

01059

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN GEOGRAFIA
AMBIENTAL**

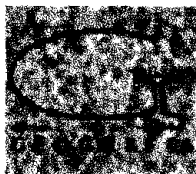
**TESIS
DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DEL AGUA EN TLAXCALA PARA USO
AGRÍCOLA ANTE EL CAMBIO CLIMATICO**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN GEOGRAFIA AMBIENTAL
PRESENTA:
ANAYATZIN SAGRARIO MENDOZA CASTRO**

TUTOR: DR. VICTOR M. MENDOZA

COTUTOR: DRA. LAURA MADEREY RASCON

LINEA DE INVESTIGACIÓN: CLIMATOLOGÍA



m 340422

Enero del 2005



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.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Anayatzin Sacayano

Mendoza Castro J

FECHA: 2010/10/05

FIRMA: [Firma manuscrita]

***A mi hijo Ariel.....
porque eres la razón por la cual lucho día con día***

***A mi esposo Juan Ariel.....
por ser mi sostén en los momentos más difíciles***

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Víctor M. Mendoza por la dirección de esta tesis, la cual no hubiera sido posible sin su apoyo académico, pero sobre todo; gracias por creer en mi papá.

A la Dra. Laura Maderey Rascón por la codirección de está tesis y por ser una finísima persona conmigo.

A la Dra. Teresa Reyna Trujillo, a la Dra. Rosalía Vidal y a la Dra. Cecilia Conde por la revisión de está tesis y a sus comentarios que fueron fundamentales para el enriquecimiento de la misma.

Al Dr. Walter Ritter por su orientación académica en cuanto al cálculo de la humedad del suelo.

A mis padres Beatriz Castro Y Rubén Mendoza por su gran apoyo brindado en toda mi formación académica.

A mi hermana Ana María Mendoza por ser una madre para mi hijo.

Y a mis hermanas Carmen Mendoza y Cristina Mendoza por estar conmigo cuando más las necesito.

INDICE GENERAL

	Pag.
INTRODUCCIÓN.....	01
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	06
1.1.-Justificación.....	07
1.2.-Delimitación del Problema.....	10
1.3.-Objetivos de la Investigación.....	12
1.4.-Supuestos.....	14
1.5.-Metodología.....	15
1.5.1 Metodología Climática.....	15
1.5.2 Metodología Cartográfica.....	20
1.5.3 Metodología de Campo.....	21
CAPITULO II MARCO GEOGRÁFICO DE TLAXCALA.....	22
2.1.-Localización.....	23
2.2.-Clima.....	26
2.3.-Hidrología.....	31
2.4.-Regiones Fisiográficas.....	37
2.5.-Suelos.....	40
2.6.-Vegetación.....	42
2.7.-Agricultura.....	43



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

CAPITULO III EVALUACION DE LOS CLIMAS BASE.....	52
3.1.-Selección de Sitios de Estudio.....	53
3.2.-Climas Base.....	56
3.3.-Anomalías de Precipitación en los climas base.....	62
3.4.-Anomalías de la Evapotranspiración Potencial (ETP) en los Climas Base.....	66
3.5.-Anomalías de Humedad del Suelo en los Climas Base.....	70
3.6.-Estación de Crecimiento en los Climas Base.....	75
3.7.-Balance Hídrico del Maíz en los Climas Base.....	82
3.8.-Evaluación de los Climas Base.....	89
CAPITULO IV PLANIFICACIÓN AGRÍCOLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	95
4.1.-Cambio Climático Decenal.....	96
4.2.-Estación de Crecimiento en los Escenarios GFDLR30,CCCM y MTC.	124
4.3.-Balance Hídrico del Maíz de temporal en los Escenarios GFDLR30,CCCM y MTC.....	131
CONCLUSIONES.....	138
BIBLIOGRAFÍA.....	144



INDICE DE TABLAS

	Pag.
CAPITULO II MARCO GEOGRAFICO DE TLAXCALA	
Tabla 2.1 Cultivos de temporal.....	43
Tabla 2.2 Cultivos de riego.....	44
Tabla 2.3 Ciclos vegetativos del maíz.....	46
Tabla 2.4 Rangos de temperatura viables para el cultivo del maíz en el ciclo fenológico.....	48
Tabla 2.5 Requerimientos de precipitación en el ciclo fenológico del maíz	51
CAPITULO III EVALUACIÓN DE LOS CLIMAS BASE	
Tabla 3.1 Ubicación, altura y seres de tiempo de los sitios seleccionados.....	54
Tabla 3.2 Balance hídrico para el maíz de temporal en Cuapixtla, Tlaxcala Clima Pasado Reciente (1961-1981).....	85
Tabla 3.3 Balance hídrico para el maíz de temporal en Cuapixtla, Tlaxcala Clima Presente (1980-2000).....	86
CAPITULO IV PLANIFICACIÓN AGRÍCOLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	
Tabla 4.1 Índice Agroclimático y rendimiento en toneladas por hectárea.....	137



INDICE DE FIGURAS

	Pag.
CAPITULO II MARCO GEOGRAFICO DE TLAXCALA	
2.1 Mapa de Localización de Tlaxcala en la República Mexicana.....	24
2.2 Mapa de División Municipal de Tlaxcala.....	25
2.3 Mapa de Precipitación Media Anual de Tlaxcala.....	26
2.4 Mapa de Climas de Tlaxcala.....	29
2.5 Mapa de Regiones Hidrológicas de Tlaxcala.....	31
2.6 Mapa del Río Zahuapan-Atoyac.....	33
2.7 Mapa de Elevación de Tlaxcala.....	39
2.4 Mapa de Vegetación y Uso del Suelo de Tlaxcala.....	42-1
CAPITULO III EVALUACIÓN DE LOS CLIMAS BASE	
3.1 Mapa de Localización de los sitios de estudio.....	55
3.2 Climatología de Apizaco.....	58
3.3 Climatología de Cuapixtla.....	59
3.4 Climatología de Huamantla.....	60
3.5 Climatología de Tlaxco.....	61
3.6 Anomalías de Precipitación.....	64
3.7 Anomalías de Evapotranspiración Potencial.....	69
3.8 Anomalías de Humedad del Suelo.....	74
3.9 Mitad de Evapotranspiración y Precipitación al 60% de Probabilidad en el municipio de Cuapixtla.....	79



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

3.10 Representación gráfica de las Fechas de Siembra en Tlaxcala.....	81
3.11 Etapas del Maíz de Temporal.....	84
3.12 Necesidades Hídricas del Maíz de Temporal.....	88
3.13 Tendencia de la Temperatura Máxima y la Precipitación en Huamantla.....	90
3.14 Tendencia de la Temperatura Máxima y la Precipitación en Cuapixtla.....	91
3.15 Espacio-mapas de Tlaxcala.....	94

CAPITULO IV PLANIFICACIÓN AGRÍCOLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

4.1 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración Potencial Clima Base, GFDLR30, Cuapixtla.....	99
4.2 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración Potencial Clima Base, CCCM, Cuapixtla.....	102
4.3 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración Potencial Clima Base, MTC, Cuapixtla.....	104
4.4 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración Potencial clima Base, GFDLR30, Apizaco.....	106
4.5 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración Potencial Clima Base, CCCM, Apizaco.....	108
4.6 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración Potencial Clima Base, MTC, Apizaco.....	110
4.7 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración Potencial Clima Base, GFDLR30, Huamantla.....	112



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

4.8 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración	
Potencial Clima Base, CCCM, Huamantla.....	114
4.9 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración	
Potencial Clima Base, MTC, Huamantla.....	116
4.10 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración	
Potencial Clima Base, GFDLR30, Tlaxco.....	118
4.11 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración	
Potencial Clima Base, CCCM, Tlaxco.....	120
4.12 Ciclo Anual de Precipitación, Humedad del Suelo y Evapotranspiración	
Potencial Clima Base, MTC, Tlaxco.....	122
4.13 Mitad de Evapotranspiración Potencial y Precipitación al 60% Cuapixtla	
GFDLR30,CCCM y MTC.....	126
4.14 Períodos de Siembra y Madurez GFDLR30, CCCM y MTC.Cuapixtla.....	130
4.15 Necesidades Hídricas GFDLR30, Cuapixtla.....	132
4.16 Necesidades Hídricas CCCM, Cuapixtla.....	133
4.17 Necesidades Hídricas MTC, Cuapixtla.....	134
4.18 Correlación del Índice Agro-climático.....	136



INTRODUCCION

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) publicó en el 2001 su tercer informe sobre cambio climático. Dentro de este informe se hace referencia a la vulnerabilidad de México al cambio climático ; en particular La Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se basa en gran parte en los resultados obtenidos en el Estudio de País: México, México ante el Cambio Climático, coordinado por el Instituto de Ecología bajo la dirección de Carlos Gay (Fernández et al 2001-2002), apoyado por investigadores del mismo centro. Del Estudio País se derivan los primeros estudios sobre el impacto de un posible cambio climático en la cosecha del maíz en 7 sitios en la parte central de México realizados por Conde et al (1997). Estos estudios pioneros demuestran que el cambio climático puede tener un impacto importante en la producción del maíz, teniéndose que tomar medidas de adaptación para mitigar dicho impacto. Posteriormente estos estudios fueron enfocados al estado de Tlaxcala (Conde et al, 1999, 2000).

El trabajo presentado en esta tesis retoma el caso de estudio de Tlaxcala y se introduce un método para planificar la fecha de siembra del maíz en ciertos municipios de este estado ante un posible cambio climático. Este método consiste en calcular, en el periodo fenomenológico del maíz, un índice agro-climático establecido por la FAO (FAO, 1980) tomando en cuenta la humedad del suelo inicial, para establecer la mejor fecha de siembra y obtener una más alta producción en la cosecha.

La importancia de evaluar los posibles cambios climáticos se explica en términos de su influencia e impacto de la agricultura, por lo que se trata entonces de analizar y entender las probables irregularidades del clima que no pueden ser previstas por los agricultores y que puede perjudicar el desarrollo de su actividad.

Por lo anterior, en esta tesis se analizan las condiciones agro climáticas del maíz de temporal ante un eventual cambio climático debido a que su consumo de agua es elevado; y por ello es uno de los cultivos más susceptibles a la falta de humedad en el suelo sobre todo en la etapa de floración, de tal forma que una planificación agrícola es de vital importancia.

La planificación agrícola realizada en esta tesis abarca la evaluación teórica y práctica de las medidas de adaptación posibles ante un eventual cambio climático que afecte los rendimientos en producción de maíz de temporal, así como el análisis de la viabilidad de los resultados obtenidos por su aplicación.

Otro de los parámetros más importantes analizados en esta tesis es la determinación de la estación de crecimiento, la estación de crecimiento está básicamente determinada por la disponibilidad de agua y temperatura favorable para el desarrollo del cultivo.

Al cubrir las demandas de agua y de temperaturas favorables se puede esperar un rendimiento elevado aunque cabe mencionar que hay factores socio-políticos y



hasta culturales que influyan en la actividad agrícola que de manera general son mencionados en esta tesis.

Se selecciono al estado de Tlaxcala, ya que éste es un buen ejemplo en donde la agricultura de maíz de temporal es la base de actividades económicas de un sector importante de la población, por lo que se hizo una correlación del índice agro climático con el rendimiento obtenido de la producción agrícola del maíz desde 1960 al 2003 (Mendoza. A. S 2001) para pronosticar el rendimiento que se obtendrá ante un eventual cambio climático y el rendimiento que se obtendrá al planificar las fechas de siembra.

Actualmente, se cultiva maíz prácticamente en todos los municipios de Tlaxcala, con rendimientos bajos, menores a tres toneladas por hectárea (Mendoza A. S 2001)

Por lo tanto un estudio sobre disponibilidad de agua así como de los factores agro-climáticos más importantes para el cultivo de maíz de temporal precipitación, evapotranspiración potencial y humedad del suelo son de vital importancia para predecir el rendimiento en ton/ha ante un posible cambio climático.

En este trabajo de investigación se ofrecen los resultados del cambio climático en el régimen y magnitud estacional de temperatura del aire en superficie, precipitación, escurrimiento, evaporación y humedad en el suelo en los cuatro



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

municipios escogidos para el estudio, los cuales son: Apizaco, Cuapixtla, Huamantla y Tlaxco. Así como también la planificación agrícola del cultivo del maíz considerando fundamentalmente el clima.

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN



1.1 Justificación

La lluvia es uno de los elementos climáticos con gran influencia en la producción agrícola sobre todo cuando ésta es de temporal y donde es la única fuente disponible de ingreso de agua en los suelos para satisfacer sus requerimientos básicos.

Para establecer un cultivo es necesario conocer la mínima cantidad de precipitación requerida. La cantidad de precipitación requerida para la germinación de una especie vegetal, depende principalmente del nivel de agua perdida por escurrimientos y demanda atmosférica, que guardan una relación inversa al nivel de agua captada por el suelo y disponible para la planta. De esta manera en regiones con suelo plano, profundo de textura migajón-arcillosa, se requerirá una menor cantidad de milímetros de lluvia para iniciar el periodo de crecimiento, en comparación con aquellos de suelo delgado, arenoso, con pendientes pronunciadas correspondientes al estado de Tlaxcala; es por esto que la demanda de agua en esta región de estudio es mucho mayor que el requerimiento normal.

Para nuestro país donde la mayor parte del territorio se cultiva maíz de temporal, la cantidad, distribución y eficiencia de la lluvia son factores fundamentales; ya que la escasez de agua en cualquier etapa del desarrollo de la planta afectara la cosecha.



Si se conoce el requerimiento mínima de lluvia durante el ciclo vegetativo del maíz de temporal y la probabilidad de que se presente una lluvia menor o mayor que dicho requerimiento, se estará en condiciones de poder pronosticar el éxito de o fracaso al establecer el cultivo.

Concretamente una vez conocida la cantidad de precipitación anual así como su distribución, es necesario calcular, basándose en criterios establecidos, el inicio y término de la estación lluviosa, el inicio y término del período húmedo, temperatura mínima y probabilidad de heladas, para poder determinar si las condiciones climatológicas son las adecuadas para el desarrollo del cultivo.

En lo que respecta al régimen de precipitación, la falta de lluvias en Abril y la primera quincena de Mayo se traduce en rendimientos agrícolas bajos, principalmente en la región centro de México, Puebla, Hidalgo, Guanajuato, Querétaro y Tlaxcala.

La importancia de evaluar los posibles cambios climáticos se explica en términos de su influencia e impacto de la agricultura, por lo que se trata entonces de analizar y entender las probables irregularidades del clima, que no pueden ser previstas por los agricultores y que puede perjudicar el desarrollo de su actividad.



De acuerdo a datos del Censo Agropecuario del 2003 (CEA, 2003) la superficie de labor sembrada con maíz es grande, ocupa una extensión de 241,211 ha lo que equivale al 82.6% de la extensión del territorio tlascalteca, pero los rendimientos obtenidos son bajos esto debido a que una gran extensión de la superficie resulta siniestrada debido al que el maíz se cultiva en regiones del estado en donde, ni el clima, ni las condiciones topográficas, y el suelo son adecuadas.

Teniendo Tlaxcala un estado de actividades agrícolas poco eficientes y vulnerables a extremos climáticos, se considera de gran utilidad un estudio sobre la determinación de la disponibilidad de agua para realizar una planificación agrícola y tomar medidas de mitigación agrícola del cultivo del maíz que reporte las mejores utilidades para el productor.



1.2. Delimitación del Problema

En esta investigación se evalúo la disponibilidad del agua en el clima actual y en el clima futuro ante el cambio climático o calentamiento global futuro, (debido al aumento de CO₂ y otros gases de invernadero en la atmósfera) en el estado de Tlaxcala específicamente en la región hidrológica del río Balsas que abarca la mayor parte del territorio de Tlaxcala (3,051.370km², 75.13%) en sus porciones centro y sur, entre los paralelos 17°00' y 20°00' de latitud norte y los meridianos 97°27' y 103°15' de longitud oeste.

Se selecciono Tlaxcala, ya que éste es un buen ejemplo de donde la agricultura es la base de actividades económicas de un sector importante de la población, y un estudio de disponibilidad de agua será muy importante en esa región considerando la agudeza de los problemas sociales y económicos que surgen ante eventos climáticos extremos.

Se determinaran los componentes del ciclo hidrológico: precipitación, evaporación y agua superficial disponible para los municipios que serán los casos de estudio: Apizaco, Cuapixtla, Huamantla y Tlaxco, por ser los principales productores agrícolas del estado.

Huamantla ocupa el primer lugar de producción de maíz con 135,465.55 toneladas de maíz en grano anual, Cuapixtla ocupa el segundo lugar con: 82,227.2



toneladas, Apizaco el tercer lugar con: 36,383.88 toneladas y Tlaxco el cuarto lugar de producción con: 2,314.72 toneladas. (CEA, 2003).

En esta investigación se realizó también una planificación agrícola que abarco la evaluación teórica y práctica de las medidas de mitigación o adaptación de los posibles cambios climáticos que afectan a los productores agrícolas. Así como el análisis de la viabilidad de los resultados obtenidos por su aplicación.



