosa, M. (1998) Bioclimatología urbana en la ciudad de México. Conferencia, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM; México, noviembre.

Escurre, E. (1992) Crecimiento y colapso en la cuenca de México. Revista Ciencias, num. 25. México, enero.

Fernández, F. et al. (1998) Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas. Edit. Parteluz, España.

Fernández P. (1996) Mega ciudades. Revista Nuevo Siglo, num. 222. Año 5 México, 26 de mayo.

García, E. (1989) Apuntes de climatología. UNAM, México.155 pags.

García, E. y Vidal, R. (1981) La tendencia de la precipitación en la parte central de México en los últimos 50 años. *Revista Biótica*, México. pp.103-105.

Galindo, I. (1992) Cambios Climáticos Regionales como Componentes del Cambio climático Global. *Ciencia*, num. 43. México. pp. 21-28.

Guillén M.A. (1996) Geomorfología de la vertiente occidental del volcán Iztaccihuatl. Colegio de Geografía, FF y L, UNAM.

Gómez A. (1998) Análisis geomorfológico del volcán Popocatepetl escala 1:20 000. Colegio de Geografía, Facultad de filosofía y letras, UNAM.

Greenpeace. (1994) Cambio climático una bomba de tiempo. Greenpeace, México, agosto.

INEGI (1984, y 1994) Anuarios estadísticos del D.F. (tomo 1 ), México.

Jáuregui, E. (1995) Algunas Alteraciones de Largo Periodo del Clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización. *Boletín del Instituto de Geografía*, México. Número 31.

Jáuregui, E. (1968) Mesoclima de la región Puebla-Tlaxcala. Instituto de Geografía, UNAM; México.

Jáuregui, E. (1992) Aspects of monitoring local/regional climate change in a tropical region. *Atmosfera* ,5, pp.69-78.

Jáuregui, E., (1996) Aspectos climatológicos del papel de las instituciones académicas en la investigación del cambio global. La situación ambiental de México. PUMA. UNAM; México.

Jáuregui, E. (1997) Climate variability and climate change in Mexico: a review. *Geofísica Internacional*. Vol.36, num. 3, pp.201-205.

Jáuregui, E.(1997) Climate changes in México during the historical and instrumented periods. *Quaternary International*, vol. 43/44, pp.7-17

Kotlyakov V.M. El Cambio Climático y el Futuro del entorno humano. [www.unesco.org/issn/rics.150.html](http://www.unesco.org/issn/rics.150.html)

Lombardo, M. A. (1994) Mudanças Climáticas Recentes e Acao Antropica. Revista do departamento de geografia, num. 8, USP, Brasil. pp. 29.

Lorenzo, J.L. (1964) Los Glaciares de México. Monografías del instituto de Geofísica, UNAM. México.

Lugo. J. (1989) Diccionario Geomorfológico. Universidad Nacional Autónoma de México. 337 pags.

Magaña, et al. (1997) El fenómeno de El Niño y la Oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México. Depto. de Meteorología General, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM; México.

Mosiño, P. y Morales, T. (1988) Los ciclones tropicales, El Niño y las lluvias en Tacubaya D.F. Revista Geofísica Internacional, vol. 27, México. pp. 71-82.

Morales, J. (1976) Tres climas, una ciudad. Revista Siete, Vol. 12, num. 81, mayo.

Morales, C. (1998) El clima urbano en la ciudad de Toluca. Conferencia, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM; México, noviembre.

Ortega S., Nava M. y Cruz F. (1997) Fluctuaciones y efectos climáticos en la región de la Cuenca del Valle de México. En memorias del XIV Encuentro Nacional de Estudiantes de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Ortega J. (1995) Cambio global: la paleoclimatología y los modelos climáticos. GEOUNAM. Vol. 2, N°4, mayo.

Pérez, E. (1998) El medio geográfico del D. F. Geografía Boletín informativo num. 32 C U. México.

Pomúa (1993). Nuevo Atlas de la República Mexicana. México.

Sánchez, A. (1992) Cambios climáticos globales en el Norte de México, el caso del agua. Ciencia, num. Especial 43. México, pp.121-127.

SEMARNAP, INE (1997) Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México.

Tarifa, J.R. (1994) Alteracoes Climaticas Resultantes da Ocupacao Agricola no Brasil. Revista do Departamento de Geografia, num. 8, USP, Brasil. pp. 15.

Tejeda, A. (1998) Importancia del cambio climático en el bioclima humano en México. Conferencia, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM; México, noviembre.

UNESCO (1998) Studies and reports in hydrology 56. ONU, France.

Vázquez, L. (1991) Glaciaciones del cuaternario tardío en el volcán Teoyotl, Sierra Nevada. Investigaciones geográficas, num. 22. UNAM, México.

Velasco H.(1991) Las Zonas Áridas y Semiáridas. LIMUSA. pp.154.