1.3. Objetivos de la Investigación

Objetivo general:

Determinar la disponibilidad del agua superficial (precipitación menos evaporación), en el estado de Tlaxcala; en la región hidrológica "Río Balsas" que abarca la mayor parte del territorio (3,051.370km² ,75.13%) en sus porciones centro y sur, entre los paralelos 17°00' y 20°00' de latitud norte y los meridianos 97°27' y 103°15' de longitud oeste; ante escenarios de clima pasado (reciente) y actual, así como ante escenarios de clima futuro inducidos por el incremento de bióxido de carbono atmosférico: uno construido a partir de las tendencias de temperatura y precipitación y otros pronosticados por el Modelo Termodinámico del Clima MTC. (Garduño y Adem, 1992) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) UNAM, México; por el Modelo de Circulación General del Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de Estados Unidos (GFDLR30; Manabe Stouffer, 1969) y el Modelo de Circulación General del Centro de Climático Canadiense (CCCM; Boer et al, 1991)

Objetivos específicos:

1. Evaluar los componentes del ciclo hidrológico: precipitación, evaporación y agua superficial disponible (precipitación menos evaporación) en los escenarios de clima pasado, actual y futuro en los municipios que serán los casos de estudio Apizaco, Cuapixtla, Huamantla y Tlaxco

2. Estimar las demandas de agua para uso agrícola en los casos de estudio.

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



POSGRADO EN GEOGRAFÍA
COORDINACIÓN



3. En base al agua superficial disponible en la cuenca, así como a la demanda de agua para uso agrícola en los casos de estudio, realizar un planificación agrícola en el cultivo del maíz de temporal en el escenario actual, y escenario futuro.



1.4 Supuestos

Los supuestos a comprobación son los siguientes:

- Que el estado de Tlaxcala, presenta problemas de disponibilidad, demanda y calidad de agua.
- Que el Cambio Climático significa un incremento de temperatura y por lo tanto de evaporación y una modificación de lluvias.
- Que el cultivo de maíz de temporal, bajo las condiciones ambientales actuales, tienen un gran vulnerabilidad a la variabilidad climática, y por lo tanto, al presentarse un eventual cambio climático, esta actividad se vera afectada.



1.5-Metodología

1.5.1. Metodología Climática

Los datos diarios de temperaturas máximas y mínima así como de precipitación se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que utiliza el sistema CLICOM así como el sistema SICLIM teniendo así la información climática desde 1961. Con ella se puede construir la climatología de tres épocas, que podrían llamarse pasada, presente y futura. La climatología es estatutariamente el promedio de las condiciones climáticas de 30 años; sin embargo, nuestros períodos son representativos aunque sean más cortos: pasado 1961-1981 y presente 1980-2000. La situación futura se calcula con la supuesta condición de concentración de CO₂ atmosférico duplicada, la cual se estima que se alcanzará en algún momento de este siglo, tal vez hacia el 2060, dependiendo naturalmente de consideraciones socio-político-económicas. La duplicación de CO₂ (2xCO₂) es el nivel de referencia usual para caracterizar el cambio climático global (futuro). Con las variables climáticas de cada época se determinara la hidrología (disponibilidad de agua) correspondiente.

Para calcular la disponibilidad de agua se dispone de un Modelo Térmico-Hidrológico; (Mendoza A:S, 2001) el cual es detallado el capítulo III de esta tesis. Los cambios en precipitación y en temperatura en el clima futuro (2xCO₂), usados en el Modelo Hidrológico fueron tomados del modelo de balance de energía MTC y de los modelos de circulación general GFDLR30 y el CCCM.



Se tomo en cuenta los factores climáticos más importantes que intervienen en el crecimiento y desarrollo de cultivo del maíz de temporal en los casos de estudio: la precipitación, la pérdida de humedad del suelo por evaporación y la temperatura. A partir de la evaluación de estos factores; se realizó la planificación agrícola ante el escenario actual; es decir, se verán las fechas de siembra en el escenario actual y se analizará si las condiciones climáticas en los estados fenológicos del cultivo del maíz de temporal sembrado en los casos de estudio cumplen con sus demandas agro-climáticas.

Asimismo se utilizó el Modelo Termodinámico del Clima, el GFDLR30 y el CCCM para analizar las condiciones climáticas ante el escenario futuro (2xCO₂) y ver si las condiciones climáticas futuras en los estados fenológicos del maíz de temporal sembrado en los casos de estudio cumplen con sus demandas agro-climáticas. De no ser así se tomarán medidas de mitigación como es proponer fechas alternativas de siembra.

Cabe señalar que el MTC se ha utilizado para trabajos de investigación similares dando una opción atractiva para la planificación agrícola (Mendoza A.S. 2001).

El Modelo Termodinámico de la Atmósfera (MTC)

El modelo MTC es un modelo determinista basado en el primer principio de la termodinámica o principio de conservación de energía interna. Este modelo aplica la ecuación de conservación de energía térmica (proporcional a la temperatura del



sistema) a la capa troposférica de 9 km de espesor, la cual incluye una cubierta de nubes; a la capa superior de los océanos de unos 60 m. de profundidad y a la capa superior de los continentes de espesor despreciable.

En el MTC, la superficie de océanos y continentes incluye una cubierta de hielo y nieve variable, generalmente en latitudes medias y altas.

En la capa troposférica, la ecuación termodinámica incorpora el almacenamiento de energía térmica, el transporte horizontal de calor por viento medio y por ciclones y anticiclones de latitudes medias de gran escala que viajan del ecuador a los polos; el almacenamiento y los transportes están balanceados por el calentamiento por radiación de onda corta (radiación solar emitida a unos 6,000°C) y larga (radiación terrestre emitida a unos 15°C en promedio), por calor latente liberado al nivel de las nubes y por calor sensible cedido por la superficie a través de transporte turbulento vertical.

En el océano la ecuación termodinámica incluye el almacenamiento de energía térmica (el cual es fundamental en el pronóstico a largo plazo); el transporte horizontal de calor por corrientes oceánicas medias y por giros oceánicos turbulentos de gran escala; al igual que en la atmósfera, el almacenamiento y los transportes están balanceados por el calentamiento neto por radiación de onda larga y corta, la pérdida de calor latente (por evaporación) y sensible por transporte turbulento vertical desde la superficie.



En los continentes se asume que no existe almacenamiento de energía térmica ni transportes horizontales de calor; por lo que el calentamiento neto por radiación de onda corta y larga está balanceado con la pérdida de calor sensible y latente.

Las ecuaciones del MTC son resueltas en el Hemisferio Norte sobre una red o rejilla regular de 1977 puntos sobre puesta a la proyección esferográfica polar del Hemisferio Norte. La distancia entre punto y punto de la red es de 408 Km

Las condiciones iniciales que usa el MTC son las anomalías de la temperatura del aire en el nivel de 700 Mb. (aproximadamente 3,000 metros) y las anomalías de la temperatura de la superficie de los océanos, ambas en el mes anterior al mes de predicción; el modelo también utiliza la cubierta de hielo y nieve de la última semana del mes previo al de la predicción, la cual es usada para generar anomalías en el albedo de la superficie.

El efecto de las anomalías del albedo por hielo y nieve sobre la predicción solo es importante en latitudes medias o altas ($>40^\circ$) y no en las latitudes que abarca la República Mexicana.

Si embargo, dado que la República Mexicana está rodeada de océanos, las anomalías de la temperatura de la superficie de los océanos del mes anterior si tienen un efecto importante sobre la predicción mensual y estacional de la temperatura y precipitación (Adem, J.1997).



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

Existe una versión del modelo que es usada para llevar acabo estudios de cambio climático, la cual es muy similar a la versión de pronósticos descrita arriba.



1.5.2. Metodología Cartográfica

1. Se elaboraron mapas base (hidrológico, fisiográfico, suelos, vegetación, posibilidades de uso agrícola y frontera agrícola) de la región de estudio (Tlaxcala). Escala 1: 500,000.

2. Se trazaron los siguientes mapas de isoclinas de Tlaxcala (temperatura máxima media anual, temperatura mínima media anual, precipitación media anual y evapotranspiración real media anual) para el escenario pasado reciente (1961-1981)

3. De temperatura máxima media anual, temperatura mínima media anual, precipitación media anual y evapotranspiración real media anual para el escenario presente (1980-2000)

4. Y de temperatura máxima media anual, temperatura mínima media anual, precipitación media anual y evapotranspiración real media anual para el escenario futuro 2060.



1.5.3. Metodología de Campo

1. Se realizó la primera práctica de campo para el reconocimiento general de la región de estudio y así identificar los problemas más importantes relacionados con el agua.

2. Una segunda practica de campo para recorrer el cauce del río Zahuapan, así como las presas más importantes de Tlaxcala para recabar información sobre posibles problemas de abastecimiento de agua.

3. Y tercera y ultima practica de campo para comparar los resultados obtenidos, y difundir los mismos con las autoridades correspondientes al tema de investigación en el estado de Tlaxcala.



CAPITULO II

MARCO GEOGRÁFICO DE TLAXCALA



2.1. Localización

El estado de Tlaxcala se localiza en la parte centro-oriental del país entre los 97° 37'07" y los 98° 42'51" de longitud oeste y entre los 19° 05'43" y los 19° 44'07" de latitud norte. Situado en las tierras altas del eje Neovolcánico sobre la meseta de Anáhuac; todo el estado se localiza por encima de los 2000 metros de altitud. (Ver figura 2.1 y 2.2)

Tlaxcala es con una superficie de 4,060.923 km² la entidad más pequeña de la República Mexicana; es sólo mayor que el Distrito Federal. Limita al poniente con el Estado de México y al noroeste con Hidalgo, Puebla rodea el resto de su perímetro. El estado tiene la forma general de un rombo, con el eje mayor en sentido este sureste-oeste noroeste. Su vértice oriental se localiza en las laderas más orientales de la sierra de Huamantla y el occidental en las de la Sierra Nevada, al norte del Iztaccihuatl. Sus extremos septentrional y meridional se ubican en las cumbres de dos volcanes, el Huintetépetl, al norte de Tlaxco y la Malintzin, (Malinche o Matlacuéyetl) de amplias faldas, que domina el panorama tlaxcalteca a una altitud de 4,461 metros. (INEGI, 1986)

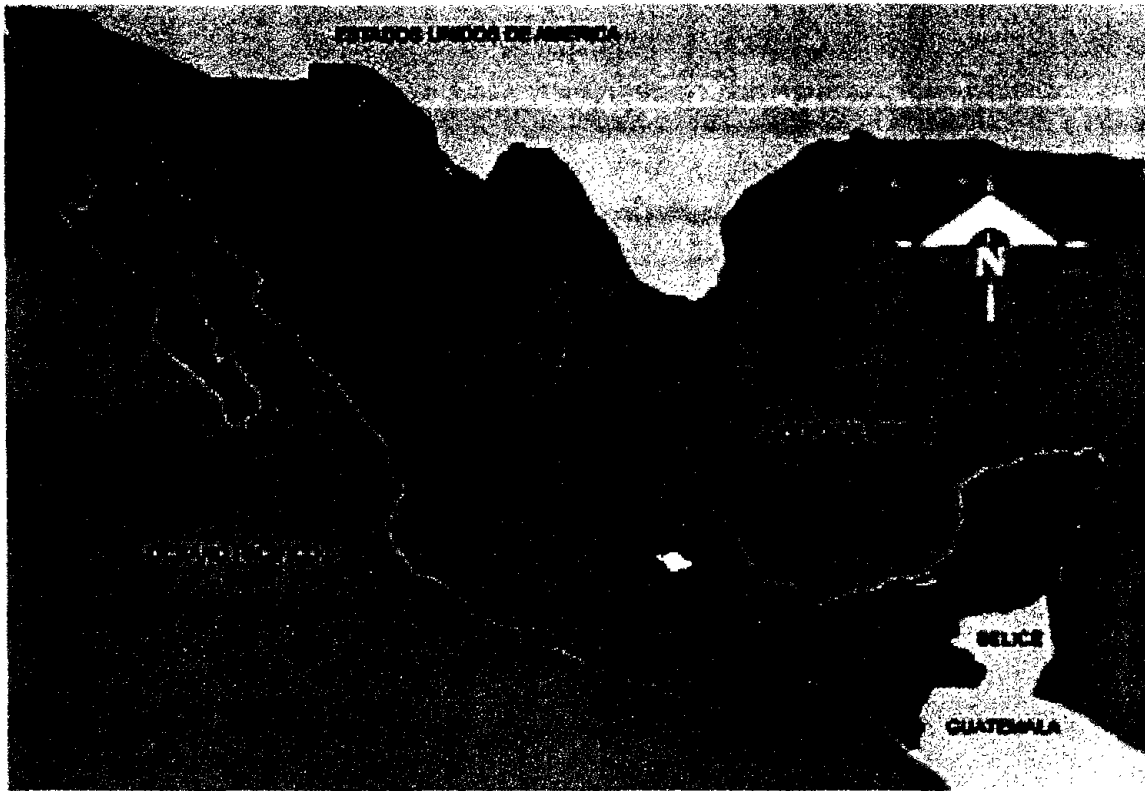
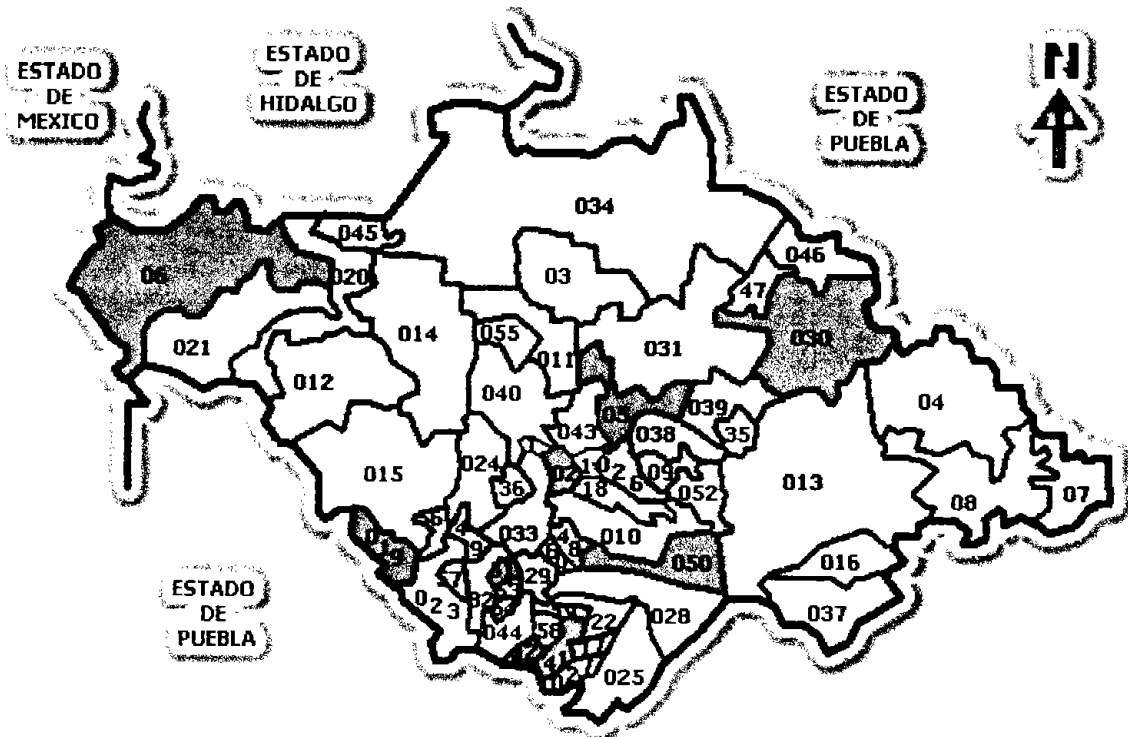


Figura 2.1 Localización de Tlaxcala en la República Mexicana
Fuente: Mendoza A.S



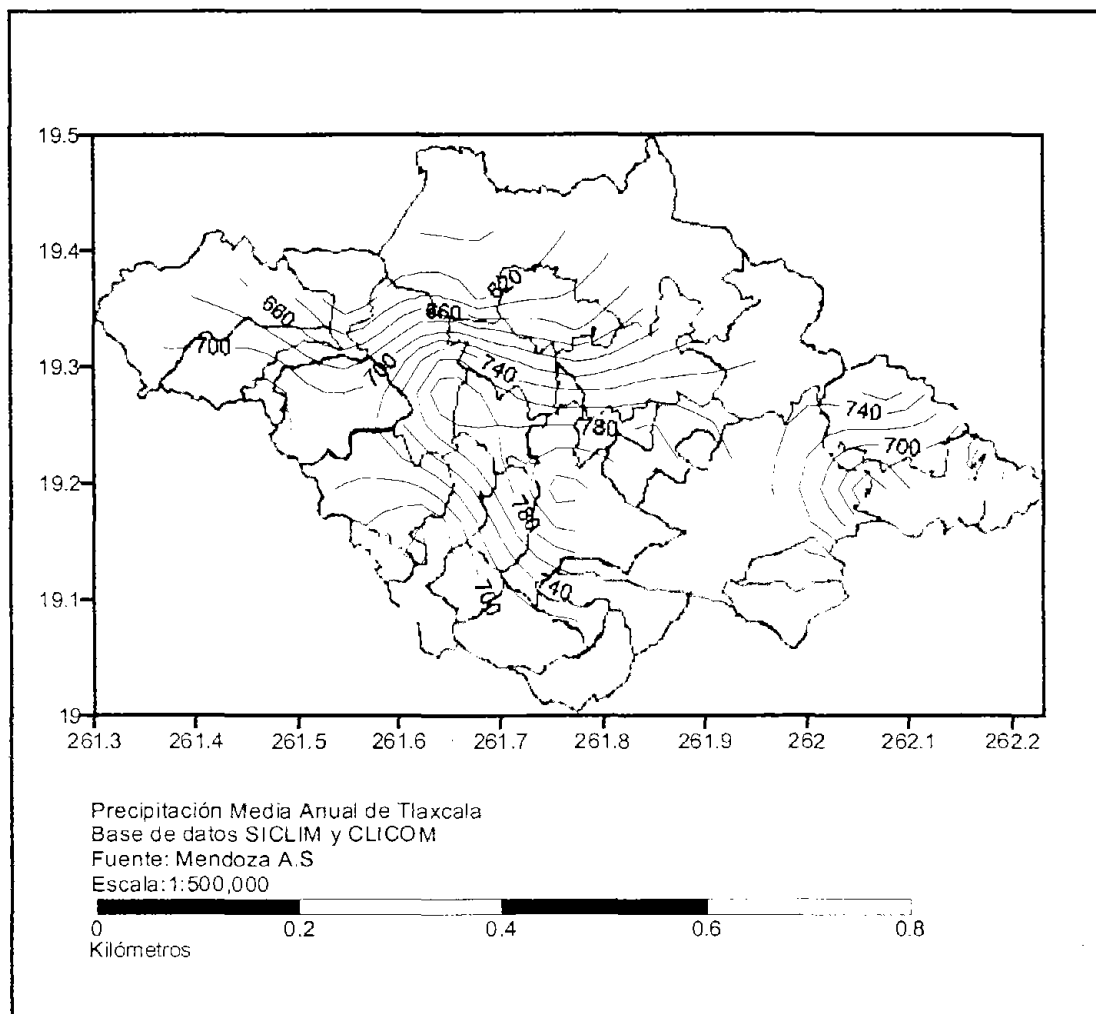
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> □ 01 AMAYAC DE GUERRERO □ 02 APEATITLAN DE ANTONIO CARBAJAL □ 03 ATLANGATEPEC □ 04 ALTZAVANCA □ 05 APEZACO □ 06 CALULALPAN □ 07 CARMEN TEQUEXQUITLA EL □ 08 CUAPILXTLA □ 09 CUAXOMULCO □ 10 CHI AUTEMPAN □ 11 MILNOC DE DOMINGO ARENAS □ 12 ESPANITA □ 13 HUAMANTLA □ 14 HUEYOTLIPAN □ 15 XTACUXTLIL DE MARIANO MATAMOROS □ 16 XTENCO □ 17 MAZATECOCHCO DE JOSE MARIA MORELOS □ 18 CONTLA DE JUAN CUAMATZI □ 19 TEPETITLA DE LARDIZABAL □ 20 SANCTORUM DE LAZARO CARDENAS □ 21 NANACAMILPA DE MARIANO ARISTA □ 22 ACUAMANALA DE MIGUEL HIDALGO □ 23 NATIVITAS □ 24 PANOTLA □ 25 SAN PABLO DEL MONTE □ 26 SANTA CRUZ TLAXCALA □ 27 TENANCINGO □ 28 TEOLOCHILCO □ 29 TEPEYANCO □ 30 TERRENATE | <ul style="list-style-type: none"> □ 31 TETLA DE SOLIDARIDAD □ 32 TETLATLALUCA □ 33 TLAXCALA □ 34 TLAXCO □ 35 TOCATLAN □ 36 TOTOLAC □ 37 ZITLALTEPEC DE TRINIDAD SANCHEZ SANTOS □ 38 TZOMPANTEPEC □ 39 XALOSTOC □ 40 XALTAPAN □ 41 PAPALOTLA DE XICOHTENCATL □ 42 XICOHTZINCO □ 43 YAUHQUEMECAN □ 44 ZACATELCO □ 45 BENITO JUAREZ □ 46 EMILIANO ZAPATA □ 47 LAZARO CARDENAS □ 48 MAGDALENA TLALTILULCO, LA □ 49 SAN DAMIAN TEXCOCO □ 50 SAN FRANCISCO TETLANOHCAN □ 51 SAN JERONIMO ZACUALPAN □ 52 SAN JOSE TEACALCO □ 53 SAN JUAN HUACTZINGO □ 54 SAN LORENZO AXOCOMANITLA □ 55 SAN LUCAS TECOUILCO □ 56 SANTA ANA NOPALUCAN □ 57 SANTA APOLONIA TEACALCO □ 58 SANTA CATARINA AVOMETLA □ 59 SANTA CRUZ QUILEHTLA □ 60 SANTA ISABEL XILOXOXTLA |
|--|--|

Figura 2.2 División Municipal de Tlaxcala Fuente: Mendoza A.S

2.2. Clima

El estado de Tlaxcala posee en general climas templados subhúmedos con lluvias de verano que se presentan particularmente en los valles y las llanuras.

Las precipitaciones medias anuales son más abundantes en el centro y en el sur, donde van de 600 a 1200 mm, en tanto que en el noroeste y oriente las lluvias son menores de 500 mm al año. (Ver figura 2.3)



**Figura 2.3 Precipitación Media Anual de Tlaxcala Base de Datos CLICOM y SICLIM.
Fuente: Mendoza A.S**

Los climas templados se presentan en los valles y las llanuras. El volcán de la Malinche, al sur del estado tiene un clima semi-frío , excepto en sus cumbres más altas, donde el clima puede calificarse como frío.

En algunas partes de la entidad se producen heladas y granizadas casi todo el año; factores climáticos que, junto con la escasez y la irregularidad de las lluvias, obstaculizan la actividad agrícola. A continuación se hace una descripción más detallada de las variables climáticas del estado en base a la modificación que hace García E. (1998) para la CONABIO a la clasificación de climas de Köppen.

GRUPO DE CLIMAS TEMPLADOS

Presenta una temperatura media anual de entre 12 y 18°C; este tipo de climas cubre alrededor del 94% de la superficie del estado y se presenta con tres modalidades distintas en cuanto a grado de humedad y porcentaje de lluvia invernal.

Templado Sub-húmedo (Cw₂)

Es el más húmedo de los templados Sub-húmedos con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Rige en la parte sur oeste; comprende los municipios de Amaxac de Guerrero, **Apizaco**, Españita, Hueyotlipan, Ixtacuixtla, Juan Cuamatzi, Lardizabal, Lázaro Cárdenas, Miguel Hidalgo, Nativitas, Panotla, Tenancingo, Tepeyanco, Tetlahuaca, Tlaxcala, Totolac, y Zacatelco, La precipitación media anual fluctúa entre los 640 y 820mm y la temperatura media anual entre 12 y 18 °C.



Templado Sub-húmedo (Cw₁)

Es intermedio en cuanto a humedad, con precipitaciones en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5. Se localiza principalmente hacia el norte en una franja que va de este a oeste, comprende los municipios de Calpulalpan, **Huamatla, y Tlaxco**. El régimen pluvial medio anual tiene un rango entre los 600 y 760 mm. Y la temperatura media anual fluctúa entre 12 y 16°C.

Templado Sub-húmedo (Cw₀)

Es el menos húmedo de los templados sub-húmedos, con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal menor de 5. Se localiza en la parte noroeste de Tlaxco y en el municipio de **Cuapixtla**. La precipitación media anual fluctúa entre los 600 y 620mm, el régimen térmico medio anual oscila entre 12 y 16°C.

GRUPO DE CLIMAS SEMIFRÍOS

El rasgo que caracteriza a este clima es un régimen térmico medio anual entre 5°C y 12°C. Los tipos de vegetación que comúnmente se desarrollan en estas condiciones son bosques y praderas altas de montaña. Se localiza en pequeñas zonas del este y oeste de la entidad y ocupa aproximadamente el 5% de su superficie. Presenta dos variantes:

Semi-frío Cb'(w₂) con un régimen de temperatura media anual entre 5°C y 12°C, localizándose en el municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista, al norte en la sierra volcánica de Tlaxco y en las faldas del volcán la Malinche; y Frío (ETH) y muy Frío (EF) se caracteriza porque en el mes más cálido se registra una temperatura media entre 0°C y 6.5°C, y bajo 0°C, respectivamente, lo que sólo

permite el desarrollo de líquenes, musgos y hierbas cuya estructura recuerda a la tundra; típica cubierta vegetal de llanuras árticas, que en nuestro país sólo se encuentra en las partes más altas de las montañas, encima de la línea arbolada. Este clima se localiza en la cumbre de la Malinche y cubre alrededor del 1% de su superficie. El último (muy frío) se presenta en zonas de hielos perpetuos. (Ver figura 2.4.)

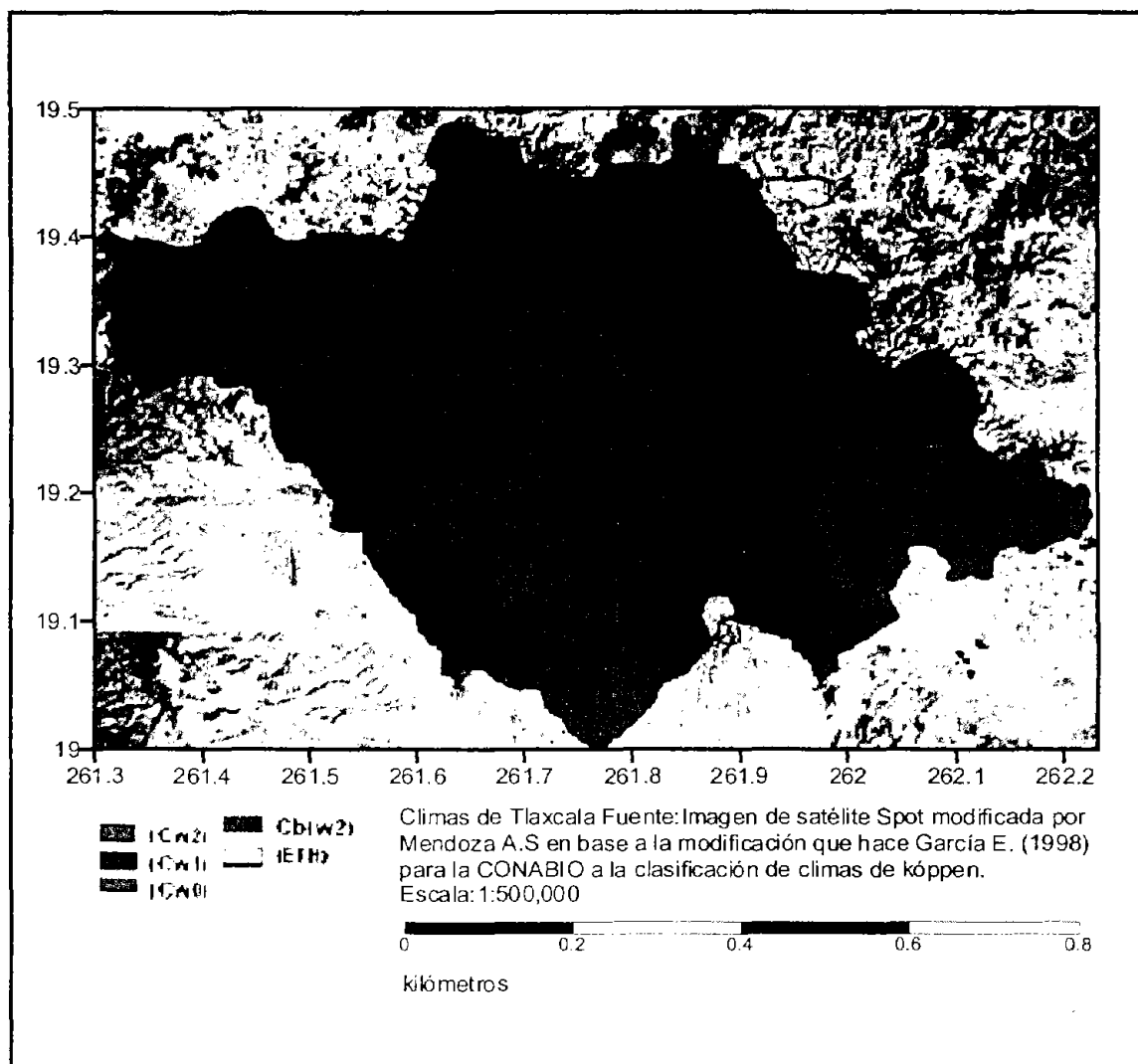


Figura 2.4 Mapa de Climas de Tlaxcala Fuente: Imagen de satélite Spot modificada por Mendoza A. S en base a la modificación que hace García E. (1998) para la CONABIO a la clasificación de climas de Köppen.

Heladas y Granizadas

La descripción de las heladas y granizadas se realiza de acuerdo con las zonas definidas por el clima y se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

a) *Heladas*: En los climas templados, las heladas se presentan casi siempre con una frecuencia de 20 a 40 días al año, aunque hay años con heladas durante 140 a 150 días. En los climas semifríos la frecuencia de heladas se encuentra dentro del rango de 80 a 100 días al año, con extremos hasta de 140 y 160 días durante algunos años. En algunas regiones las heladas se presentan durante todo el año. La máxima incidencia de este fenómeno se registra durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

b) *Granizadas*: Graniza de 2 a 4 días al año, en promedio, sobre 40% del estado, aproximadamente; en especial en las zonas donde imperan climas templados subhúmedos y en una pequeña porción de aquellas en las que rigen los semifríos.

Un 30% del estado tiene en promedio de 0 a 2 días al año con granizo, en zonas de climas templados subhúmedos. En otras zonas donde se presenta el mismo clima y que cubren el 15% del estado, y en parte del área con clima semi-frío graniza de 4 a 6 días al año.

2.3. Hidrología

La mayor parte (3,051.370 km²) del estado de Tlaxcala el 75.13%, en sus porciones centro y sur, queda comprendido dentro de la región hidrológica IV "Río Balsas",. Un área de 750.092 km², con el 18.47%; al noroeste de la entidad es la parte de la región "Alto Pánuco" (N. 26) y la región "Tuxpan-Nautla" (N. 27) cubre 259.461 km² , es decir el 6.38% del noreste del estado.(Ver Figura 2.5)

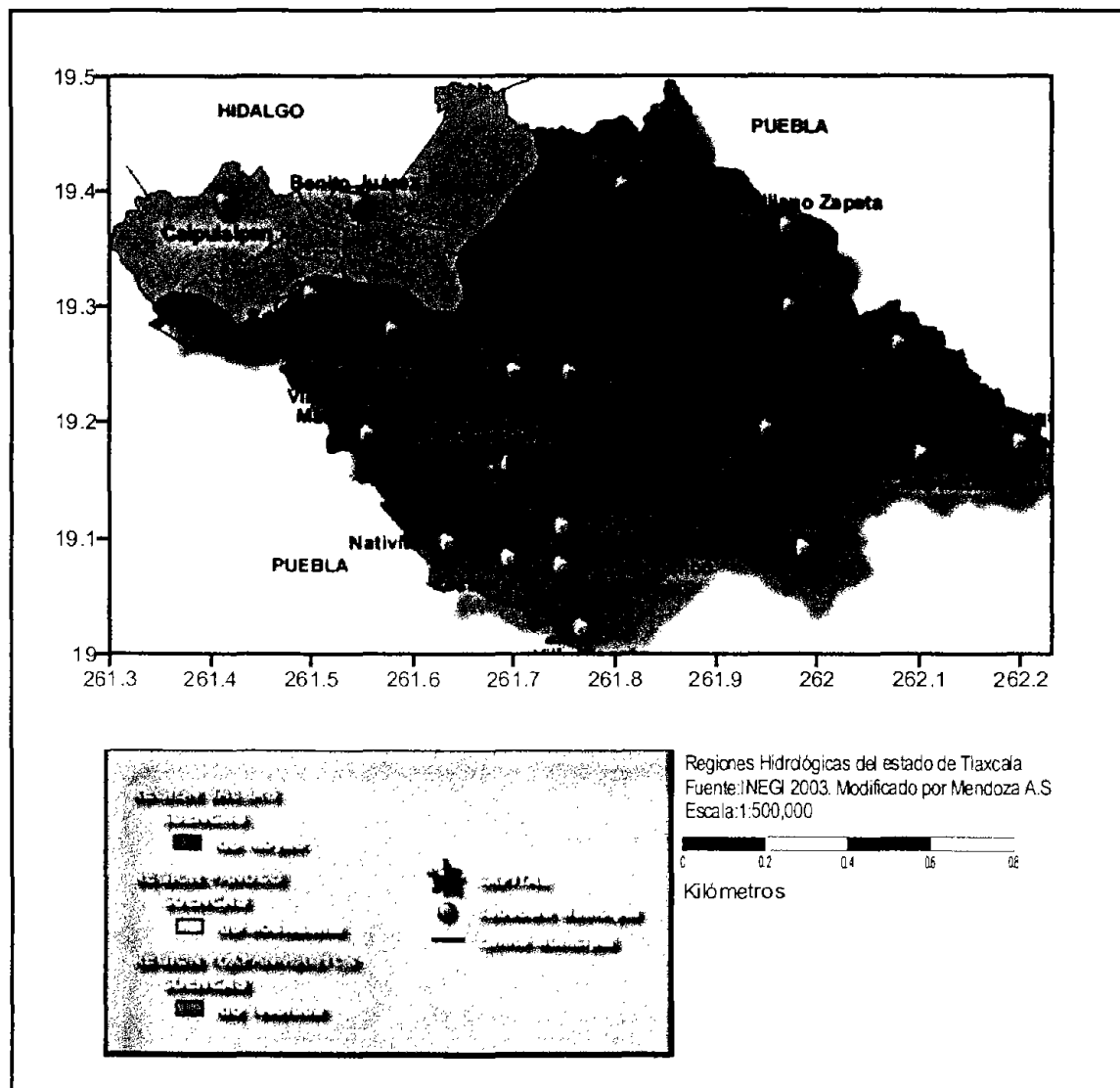


Figura 2.5 Regiones Hidrológicas del estado de Tlaxcala Fuente: INEGI 2003. Modificado por Mendoza A.S

El río Balsas, conocido también como Atoyac, Mezcala o Zacatula, es uno de los más importantes en la República Mexicana y en la región que se va analizar se ubica entre los paralelos 17°00' y 20°00' de latitud norte y los meridianos 97°27' y 103°15' de longitud oeste.