White S.(1962) El Iztaccihuatl acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno superior. ENAH, México.

Whittow J.B. (1988) Diccionario de Geografía Física. Alianza Editorial S.A. Madrid.

## Cartografía

CETENAL Cartas de climas. Esc. 1:250, 000.

García, E. (1980) Mapa de climas IV.4.10. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM. México.

INEGI (1984) Mapa de Uso del suelo. Atlas Nacional del Medio Físico.



INEGI (1984) Mapa Topográfico. Atlas Nacional del Medio Físico.

SEMARNAP-INEGI (2000) Mapas de cubierta vegetal, Inventario Nacional de recursos Forestales. E14-2 Ciudad de México, E14-3 Veracruz. Esc. 1:250 000.

## INDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1 .Topografía y localización de la Región Central de México. . . . .	.24
Figura 2. Uso de suelo y vegetación en la Región Central de México en 1984 . . . . .	28
Figura 2 a.Uso de suelo y vegetación en la Región Central de México en 2000 . . . . .	.29
Figura 3. Climas en la Región central de México. . . . .	.31
Figura A. Esquema de la RCM . . . . .	.35
Figura B. Estaciones meteorológicas de la Región Central de México. . . . .	.38
Figura 4. Estación Amecameca, gráfica de precipitación anual . . . . .	39
Figura 4 a. Estación Amecameca, gráfica de temperatura anual. . . . .	.39
Figura 5. Estación Río Frío, gráfica de precipitación anual. . . . .	.41
Figura 5 a. Estación Río Frío, gráfica de temperatura anual . . . . .	.41
Figura 6. Estación San Rafael, gráfica de precipitación anual. . . . .	.43
Figura 6 a. Estación San Rafael, gráfica de temperatura anual. . . . .	.43
Figura 7. Estación Nepantla, gráfica de precipitación anual . . . . .	.45
Figura 7 a. Estación Nepantla, gráfica de temperatura anual. . . . .	.45
Figura 8. Estación Tlalchichuca, gráfica de precipitación anual. . . . .	.47
Figura 8 a. Estación Tlalchichuca, gráfica de temperatura anual . . . . .	.47
Figura 9.Estación Huejotzingo gráfica de precipitación anual. . . . .	.49
Figura 9 a. Estación Huejotzingo gráfica de temperatura anual. . . . .	.49
Figura 10. Estación Atlixco, gráfica de precipitación anual. . . . .	.51

Figura 10 a. Estación Atlixco, gráfica de temperatura anual . . . . .	.51
Figura 11. Estación Ciudad Serdán gráfica de precipitación anual . . . . .	.53
Figura 11 a. Estación Ciudad Serdán gráfica de temperatura anual. . . . .	.53
Figura 12. Estación Orizaba, gráfica de precipitación anual . . . . .	.55
Figura 12 a. Estación Orizaba, gráfica de temperatura anual. . . . .	.55
Figura 13. Estación Coscomatepec, gráfica de precipitación anual. . . . .	.57
Figura 13 a. Estación Coscomatepec, gráfica de temperatura anual. . . . .	.57
Figura 14. Estación Tacubaya, gráfica de precipitación anual. . . . .	.59
Figura 14 a. Estación Tacubaya, gráfica de temperatura anual. . . . .	.59
Figura 15. Graficas del área circundante al volcán Popocatepetl , datos anuales: a) temperatura, b) precipitación. . . . .	.62
Figura 16. Gráficas del área circundante al volcán Iztaccihuatl, datos anuales: a) temperatura, b) precipitación. . . . .	.64
Figura 17. Gráficas del área circundante al Pico de Orizaba, datos anuales: a) temperatura, b) precipitación. . . . .	.66
Figura 18. Variación de la temperatura en la RCM. . . . .	.68
Figura 19. Variación de la precipitación en la RCM. . . . .	.69
Figura 20. Variación de la temperatura global . . . . .	.73
Figura C Uno de los glaciares de la región de estudio. . . . .	.75
Figura 21. Mapa que muestra los glaciares del Popocatepetl cartografiados por J L Lorenzo en 1964. . . . .	79
Figura 22. Mapa publicado por H. Delgado en 1997 . . . . .	.80

Figura 23. Avance de los glaciares del Popocatépetl en la Pequeña Edad del Hielo (s. XVI y XVII). . . . . .81

Figura 24. Transformación reciente del glaciar del Popocatépetl. . . . .81

Figura 25. Mapa que muestra los glaciares cartografiados por J L Lorenzo en 1964, del volcán Iztaccihuatl. . . . . 82

Figura 26. Mapa que muestra los glaciares cartografiados por J L Lorenzo en 1964 del Pico de Orizaba. . . . . 84

Figura D Los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl vistos por el lado occidental 85



FACULTAD DE CIENCIAS Y LETRAS  
 COLEGIO DE BACHILLERES