Nace unos 40 Km. al norte de la ciudad de Tlaxcala, en los límites de este estado con el de Puebla. En sus orígenes se llama río Zahuapan y, al confluir con el Atoyac, unos 10 Km. al norte de Puebla, toma este último nombre.

Penetra en Izúcar de Matamoros y después de unir sus aguas con las del río Mixteco, se llama río Poblano. Atraviesa los estado de Morelos y Guerrero, recibiendo varios afluentes hasta que desemboca en Océano Pacífico. Dentro del estado de Tlaxcala se ubica parte de una cuenca perteneciente a esta región hidrológica. El río Atoyac que da origen al Balsas, cubre una superficie de 3,051.370 km² dentro del estado de Tlaxcala y se forma a partir de los escurrimientos que bajan por la vertiente norte del Iztaccihuatl desde una altitud de 4,000 m.s.n.m., en los límites de los estados de México y Puebla. La corriente toma el nombre de Atoyac desde que se une con los ríos Tlahuapan y Turín. En esta cuenca, dónde se localizan las ciudades de Puebla, Atlixco y Tlaxcala, hay un desarrollo industrial importante basado principalmente en la fábricas textiles. En lo que toca a la agricultura la cuenca incluye al distrito de riego de Valsequillo, con 34,340 has. regadas y al Atoyac-Zahuapan, con 6,029 has. Regadas; debe mencionarse que esta es la región más densamente poblada de la cuenca. Sus

afuentes intermedios son el río Atoyac-San Martín Texmelucan-, el lago Totolzingo y el río Zahuapan. Este ultimo río es la principal corriente de Tlaxcala. Tiene su origen en los escurrimientos que descienden de la vertiente sur del accidente orográfico conocido como Sierra de Puebla. Escurre inicialmente al suroeste hasta la población de Tlangatepec, aguas arriba de la cual se construyó el vaso de almacenamiento San José Atlanga. Dentro del estado de Tlaxcala, el curso del río Zahuapan es irregular hasta que confluye con el río Atoyac.(Ver Figura 2.6)

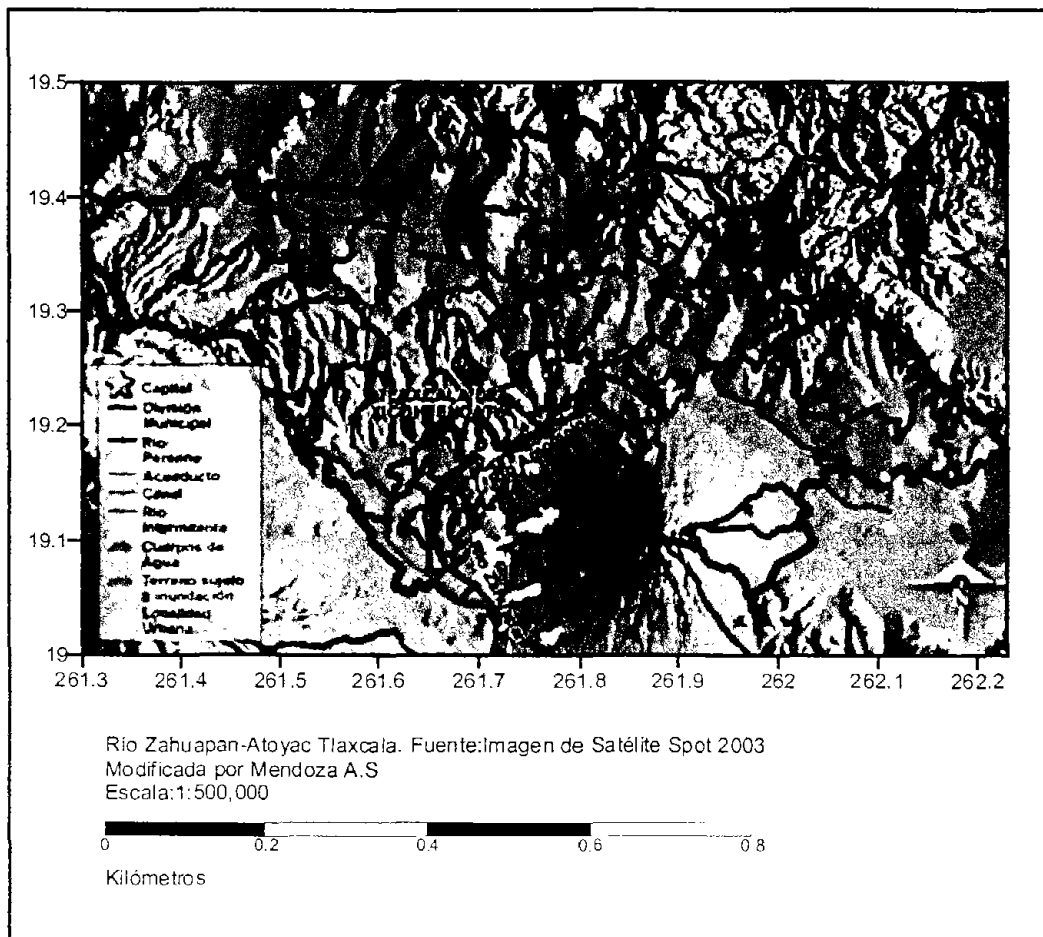


Figura 2.6 Río Zahuapan-Atoyac Fuente: Imagen de satélite Spot 2003 modificada por Mendoza A.S

Contaminación

El desarrollo industrial de la entidad en los últimos años ha provocado problemas de contaminación, ya que únicamente cuenta con un cuerpo receptor: el río Zahuapan, en el municipio de Santa Ana Chiautempan es una gran fuente de contaminación, ya que ahí se concentra la mayor parte de las industrias textiles, que son las que más afectan la ecología de la región. Sigue en grado de contaminación el sector de la celulosa y el papel, ubicado en la zona de Apizaco.

Actualmente se está elaborando el proyecto del distrito de control para las zonas prioritarias de Apizaco, Tlaxcala, Santa Ana Chiautempan, Ixtacuixtla y Panzacola. A la fecha la contaminación que se registra en el estado afecta altamente a la parte de la cuenca perteneciente al Balsas mejor conocido como río Zahuapan.

Almacenamientos

En esta región hidrológica se ubica la mayor parte de almacenamientos de Tlaxcala y entre ellos destaca la presa de San José Atlanga, la más importante del estado, con una capacidad de 54,430,000 m³ ; se utiliza para irrigar 1,600 has. Y beneficia a 1,200 familias. Le siguen en importancia presas de Cárdenas y San Fernando, con 3,200,000 m³ y 2,700,000 m³ de capacidad, respectivamente.



Aguas Subterráneas

Algunos de los factores más importantes que han limitado el desarrollo del estado de Tlaxcala son su reducida extensión superficial, las condiciones topográficas adversas y sus escasos recursos hidráulicos.

Las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento para todo tipo de uso, pues la única corriente de importancia en la entidad es el río Zahuapan.

Región Hidrológica "Río Balsas"

En esta región se localizan grandes valles, como el de Tlaxcala, el cual está constituido por sedimentos terciarios y aluviones recientes que forman un manto acuífero de grandes dimensiones que recibe su recarga de los ríos Atoyac y Zahuapan.

En el valle de Huamantla-Cuapixtla, hay un acuífero importante, el cual se encuentra en sedimentos terciarios y aluviones recientes, pues presenta niveles estáticos favorables en el área de Huamantla, con gran descenso hacia Cuapixtla donde se localiza a más de 100m de profundidad.

En el área de Apizaco los balsatos terciarios y cuaternarios han dado lugar a la formación de acuíferos de buena producción pero con niveles profundos. La porción este de la entidad está comprendida en la gran cuenca oriental, que se extiende a los estados de Veracruz y Puebla. Aunque esta cuenca dispone de recursos hidráulicos y subterráneos importantes, se considera incluso la posibilidad de llevar agua para el abastecimiento de la ciudad de México, su

Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

porción tlaxcalteca no presenta condiciones muy favorables para explotaciones de cuantía por la mala calidad del agua y por la profundidad a la que se encuentran sus niveles (INEGI, 1986).



2.4. Regiones Fisiográficas

El estado de Tlaxcala queda inscrito en una parte de la subprovincia de los Lagos y Volcanes de Anáhuac de la Provincia del Eje Neovolcánico.

Provincia del Eje Neovolcánico

Esta provincia colinda al norte con la Llanura Costera del Pacífico, la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central, la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte; al sur, con la Sierra Madre del sur y la Llanura Costera del Golfo Sur. Por el oeste llega el Océano Pacífico y por el este alcanza al Golfo de México. Abarca parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Colima, Puebla y Veracruz, todo el estado de Tlaxcala y el Distrito Federal.

Subprovincia de los Lagos y volcanes de Anáhuac.

Esta subprovincia, en cuyo territorio se encuentran la capital de la República y cinco capitales (Toluca, Pachuca, Tlaxcala, Puebla y Cuernavaca) está integrada por grandes sierras volcánicas o aparatos individuales que se alternan con amplios vasos lacustre. A ella también pertenecen algunos de los más elevados volcanes como el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl. Y el gran volcán Matlalcuéytl.

El estado de Tlaxcala es atravesado, en sentido noroeste-sureste, por un angosto corredor llano de carácter aluvial (a unos 2.400 m.s.n.m) que conecta los llanos de Apan Hidalguenses, al norte con las llanuras de la cuenca de Puebla. Es dentro de esta alargada llanura que nace el río Zahuapan, el afluente más septentrional del Balsas que, a la altura de Apizaco, donde los lomeríos casi constriñen el corredor, se dirige al sur. Limitan por el norte a este corredor de Calpulalpan, Hueyotlipan,

Apizaco y Huamantla, unidades de lomeríos de origen ígneo, algunas asociados a llano. Estos rematan al oriente con mesetas y lomeríos lávicos y al norte con los bordes de la sierra volcánica de Tlaxco. Por el lado sur, el corredor limita al oeste con los lomeríos periféricos de la Sierra Nevada, al centro con las cañadas de la meseta o bloque de Tlaxcala y al oriente con el gran volcán Matlalcuéytl.. El río Zahuapan pasa hacia el suroeste por un angosto valle entre dos últimas unidades, donde se ubica la capital del estado.

El Volcán Matlacuéytl (Faldas Azules) también conocido como Malinche, está considerado como una ruina volcánica pliocénica: el muñón erosionado de lo que fuera en otros tiempos un enorme estrato volcán. Por el área que abarca poco más de 30 Km. de diámetro es uno de los mayores del país. Sus faldas interiores se tienden radialmente con pendientes poco pronunciadas, en tanto que las laderas centrales, desde unos 3,300 m.s.n.m son muy escarpadas y se levantan hasta los 4,460 m.s.n.m, ver figura 2.7 mapa de Elevación. (INEGI, 1986).



Mapa de Elevación del Estado de Tlaxcala

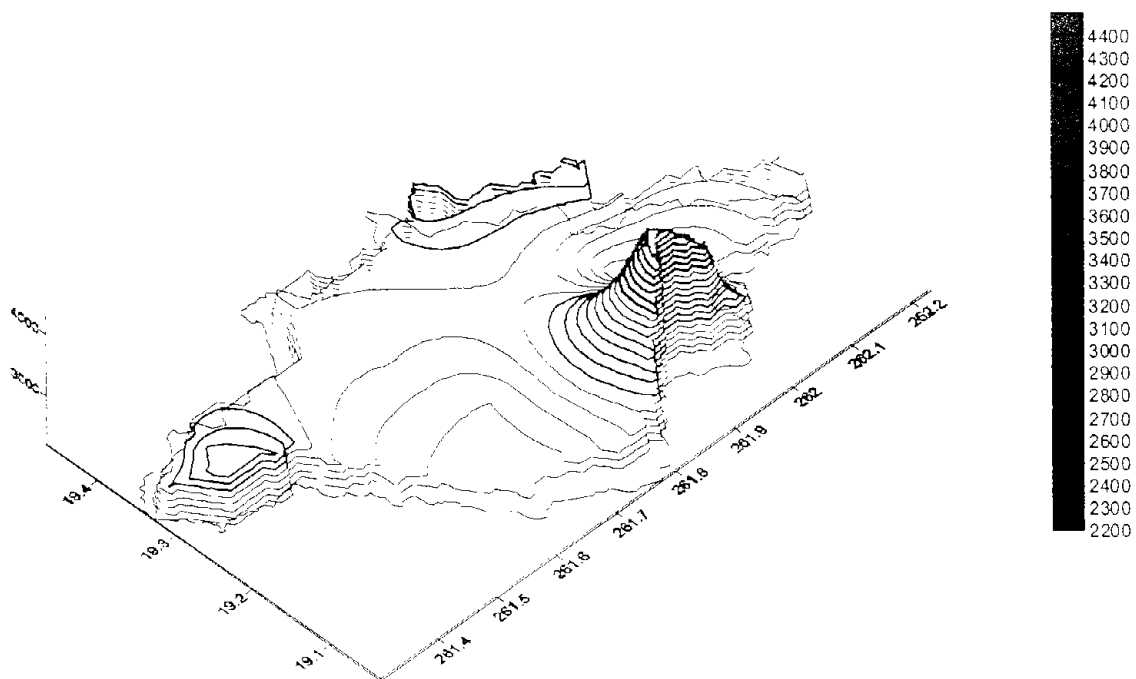


Figura 2.7 Mapa de Elevación de Tlaxcala Fuente Mendoza Castro A.S

2.5. Suelos

Los suelos tlaxcaltecas tienen una gran influencia del vulcanismo. Muchos de ellos están constituidos e su totalidad por vidrio o arena volcánica. Los abundantes tepetates que afloran o subyacen a los suelos someros tienen también este origen.

En la sierra de Tlaxco se encuentra parte de los sistemas de topofomas denominados lomerío de colinas, en los que dominan suelos con una profundidad menor a los 10cm. (Litosoles) asociados a suelos con una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes (Feozems háplicos) asiendo esta zona óptima para la actividad agrícola.

En la parte norte de Huamantla los suelos son derivados de cenizas volcánicas (Andosoles hùmicos) y presentan en su superficie de color oscuro o negro, ricos en materia orgánica, pero ácida y pobre en nutrientes por lo que esta zona no es apta para la agricultura.

Los suelos de la meseta escalonada con lomeríos ubicados al sur de Huamantla son de origen residual y coluvial. Entre ellos destacan los Cambisoles eutricos, los cuales son suelos profundos de color gris oscuro o negro, muy arcillosos, que presentan grietas anchas y profundas en la época de sequía y son pegajosos cuando están húmedos esta zona no es óptima para la agricultura.



Otra llanura con lomeríos corresponde a la región conocida como llanos de Apan y Pie Grande. Aquí domina el tepetate, sobre los cuales se encuentra los suelos oscuros con humus y nutrientes por lo que esta zona que corresponde gran parte del territorio tlascalteca; es dedicada a la agricultura.

La gran sierra volcánica compleja está integrada por la Malinche, al sur del estado, y por la Sierra Nevada al oeste, cuyos suelos son de origen residual y volcánico. En la Malinche abundan los suelos de textura arenosa, con desarrollo moderado es decir Litosoles y en las cercanías del volcán se encuentra suelos Andesoles de desarrollo moderado, derivados de cenizas volcánicas, con una capa superficial oscura rica en materia orgánica por lo tanto da pie al crecimiento de bosques de coníferas y de encinos. A diferencia de esta unidad la Sierra Nevada dominan los suelos con una capa superficial de color negra, rica en materia orgánica pero ácida y pobre en nutrientes y a pesar de que existía gran cantidad de bosques de pino y encino la zona ha sufrido gran deforestación y el uso de suelo ha cambiado a agricultura de temporal en terraza provocando aun más la acidez del suelo por el deslave y la acumulación de sales por fertilizantes.

Hay que agregar que Tlaxcala está afectado en un alto porcentaje de su superficie por diferentes grados de erosión. Las zonas más dañadas son las faldas de la Malinche, pues sus bosques se han talado de manera irracional para llevar acabo agricultura de temporal en terrazas lo que provoca problemas de deslave y salinización.(INEGI, 1986)



2.6 Vegetación

Debido a que el estado se encuentra por arriba de los 2 000 m.s.n.m; la vegetación es propicia a resistir bajas temperaturas como es el caso del oyamel , el encino, el pino y el enebro, entre otras. La vegetación está distribuida como sigue: Los bosques predominantes (diseminados por todo el estado) son las coníferas , aunque también hay encinos, generalmente se localiza a una altitud de 2 568 m.s.n.m .

El bosque de encino se localiza principalmente en la meseta de Tlaxcala, en el volcán de la Malinche, el bosque de coníferas se encuentra localizado en la Sierra Nevada.

Los grandes llanos (llanos de Apan y Pie Grande) están dedicados actualmente a la agricultura, aquí también existe la vegetación secundaria como es el matorral rosetólifo e izotal. El chaparral y el pastizal inducido son otros tipos de vegetación presentes en el estado y se encuentra localizados en Huamantla, ver figura 2.8 (INEGI, 1986)

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



POSGRADO EN GEOGRAFÍA
COORDINACIÓN



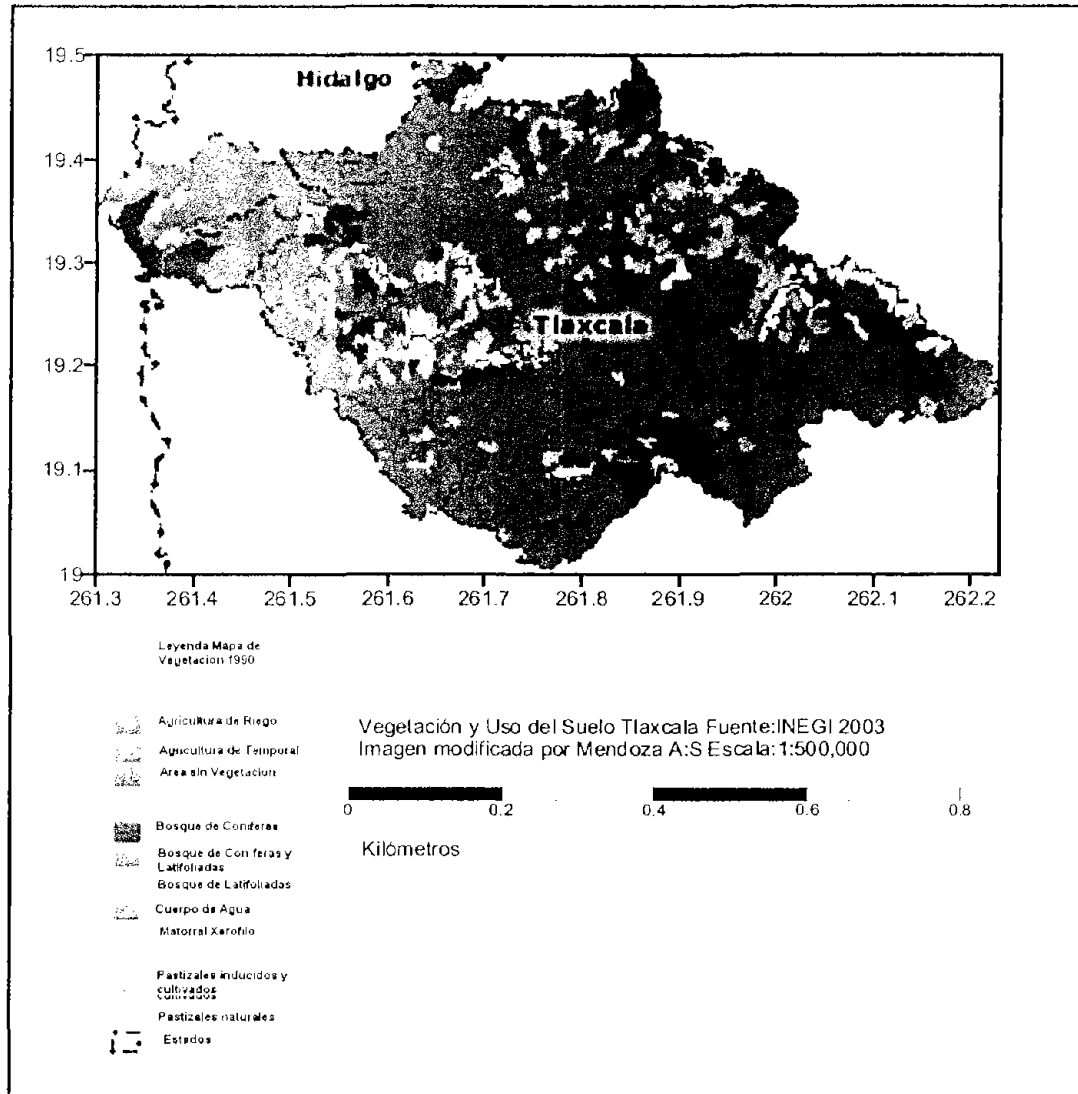


Figura 2.8 Vegetación y Uso del Suelo. Fuente: INEGI 1990

2.7 Agricultura

La agricultura de temporal con labranza por tracción mecanizada se desarrolla principalmente en partes de las faldas del volcán Matlacuéyatl, en la meseta o bloque de Tlaxcala y en los lomeríos y llanos del centro. (Ver figura 2.8) La Tabla 2.1 muestra los cultivos de temporal que se destinan principalmente al comercio nacional y regional así como su rendimiento.

La agricultura de riego aunque su área es reducida reporta grandes rendimientos. está distribuida en las laderas tendidas de las zonas más altas del estado de Tlaxcala en los municipios de Mariano Arista, Teolochoolco, Trinidad Sanchez Santos y El Carmen Calpulalpan. (Ver figura 2.8). Se utiliza el riego por gravedad y por aspersión; la labranza es mecanizada. El uso de fertilizantes y pesticidas es generalizado. La Tabla 2.2 muestra los cultivos de riego así como su rendimiento Cabe mencionar que el uso de fertilizantes y pesticidas está condicionado a la compra de paquetes agrícolas, lo que origina un mal uso en cuanto a cantidad y distribución de dichos pesticidas y fertilizantes.

Tabla 2.1 Cultivos de temporal

CULTIVO DE TEMPORAL	RENDIMIENTO (KG./HA)
maíz	600-2,000
frijol	500
haba	500
arvejón	800
papa	9,000
Cebada, avena y alfalfa	600

Fuente: CEA, 2003

Tabla 2.2 Cultivos de Riego

CULTIVOS DE RIEGO	RENDIMIENTO (KG/HA)
calabacita	1,500
acelga	2,500
epazote	2,000
espinaca	6,500
rábano	6,000
jitomate	7,000-7,300

Fuente: CEA 2003

De la superficie total estatal 4,060.923km², solo tienen posibilidades de uso agrícola 3,410.726km² y se están utilizando en dicha actividad 2,919.344km²; de manera que la superficie susceptible de ser incorporada a la agricultura es de 490.382km². (CEA, 2003).

Sin embargo, antes de abrir nuevas áreas a la agricultura es necesario hacer un análisis de la conveniencia de esta medida y prever los posibles riesgos de erosión para evitarlos mediante prácticas adecuadas de conservación del suelo (CEA, 2003).

Factores que influyen en el desarrollo del cultivo del maíz

Los principales factores que pueden influir en el desarrollo del maíz son:

Características Genéticas de la planta:

El pasaje de un cultivo a través de una secuencia de estados morfológicos o períodos temporales tales como la siembra-germinación, crecimiento-establecimiento, floración-fecundación, maduración y llenado de grano, se le denomina Ciclo Vegetativo del Maíz (SRH, 1978).

Siembra-Germinación:

Con suficiente humedad y a partir de los 12°C de temperatura del suelo, la semilla del maíz inicia la germinación. Las primeras raíces primarias permanecen activas a lo largo del todo ciclo vital de la planta, aunque su función va disminuyendo progresivamente en importancia. En condiciones normales de siembra, el primer nudo se halla siempre próximo a la superficie. La primera fase del desarrollo concluye, con la emisión de la tercera hoja.

Establecimiento-Crecimiento:

La fase de Establecimiento-Crecimiento se caracteriza por la emisión de hojas, la formación de la gran masa de raíces y el alargamiento de la caña que resulta muy rápido.

Floración-Fecundación:

La floración-Fecundación se inicia con el surgimiento de la inflorescencia masculina en la extremidad superior de la planta y concluye con la formación de una o más espigas en las axilas de las hojas de la parte media del tallo. El número de espigas de la planta depende, entre otras cosas de la variedad y del estado nutritivo de aquella, pero lo común es una espiga por planta. En el maíz la maduración del polen precede a la de los órganos femeninos. Para la fecundación es necesario que la temperatura sea superior a los 19 o 20 °C.

Llenado de Grano y Madurez:

La maduración del grano comprende diversas partes: madurez láctea, madurez pastosa, madurez completa y madurez muerte. Para la madurez del grano se necesita un ciclo vegetativo más largo con un verano asoleado con ocasionales

precipitaciones y un otoño seco (SRH, 1978). La tabla 2.3 muestra la duración en días de cada una de los Estados Fenológicos del maíz durante los diferentes tipos de Ciclos Vegetativos. El maíz como toda planta cultivada presenta una amplia variabilidad fenotípica, con diferentes tipos de ciclos vegetativos (Tardío, Medio y Precoz)

Tabla 2.3 Ciclos Vegetativos del Maíz

Estados Fenológicos del Maíz	Días(Ciclo Vegetativo Precoz)	Días(Ciclo Vegetativo Medio)	Días(Ciclo Vegetativo Tardío)
Siembra-Germinación	0-5 días	0-5 días	0-35 días
Establecimiento-Crecimiento	5-20 días	5-20 días	35-50 días
Floración-Fecundación(Necesidad de mayor cantidad de agua)	20-60 días	20-60 días	50-90 días
Llenado de Grano(Necesidad de Mayor cantidad de agua)	60-80 días	60-80 días	90-110 días
Madurez	80-110 días	80-140 días	110-170 días

Fuente: SRH, 1978

Elección de la variedad:

La elección de la variedad adecuada es la decisión más importante que debe tomar el agricultor. Los factores a tener en cuenta en la elección son:

Precocidad.

Capacidad productiva y adaptabilidad

Posibilidad de germinar a bajas temperaturas y el alto vigor juvenil.

Resistencia a plagas y enfermedades.

Adaptabilidad a la mecanización.



Destino de la futura cosecha.

Las principales razas que se utilizan en Tlaxcala son:

Maíz Pepitilla: De color blanco uniforme. Su producción se ubica en los estados de Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala

Maíz Blanco Tierra Fría: De color blanco con ligero matiz amarillento. Se produce en el Estado de México y en los estados de Tlaxcala, Puebla, Querétaro, Hidalgo, Chihuahua y Durango.

Maíz Ancho Blanco Se cosecha en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas, Veracruz Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Baja California Norte, Sonora, Colima, Jalisco, Chiapas, y Tlaxcala.

Maíz Palomero: Se usa únicamente en la industria de la transformación y se produce en los estados de México, Puebla y Tlaxcala.

Factores Edáficos:

El maíz se adapta a una amplia gama de condiciones edafológicas, pero se ve favorecido por suelos profundos, de consistencia media, con buen contenido de materia orgánica y bien drenados pero con suficiente capacidad de retención de agua.

Factores climáticos:

Temperatura:

Las exigencias climáticas del maíz se dirigen a valores relativamente altos, no tolera el frío a no ser que se sea por tiempo corto. En primavera resiste hasta

3.5°C y en otoño hasta 1.0°C, como valores mínimos y, como se ha dicho, por breves horas, en general la tabla 4.2 muestra el rango de temperaturas viables para el cultivo del maíz. Desde el punto de vista climático, unos de los inconvenientes del maíz para ampliar su distribución es la susceptibilidad de la planta a heladas, quizá por su origen tropical, lo que obliga a los agricultores a introducir variedades de ciclo muy corto donde éstas se presentan ya que el maíz pierde la viabilidad (fertilidad) de su polen a los 5°C.

Tabla 2.4 Rangos de temperaturas viables para el cultivo de maíz en el ciclo fenológico.

Estados Fenológicos del maíz	Requerimientos térmicos (grados centígrados)		
	Mínimo	Optimo	Máximo
1° Siembra-Germinación	12	20 a 25	37
2° Establecimiento-Crecimiento	15	20 a 30	37
3° Floración-Fecundación(Necesidad de mayor cantidad de agua)	20	20 a 30	30
4° Llenado de Grano(Necesidad de Mayor cantidad de agua)	20	20 a 30	30
5° Madurez	20	20 a 30	30

Fuente: SRH, 1978

Humedad:

Es exigente en cuanto a suministro de agua y no le es suficiente la humedad invernal de los campos. Es necesario que llueva durante el ciclo vegetativo o que se le administre agua mediante riego, esto indicará que se trata más bien de un cultivo de regadío.

Se considera al maíz más eficiente que la mayoría de los cultivos para el aprovechamiento de humedad, requiere 370 partes de agua para producir una parte de materia seca en grano y rastrojo, lo anterior, indica que las necesidades de agua del cultivo en condiciones óptimas son de 800 a 1200 mm durante su ciclo vegetativo (SRH, 1978).

Para nuestro país, donde la mayor parte del maíz se cultiva en temporal, la cantidad, distribución y eficiencia de la lluvia son factores fundamentales para la producción de maíz. La escasez de agua en cualquier etapa de desarrollo de la planta afectará a la cosecha, pero se ha confirmado que la deficiencia de agua en el suelo durante el período de floración y en el inicio de llenado de grano es particularmente crítica para el rendimiento de grano en maíz (SRH, 1978).



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

Está observación es muy importante ya que en algunas regiones de nuestro país se presenta la canícula o veranillo. Inicialmente Mosiño (Mosiño, 1986) al estudiar al fenómeno que llamó sequía intraestival estableció que la causa de la sequía al medio verano obedece a cambios en la circulación de la atmósfera que año con año tiene lugar en el Golfo de México. El fenómeno en cuestión tiene una duración diferente, dependiendo del área de que se trate y el mínimo de precipitación puede caer en junio, agosto o septiembre, estos son los meses en que el maíz sembrado entre Febrero y Junio llega a las etapas críticas en que la escasez de agua afecta directamente al rendimiento. (Mendoza A. S, 2001)

Otro aspecto importante para la producción de maíz en México, es la precipitación total anual. El promedio general de lluvias en México, alcanza 700-717 mm, el cual es bastante bajo y sitúa al país en su conjunto en los límites de la agricultura de temporal con bajos rendimientos. La escasez de agua no afecta en forma simultánea a todo el país sino que enormes extensiones del norte, noroeste, centro y sur sufren de sequía absoluta y relativa, por eso se observan notorios contrastes entre los sitios donde se precipita más de 4,500 mm al año como en algunas regiones de Chiapas, 3,500 mm en el sur de Tabasco y 2,500 mm en el sudeste de Veracruz por un lado y solamente 800 mm en Tlaxcala, 700 mm en los valles centrales de Oaxaca y centro de Sinaloa, 400 mm en Zacatecas y menos de 100 mm en Mexicali y la mayor parte de Baja California. (SRH, 1976).

Las áreas donde se pueden lograr buenas cosechas deben disponer de precipitación pluvial bien distribuidas y que acumulen más de 800 mm de lluvia entre los meses de mayo a noviembre.

Los requerimientos de precipitación para el maíz en todo su ciclo de desarrollo fluctúan entre los 800 y los 1200 milímetros. En la etapa de germinación es cuando el maíz requiere la menor cantidad de lluvia, tan sólo 80 milímetros, pero sus necesidades hídricas aumentan, sobre todo en la etapa de floración, que es cuando demanda 220 milímetros y 220 en la etapa de llenado de grano, mientras que para madurar le bastan 120 milímetros, según se aprecia en la tabla 2.5

Tabla 2.5 Requerimientos de precipitación en el ciclo fenológico del maíz.

Estados Fenológicos del maíz	Requerimientos hídricos (milímetros)		
	Mínimo	Óptimo	Máximo
1° Siembra-Germinación	80	120	160
2° Establecimiento-Crecimiento	160	180	260
3° Floración-Fecundación(Necesidad de mayor cantidad de agua)	220	260	280
4° Llenado de Grano(Necesidad de Mayor cantidad de agua)	220	260	280
5° Madurez	120	180	220
Total del ciclo vegetativo	800	1000	1200

Fuente: SRH, 1978

CAPITULO III

EVALUACION DE LOS CLIMAS BASE



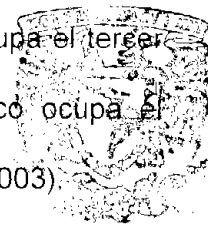
3.1. Selección de sitios de estudio

Los datos diarios de temperaturas máximas y mínimas así como de precipitación, se obtuvieron del sistema SICLIM así como del CLICLOM. Se escogieron 17 estaciones meteorológicas las cuales contaban con datos a partir de 1961. De estas 17 estaciones se obtuvieron resultados del Modelo Térmico-Hidrológico, del Modelo Termodinámico del Clima, el GFDLR30 y el CCCM. Cabe señalar que únicamente se escogieron cuatro municipios para realizar el análisis de Planificación agrícola por ser los principales productores del cultivo de maíz de temporal y en donde un eventual cambio climático afectaría directamente a la producción.

En la tabla 3.1 y en la figura 3.1 se muestran los cuatro municipios que fueron escogidos como casos de estudio Huamantla, Cuapixtla, Apizaco y Tlaxco; indicando su latitud, longitud y altitud. También se señala el número de estación y la serie de tiempo disponible en cada caso.

Los municipios citados en la tabla 3.1 representan los de mayor productividad del cultivo del maíz. Dichos municipios ocuparon los primeros lugares en la producción estatal de maíz en el año de 2003, aunque desde hace dos décadas están en los primeros lugares en la producción. Huamantla ocupa el primer lugar con una producción de 135,465.55 toneladas anuales, Cuapixtla ocupa el segundo lugar con una producción de 83,227.2 toneladas anuales, Apizaco ocupa el tercer lugar con una producción de 36,383.88 toneladas anuales y Tlaxco ocupa el cuarto lugar con una producción de 2,314.72 toneladas anuales (CEA, 2003).

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



PROGRAMA DE GEOLOGÍA
COORDINACIÓN



Se seleccionaron sólo sitios en donde la siembra del cultivo de maíz de temporal se realiza en el ciclo primavera-verano, por lo que para la evaluación agroclimática se presentan los valores de anomalías de estas dos estaciones.

Tabla 3.1 Ubicación, altura y series de tiempo de los sitios seleccionados

MUNICIPIO	ESTACION	LATITUD		LONGITUD	ALTITUD (msnm)	AÑOS
		NORTE	OESTE			
APIZACO	29002	19°25'	98°09'		2410	1961-2000
ATLANGA SAN JOSE	29003	19°33'	98°12'		2489	1961-2000
CUAPIXTLA	29005	19°17'	97°46'		2440	1961-2000
HUEYOTLIPAN, HUEYOTLIPAN	29010	19°29'	98°21'		2479	1961-2000
HUAMANTLA	29011	19°18'	97°54'		2485	1961-2000
NANACAMILPA	29017	19°28'	98°33'		2734	1961-2000
SAN ANTONIO CALPULALPAN	29019	19°35'	98°39'		2585	1961-2000
SAN BUENAVENTURA TLAXCO	29022	19°36'	98°19'		2532	1961-2000
ZITLALTEPEC, SANCHEZ	29026	19°11'	97°54'		2370	1961-2000
TOCOTLAN, TOCOTLAN	29027	19°23'	98°01'		2390	1961-2000
TLAXCALA XICOHTENCATL	29030	19°19'	98°14'		2247	1961-2000
TLAXCO, TLAXCO	29032	19°35'	98°07'		2530	1961-2000
ZOQUIAPAN CALPULALPAN	29034	19°35'	98°27'		2520	1961-2000
TEPETITLA LARDIZABA	29041	19°15'	98°22'		2245	1961-2000
PANZACOLA PAPALOTLA	29049	19°07'	98°13'		2183	1961-2000
EL ROSARIO TLAXCO	29052	19°39'	98°13'		2635	1961-2000
TERRENATE, TERRENATE	29053	19°28'	97°55'		2600	1961-2000

msnm=metros sobre el nivel del mar

Fuente: SICLIM y CLICOM



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

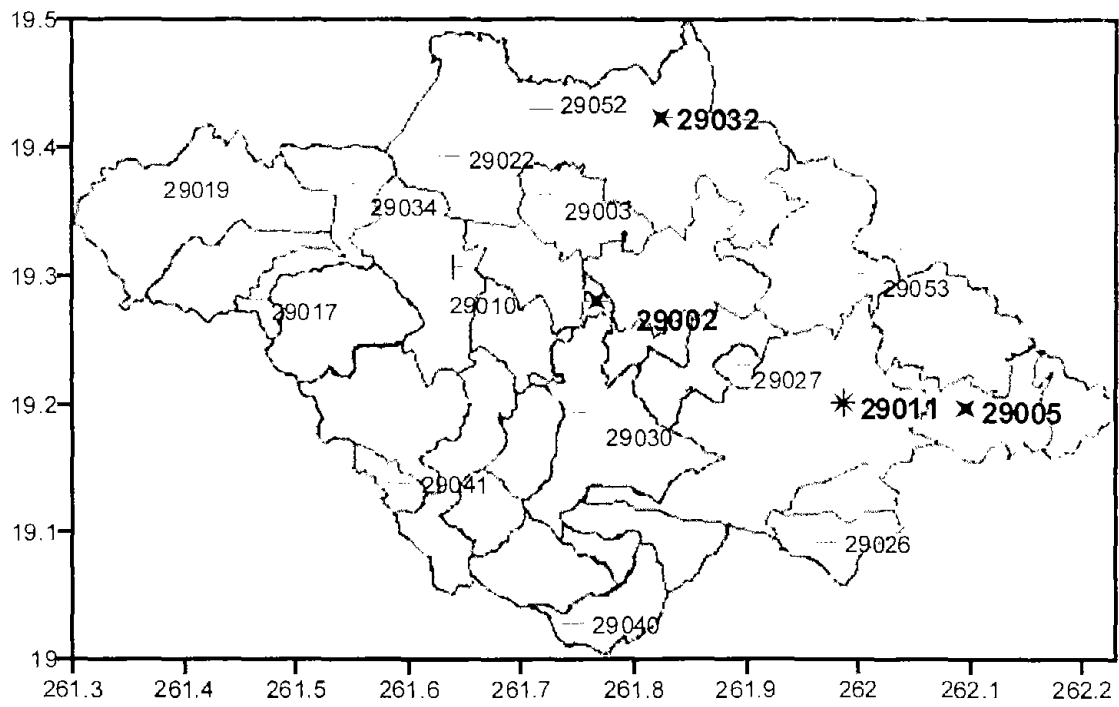


Figura 3.1 Localización de los sitios de estudio. Fuente: Mendoza A.S



3.2. Climas Base

Con los datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, se calcularon para todos los sitios los promedios mensuales para las series de tiempo mostradas en el cuadro 3.1. Esto permitió construir el clima pasado reciente (1961-1981) y el clima presente (1980-2000) para cada sitio.

En las figuras 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 se muestra los climas base para los municipios casos de estudio. Cabe señalar que se traslapa un año en cada uno de los climas base, esto debido a que se tomaron dos bases de datos el SICLIM y el CLICOM; el SICLIM tiene datos desde 1961 a 1990 y el CLICOM hasta el 2000, por lo que se hizo un promedio de ambos para obtener la base con 40 años de datos. En estas figuras la parte A corresponde al clima pasado reciente y la parte B corresponde al clima presente.

Se puede observar que en los cuatro casos de estudio (Apizaco, Cuapixtla, Huamantla, y Tlaxco) hay un cambio en la distribución de la precipitación de un clima a otro. En los municipios de Cuapixtla (Fig. 3.3) y Huamantla (Fig. 3.4) es notorio el fenómeno de la sequía intraestival en el clima de pasado reciente y se intensifica en el clima presente.

En particular Huamantla, la sequía intraestival se traslada de julio a agosto; el valor más alto de la temperatura máxima se presenta antes del período de lluvias



y alcanza valores cercanos al crítico en el rango que se considera como óptimo para el desarrollo de la planta.

En el municipio de Apizaco (fig. 3.2) es notorio el fenómeno de la sequía intraestival en el clima pasado reciente; pero disminuye en el clima presente, teniendo un incremento en la precipitación en el mes de agosto En Tlaxco (fig. 3.5) la sequía intraestival desaparece en el clima presente, teniendo un incremento en la precipitación en los meses de julio y agosto.



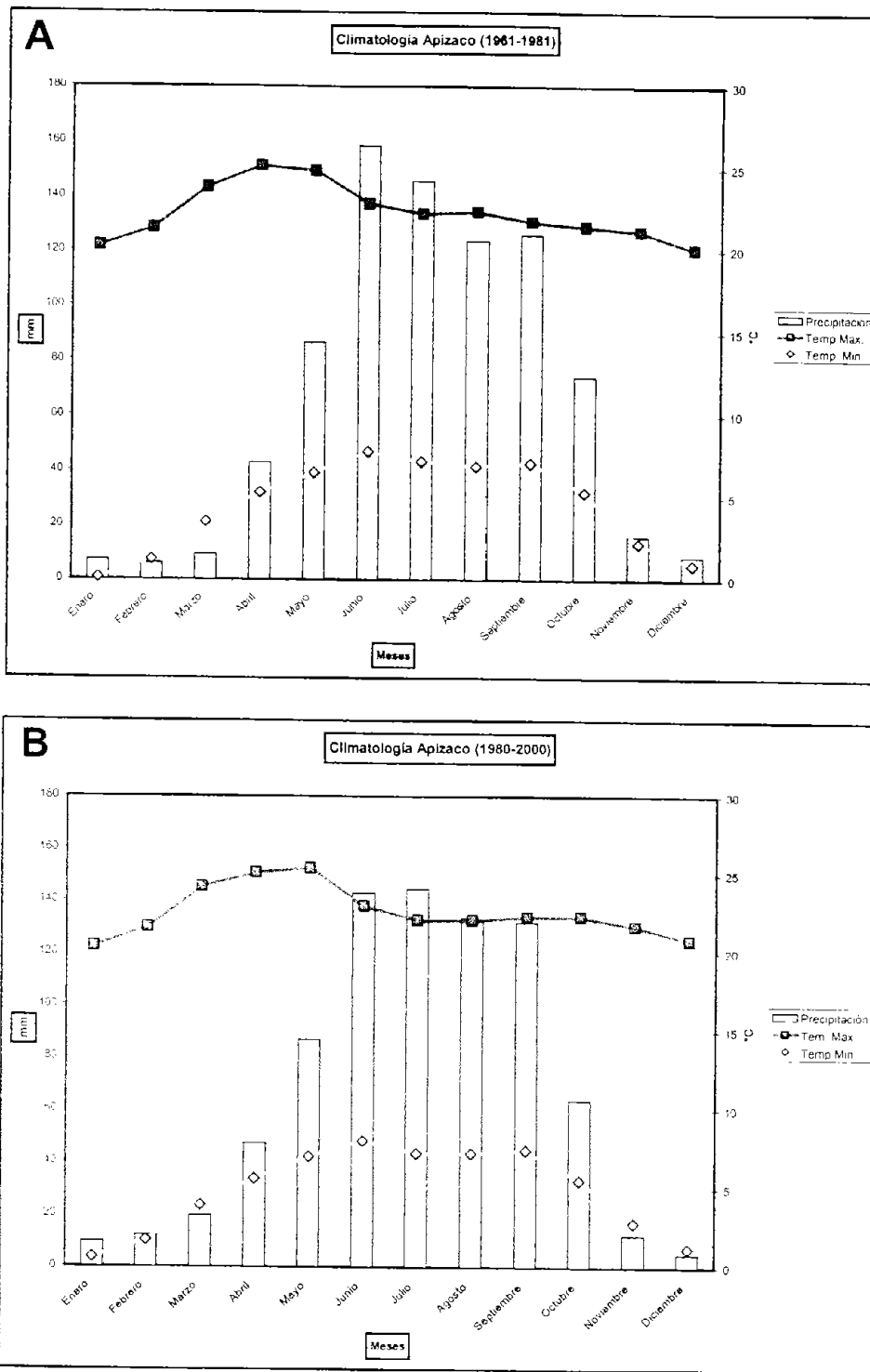


Figura 3.2 Distribución de la precipitación en Apizaco. A corresponde al clima pasado reciente y B corresponde al clima presente

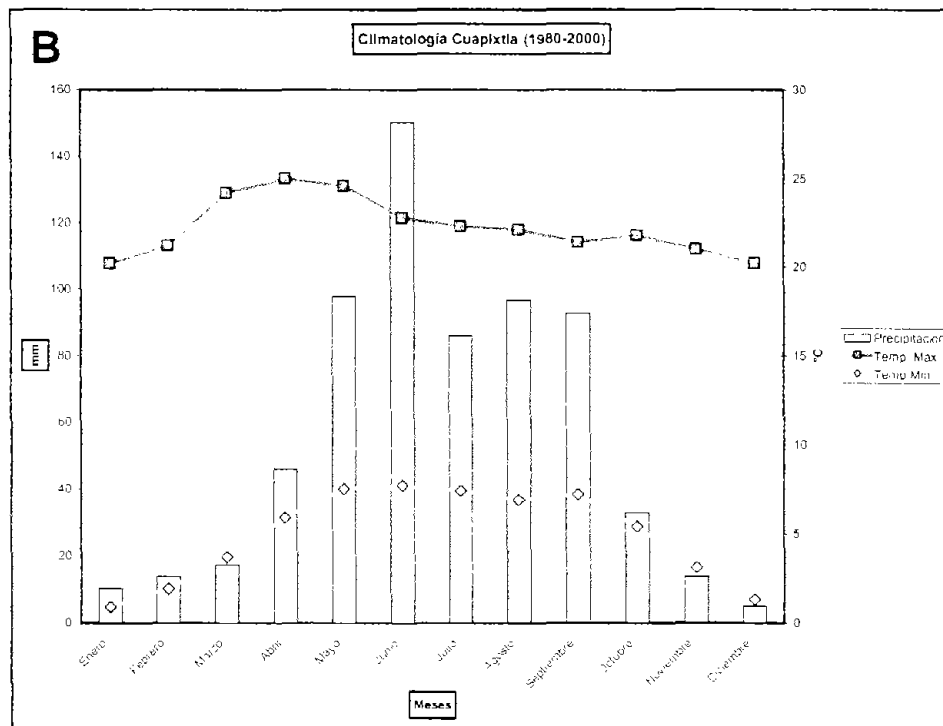
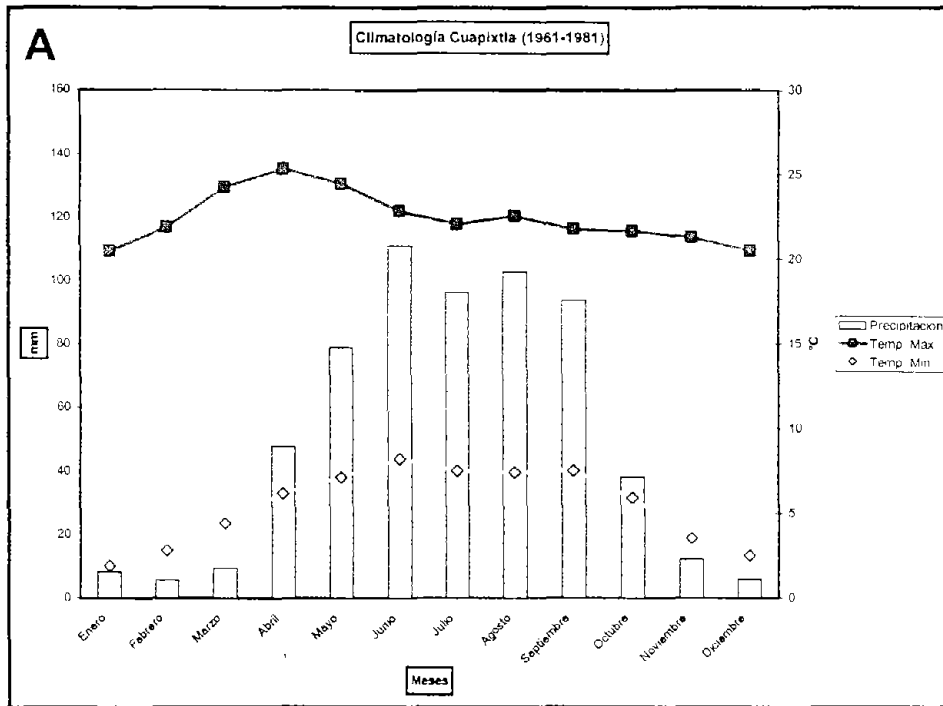


Figura 3.3 Como la figura 3.2 pero para Cuapixtla.



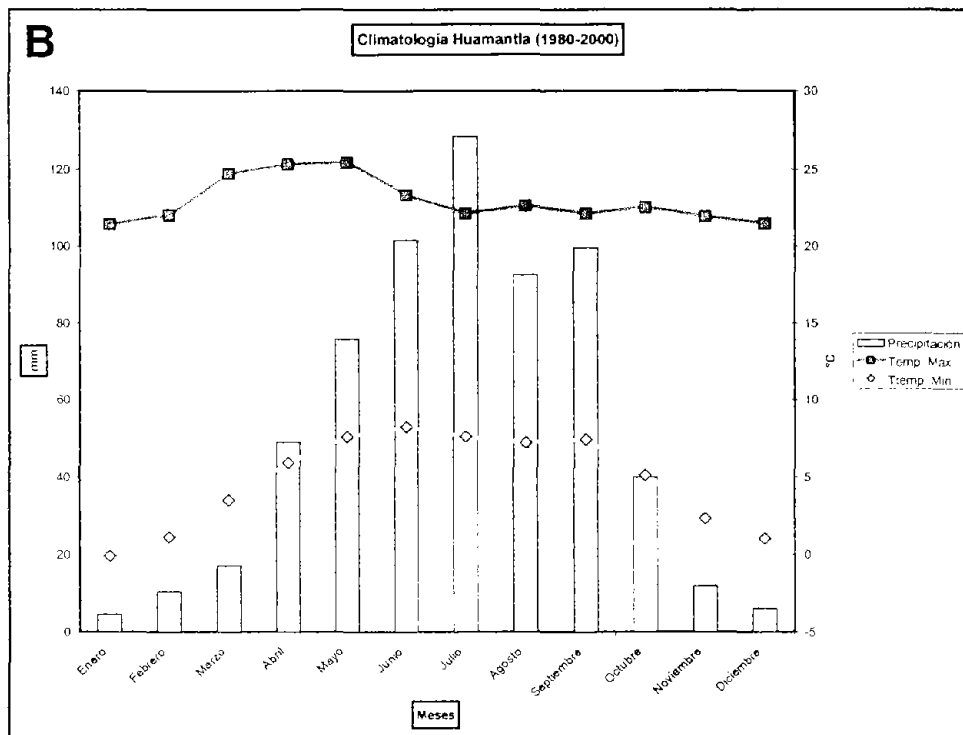
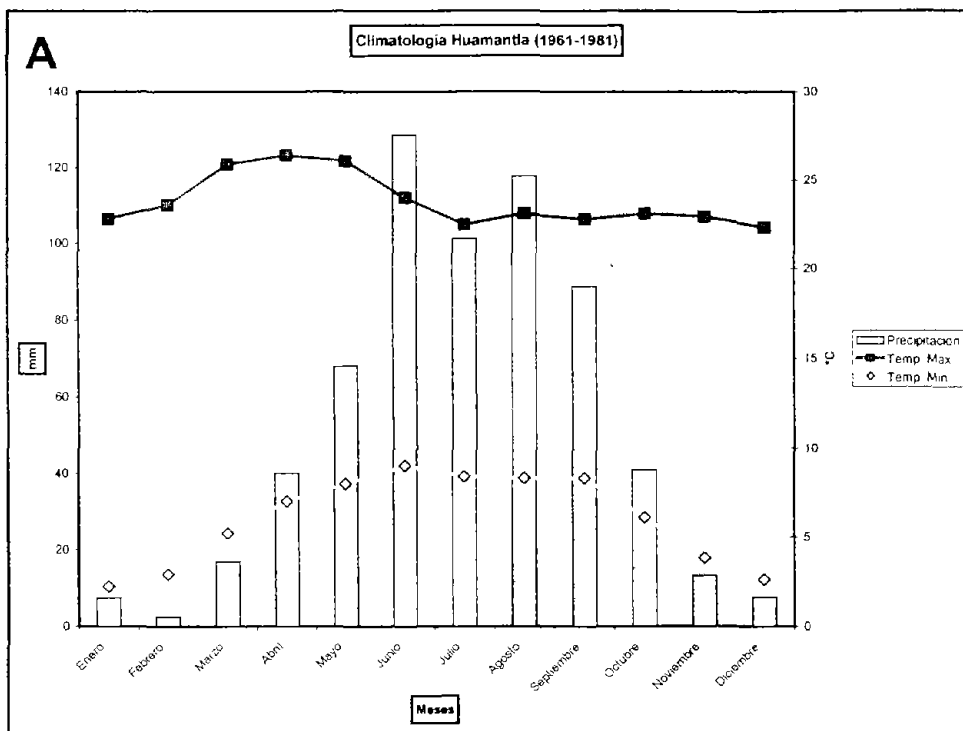


Figura 3.4 Como la figura 3.2 pero para Huamantla.



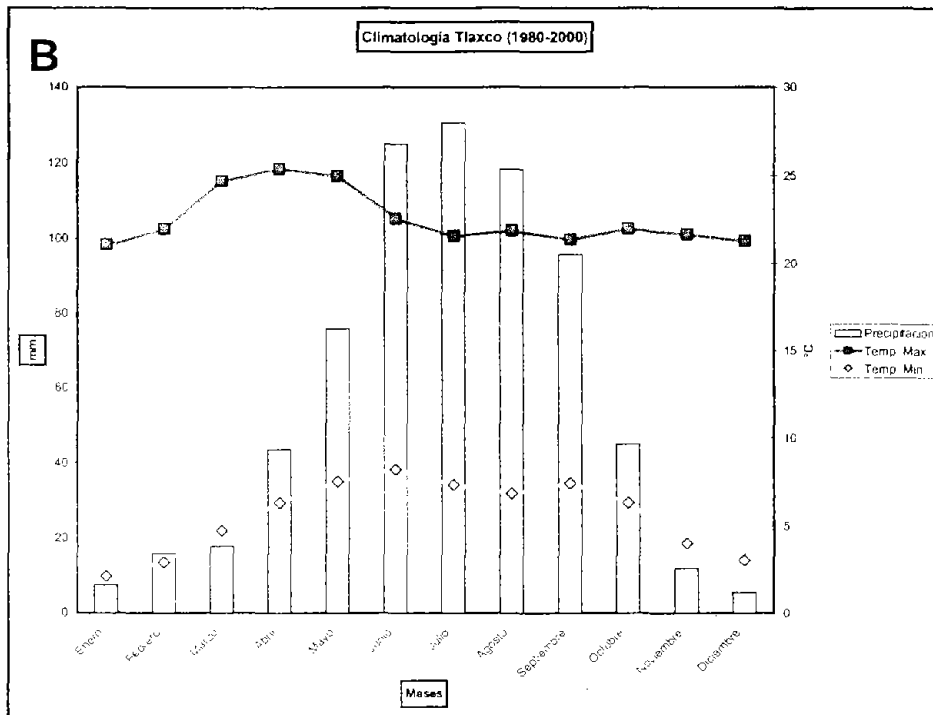
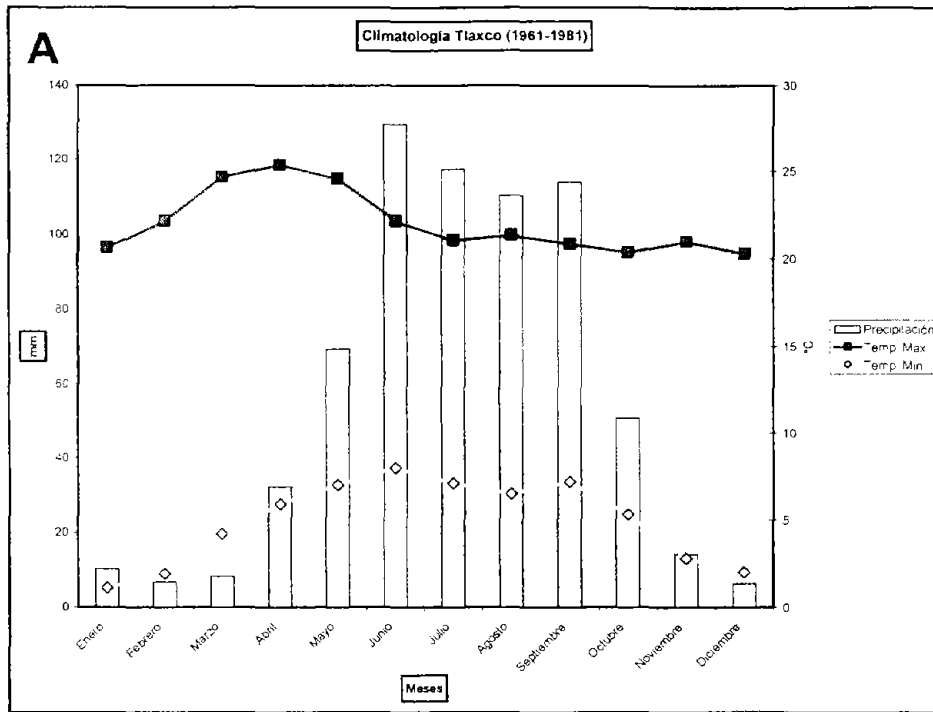


Figura 3.5 Como la figura 3.2 pero para Tlaxco.



3.3. Anomalías de Precipitación en los climas base

La producción de cultivos de temporal está determinada en gran parte por la cantidad de lluvia, bajo estas condiciones; la cuantificación de la precipitación pluvial en términos de probabilidad resulta de primordial importancia, ya que la mayoría de los casos, la lluvia es el factor clave para determinar el potencial de producción de una región dada.

El cálculo de probabilidades de lluvia tiene diferentes aplicaciones agrícolas, las que se utilizaron para este estudio fueron:

- a) Estimación de fecha de siembra, basada en una cantidad mínima de lluvia que asegure la germinación y establecimiento del cultivo.
- b) Cálculo de la cantidad mínima de lluvia que podría recibirse durante la etapa de desarrollo más crítica del cultivo (etapa reproductiva y de maduración).
- c) El uso de la precipitación para calcular la humedad en el suelo.
- d) El estudio de la relación entre la cantidad de lluvia y rendimiento, con fines de predecir el rendimiento con anticipación a la cosecha.

Para incrementar la producción de un cultivo, se requiere en primer lugar de un entendimiento de la variación en tiempo y espacio de las variables climáticas y su influencia sobre el rendimiento de los cultivos. De esta manera la cuantificación de la cantidad de precipitación pluvial en términos de probabilidades de ocurrencia y no de promedios aritméticos resulta de primordial importancia, pues la lluvia es el factor clave para determinar el potencial de producción de una región agrícola. Para el cálculo de probabilidad de lluvia pueden utilizarse diversos métodos: método de frecuencia, distribución acumulativa, distribución normal y distribución

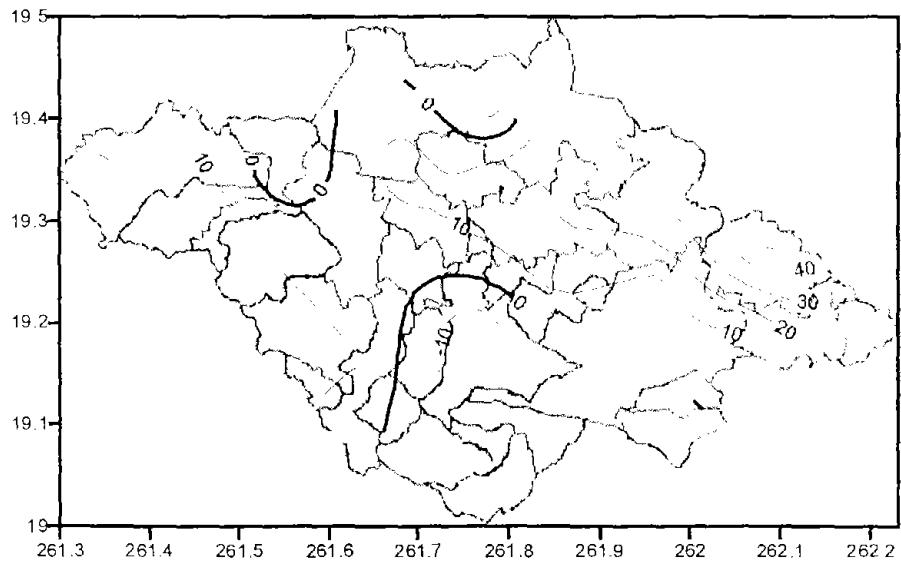


gama incompleta. En este trabajo se ha usado la distribución gama incompleta, pues con este método se puede obtener resultados más confiables. El método para calcular la distribución gama incompleta se obtuvo del libro "Metodología de Investigación Agroclimatológica" de Villalpando (1986). Para el procedimiento del cálculo se utilizaron los datos de lluvia diarios obtenidos como se mencionó con anterioridad, del sistema SICLIM así como del CLICLOM. Se utilizó el programa SURFER para interpolar los datos, de los 12 interpoladores del SURFER, el kriging fue el que mejor distribución espacial mostró en las gráficas de isolíneas, así mismo se utilizó una máscara de elevación de Tlaxcala para que las isolíneas no tocaran la Sierra de Tlaxco, ni el Volcán de la Malinche y partes por encima de los 2400 msnm. Según la distribución gama incompleta, la precipitación media para cada municipio caso de estudio tiene una probabilidad de 41%, es decir que 4 de cada 10 años se tendrá una lluvia igual o mayor que el promedio aritmético; este resultado es poco representativo, pues una planificación agrícola basada en una probabilidad tan baja es poco confiable. Por lo tanto, para hacer una mejor planificación agrícola, se estimó para cada municipio un año climático de precipitación para los dos climas base: pasado reciente (1961-1981) y presente (1980-2000) con una probabilidad de ocurrencia del 60%.

La figura 3.6 muestra las anomalías de precipitación al 60% de probabilidad de ocurrencia, las cuales son iguales a las variables en el clima presente (1980-2000) menos las variables en el clima pasado reciente (1961-1981). La parte A corresponde a la estación de primavera y la parte B corresponde a la estación verano.



A Cambios en la Precipitación entre el Periodo 1961-1981 y 1980-2000
Anomalías de Primavera



B Cambios en la Precipitación entre el Periodo 1961-1981 y 1980-2000
Anomalías de Verano

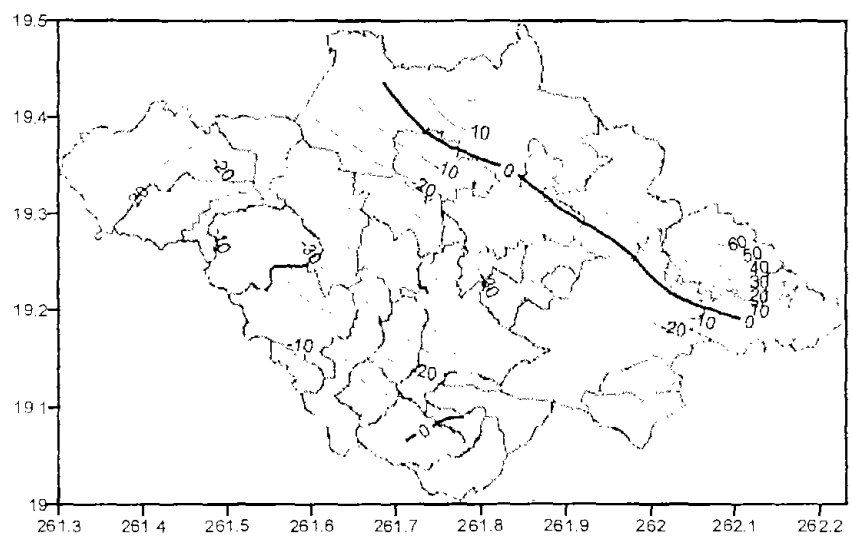


Figura 3.6 anomalías de Precipitación al 60% de probabilidad. A corresponde a la Estación de Primavera y B a la estación de Verano.

Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

Se puede observar que para la estación primavera hay un cambio con respecto al clima pasado de -12.55% para Tlaxco, 10.24% para Apizaco, 10.5% para Huamantla y 20.8% para Cuapixtla.

Para la estación Verano hay un cambio con respecto al clima pasado de 3.77% para Tlaxco, -9.34% para Apizaco, -8.05% para Huamatla y -4.35% para Cuapixtla.

Es decir que en la estación Primavera los municipios de Apizaco, Huamantla y Cuapixtla presentan un incremento en la precipitación para el clima presente (1980-2000) con respecto al clima pasado reciente (1961-1981); y en la estación Verano sucede lo contrario es decir hay una disminución en la precipitación en el escenario presente (1980-2000) con respecto al clima pasado reciente (1961-1981).

Para Tlaxco en la estación Primavera hay una disminución en la precipitación en el clima presente (1980-2000) con respecto al clima pasado reciente (1961-1981) y en la estación Verano hay un incremento de la precipitación de un clima a otro.



3.4. Anomalías de la Evapotranspiración Potencial (ETP) en los climas base

Una gran parte del agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación desde la superficie o a través de las plantas por transpiración.

La evapotranspiración potencial es el resultado por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, desde la superficie y a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, es decir, la evapotranspiración potencial es la suma de evaporación y transpiración y el término, sólo es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. Cuando ésta no existe, únicamente podrá hablarse de evaporación (E.Custodio et al.1983).

La evapotranspiración potencial (ETP), se define como la tasa de evaporación de un cultivo sano, de altura uniforme y que cubre el suelo de manera uniforme y sin limitaciones de humedad en el suelo.

Otro concepto importante en agroclimatología es la evaporación potencial de un cultivo ETC, ésta se define como la tasa de evaporación de un cultivo creciendo sano bajo condiciones óptimas de suelo. La ETC incluye pérdida de agua por transpiración y por evaporación del suelo.

La ETC se determina por medio de la ecuación:

$$ETC = k_c \bullet ETP \quad (3.4.1)$$

donde k_c es el coeficiente de cultivo el cual varía dependiendo de la etapa de desarrollo de la planta.

Existen métodos de balance hídrico, incluyendo los lisímetros y métodos micrometeorológicos diseñados para medir la evaporación potencial (E.Custodio et



all.1983); sin embargo, la evaporación potencial puede ser determinada a través del cálculo de la evaporación potencial en donde se usan únicamente variables climatológicas.

La evapotranspiración potencial para el clima pasado reciente (1961-1981) se tomo como la evaporación observada en los evaporímetros "Tanque tipo A" y fue extraída de la base de datos del SICLIM. La evapotranspiración potencial para el clima actual clima presente (1980-2000) se calculo con la siguiente fórmula:

$$ETP = E_{PNOB} + (E_{PP} - E_{PPN}) \quad (3.4.2)$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial calculada, E_{PNOB} es la evaporación potencial normal observada (de tanques tipo A) y E_{PP} Es la evaporación potencial calculada por el método de Penman y E_{PPN} su correspondiente valor normal calculado. Para el cálculo de E_{PP} se usó la temperatura máxima y la temperatura mínima del clima presente (1980-2000).

El procedimiento del cálculo de la evaporación potencial por el método de Penman se obtuvo del libro "Hidrología Subterránea" de E.Custodio et al.(1983).El método es detallado de la pagina 327 a la 329. Los datos climáticos usados, a excepción de la temperatura del aire en superficie, se obtuvieron del Atlas de la República Mexicana (1976). Para la temperatura del aire en superficie se usaron los datos diarios del SICLIM y CLICOM.

La figura 3.7 muestra las anomalías de evapotranspiración potencial, las cuales son iguales a las variables en el clima presente (1980-2000) menos las variables



en el clima pasado reciente (1961-1981). La parte A corresponde a la Estación de Primavera y la parte B corresponde a la estación Verano.

Se puede observar que para la estación Primavera hay un cambio con respecto al clima pasado del -7.9% para Apizaco, -5.1% para Huamantla, -10.8% para Cuapixtla y -13.9% para Tlaxco.

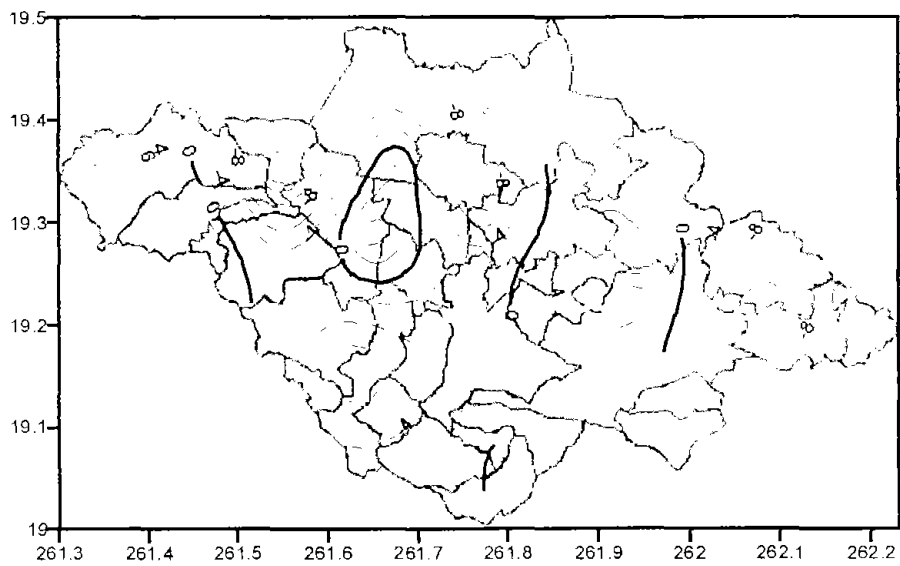
Para la estación Verano hay un cambio con respecto al clima pasado de -1.3% para Apizaco, -8.7% para Huamantla, -2.7% para Cuapixtla y -2.5% para Tlaxco.

Cabe mencionar que en los cuatro municipios disminuyó -2mm respectivamente de la estación Primavera a la estación Verano.

Esto quiere decir que en las dos estaciones Primavera y Verano disminuyó la evapotranspiración en el clima presente (1980-2000) con respecto al clima pasado reciente (1961-1981).



A Cambios en Evapotranspiración Potencial entre el Periodo 1961-1981 y 1980-2000
Anomalías de Primavera



B Cambios en Evapotranspiración Potencial entre el Periodo 1961-1981 y 1980-2000
Anomalías de Verano

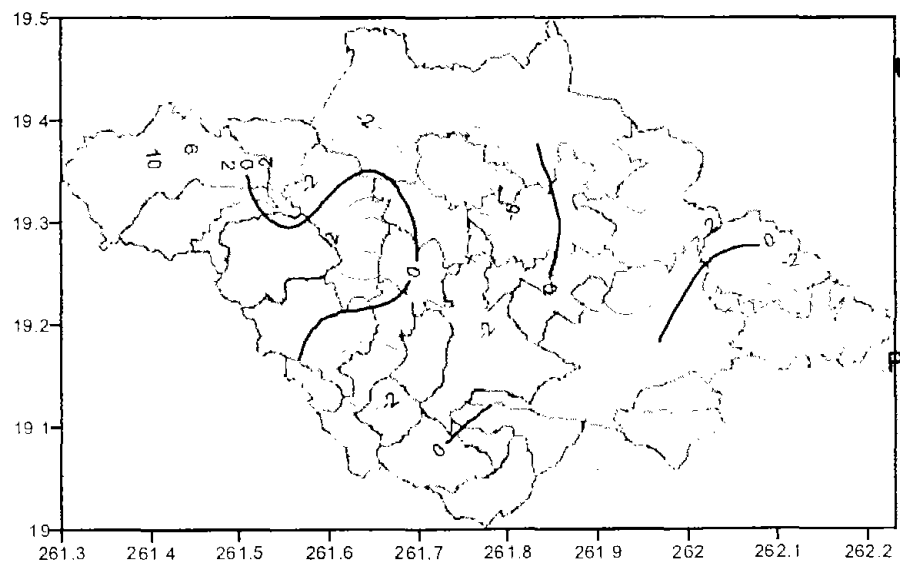


Figura 3.7 anomalías de la Evapotranspiración Potencial. A corresponde a la Estación de Primavera y la B corresponde a la estación de Verano.

3.5. Anomalías de Humedad del Suelo en los climas base

De gran interés fue estimar el grado de humedad del suelo al momento de la siembra, lo cual es de suma importancia para incorporar la humedad inicial del suelo en el balance hídrico decenal del cultivo, el cual se expondrá en la siguiente sección.

Para conocer la lámina de agua que un suelo es capaz de almacenar y que puede ser aprovechada por las plantas, es necesario conocer primero la capacidad de campo, CC, y el punto de marchitez permanente PMP.

En la mayoría de los suelos la CC se obtiene llevando al suelo a condiciones de humedad de saturación mediante lluvia o riego y dejando drenar por gravedad el exceso de agua (agua gravífica) por un período de 2 a 4 días; después de ese tiempo se determina la cantidad de agua que la muestra de suelo ha retenido y esa cantidad será la CC. Normalmente la CC se expresa en porcentajes o también en mm.

El PMP se determina, sometiendo a 12 atmósferas de tensión una muestra de suelo saturado que ha perdido su agua gravífica. Si el suelo tiene una humedad menor o igual al PMP, resulta que la fuerza de succión de las raíces no es suficiente para extraer el agua del suelo y en consecuencia la planta se marchita. Por lo tanto, la máxima humedad del suelo, H_{max} , disponible para las plantas está dada por:

$$H_{max} = CC - PMP \quad (3.5.1)$$

Donde H_{max} , CC y PMP se expresan en mm.



La humedad del suelo es estimada usando un modelo simple de balance hidrológico propuesto por Manabe (1969), en donde la humedad está dada por:

$$H = H_p + P_p - E_p \quad (3.5.2)$$

Donde H y H_p son la humedad del suelo (en mm) en el día actual y en el día previo respectivamente, P_p y E_p son la precipitación y la evaporación del suelo (ambas en mm/día) en el día previo, respectivamente.

Se supone que si el suelo está completamente saturado, entonces evapora a una razón igual a la de la evapotranspiración potencial ETP y que si no lo está entonces evapora con una razón igual a una fracción de ETP, esta condición está expresada por:

$$E = \frac{H}{H_{max}} ETP \quad (3.5.3)$$

Donde E es la evaporación del suelo (en mm/día).

La ecuación 3.6.3 es valida si $H < H_{max}$, si por el contrario $H_{max} > H$, entonces $E = ETP$ y el exceso, $H - H_{max}$, se escurre, quedando:

$$Q = H - H_{max} \quad (3.5.4)$$

Donde Q es el escurrimiento (en mm). Dado que el exceso de humedad se escurre, el suelo queda saturado, condición que se expresa tomando $H = H_{max}$ cuando H resulta mayor que H_{max} .

En la ecuación 3.6.2 la evaporación del suelo en el día previo, E_p , se calcula usando en la ecuación 3.6.3 con valores de H y ETP del día previo.



Para la capacidad de campo se usó una lámina de 15cm, este valor comúnmente usado en modelos sencillos de balance de agua Manabe (1969); para el punto de marchitez permanente hemos usado, de acuerdo con Ritter W. del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM (Walter R.1991,1992,1996), la mitad de la capacidad de campo; es decir $PMP=1/2 CC$; de esta manera de acuerdo con la ecuación 3.5.1 se tiene que $H_{max}= 75mm$.

Hemos calculado el ciclo anual climatológico de humedad del suelo en cada uno de los 4 municipios de estudio, usando en la ecuación 3.5.2 los valores de precipitación al 60% de probabilidad y evapotranspiración potencial del ciclo anual climatológico correspondiente. Estos valores que son cantidades acumuladas en 10 días han sido divididas entre 10; y de esta manera hemos usado valores medios diarios de P y ETP en la ecuación 3.5.2 y en la ecuación 3.5.3.

La ecuación 3.5.2 es aplicada día por día usando los valores de H y E calculados en el día anterior, el proceso se continua por varios años (climatológicos) hasta que el valor medio de H calculado para cualquier decena, por ejemplo la decena 9, coincide aproximadamente con el calculado en la decena 9 del año climatológico anterior, esta condición se logra a partir del 5° año climatológico de corrida. Con este método el año climatológico obtenido para H no depende de la condición inicial usada para H. Sin embargo en los 4 municipios las corridas fueron iniciadas tomando $H=H_{max}/2$ como condición inicial.

La figura 3.8 muestra las anomalías de humedad del suelo, las cuales son iguales a las variables en el clima presente (1980-2000) menos las variables en el clima



pasado reciente (1961-1981). La parte A corresponde a la Estación de Primavera y la parte B corresponde a la estación Verano.

Se puede observar que para la estación primavera la anomalía de la humedad del suelo en los cuatro municipios de estudio es positiva, lo cual corresponde a un cambio con respecto al clima pasado de 9.5%, 16.9%, 27.8% y 13.3% respectivamente

En cambio para la estación Verano la anomalía de humedad en el suelo en los cuatro municipios es negativa, lo cual corresponde a un cambio con respecto al clima pasado de -7.6%, -4.6%, -5.2% y -4.3% respectivamente

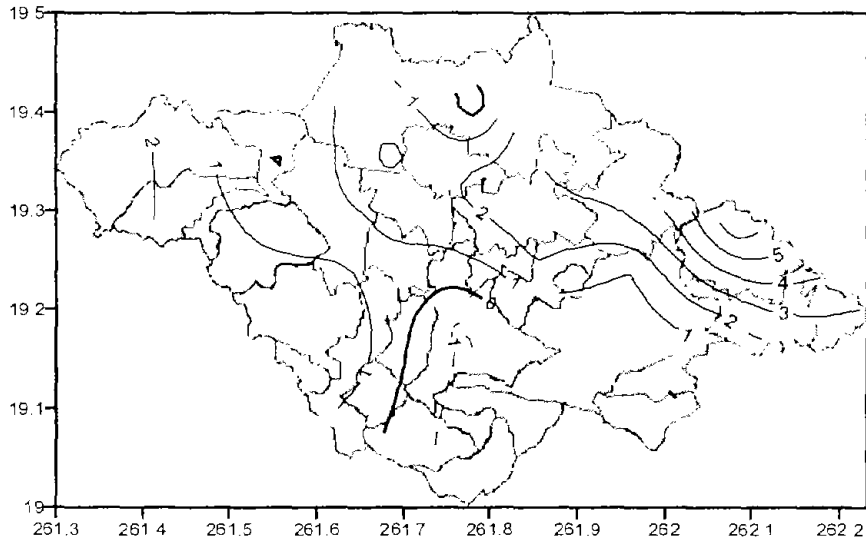
Esto quiere decir que para la estación Primavera se incrementó la humedad en el suelo en el clima presente (1980-2000) con respecto al clima pasado reciente (1961-1981) pero en la estación Verano disminuye la humedad del suelo en el clima presente (1980-2000) con respecto al clima pasado reciente.

Cabe mencionar que los requerimientos máximos de humedad del cultivo del maíz de temporal ocurren en Verano que es cuando el cultivo se encuentra en sus estado fenológicos floración-fecundación y llenado de grano.



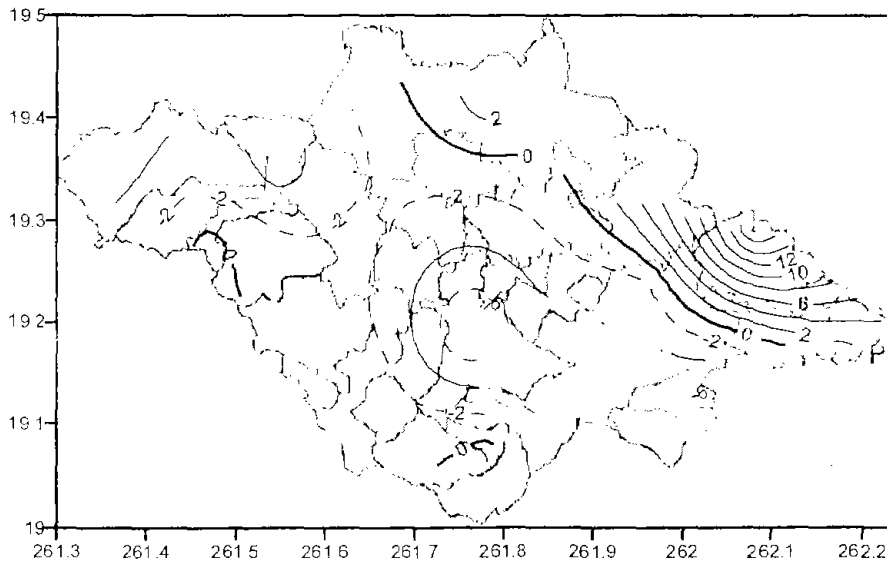
A

Cambios en Humedad del Suelo entre el Periodo 1961-1981 y 1980-2000
Anomalias de Primavera



B

Cambios en Humedad del Suelo entre el Periodo 1961-1981 y 1980-2000
Anomalias de Verano



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
COORDINACION

Figura 3.8 anomalías de Humedad del Suelo. A corresponde a la Estación de Primavera y la B corresponde a la estación de Verano.



3.6. Estación de Crecimiento en los climas base

Uno de los parámetros más importantes en la evaluación de los recursos agroclimáticos en una región, es la determinación de los períodos o estaciones de crecimiento disponibles para el desarrollo de cultivos. La estación de crecimiento básicamente está determinada por la disponibilidad de agua y temperatura favorable para el desarrollo y producción de cultivos.

Se ha encontrado que en climas templados, subhúmedos y con lluvias de verano, como el caso de Tlaxcala, las necesidades de agua para la adecuada germinación de los cultivos se satisfacen de manera general cuando la precipitación excede a la mitad de la ETP, concretamente cuando $P > \frac{1}{2}$ ETP. De esta manera, el inicio del período de crecimiento ocurre cuando $P > \frac{1}{2}$ ETP (Villalpando, 1983).

Como inicio del período de crecimiento también puede usarse el inicio de la estación de lluvias, el cual se da cuando la lluvia acumulada en un período de 7 a 10 días es mayor o igual a los 25 mm.

Para una región de clima templado y subhúmedo la terminación del período de crecimiento ocurre cuando $P = \frac{1}{2}$ ETP, el cual puede coincidir con el término de la estación lluviosa; es decir, cuando la lluvia acumulada en 7 a 10 días sea igual a 25 mm.



La mitad de la evapotranspiración potencial en Cuapixtla y la precipitación al 60% de probabilidad acumuladas en 10 días; así como la temperatura mínima del aire obtenida de los datos del SICLIM y CLICOM, son mostradas en la Figura 3.9, la parte A corresponde al clima pasado reciente (1961-1981) y la parte B corresponde al clima presente (1980-2000).

Se observa que para el clima pasado reciente el inicio del período de crecimiento ($P > \frac{1}{2}$ ETP) ocurre aproximadamente en la decena 17 (19 de Junio) y termina en la decena 28 (07 de Octubre), dando un período de 110 días. Sin embargo, es importante hacer notar que el período de crecimiento se ve interrumpido de la decena 21 a la 26 (29 de Julio al 17 de Septiembre) por la sequía intraestival, la cual dura 50 días período en el cual se da un considerable déficit de agua.

En el clima presente el inicio del período de crecimiento ($P > \frac{1}{2}$ ETP) es en la decena 16 (09 de Junio) y termina en la decena 26 (07 de Septiembre) dando un período de 100 días. La sequía intraestival interrumpe de manera dramática el período de crecimiento en la decena 19 (09 de Julio) durando 70 días hasta la decena 26 (07 de Septiembre) no permitiendo la recuperación de humedad en el suelo.

En algunas regiones de Tlaxcala, estadísticamente es más probable que se den eventos de heladas con temperaturas por debajo de los 6°C (W. Ritter Ortiz, *et al.*,



1991). De esta manera el período durante el cual la temperatura mínima esta por arriba de 6°C es, es primera aproximación, un período libre de heladas.

La Figura 3.9 muestra que para ambos climas el período de temperaturas favorables para el cultivo está dentro del período en donde la disponibilidad de agua para el cultivo (excepto por la sequía intraestival) es favorable.

Los periodos de crecimiento para las otras tres estaciones de Huamantla, Tlaxco y Apizaco son respectivamente de 94 días, 105 días y 108 días para el clima pasado reciente. Para el clima presente son respectivamente de 83 días, 95 días y 98 días siendo interrumpidos en menor o mayor grado por la sequía intraestival. En los tres municipios mencionados se tienen temperaturas mínimas favorables superiores a 6°C dentro de los períodos mencionados.

El maíz sembrado en Cuapixtla, Huamantla, Tlaxco y Apizaco es el híbrido H-311, H-30, H-311 y H-28 respectivamente. En todos los casos su período de siembra a madurez es de 170 días en total.

La segunda limitante que encontramos para el buen desarrollo del cultivo, después de la sequía intraestival, es que el período de siembra a madurez excede, en los cuatro municipios de estudios, al período de crecimiento; para el caso de Cuapixtla en el clima pasado reciente el exceso es de 60 días; y para el clima presente el exceso es de 70 días.



El otro problema con el que nos enfrentamos es la fecha de siembra. En el caso de Huamantla es el 1º de abril (decena 10) y para los otros 3 municipios es el 31 de Marzo (decena 9). En todos los casos la fecha de siembra está alejada en el clima pasado reciente más o menos 80 días del inicio de la estación de crecimiento, es decir cuando el suelo tiene un contenido de humedad pobre. Para el clima presente esta alejada más o menos 70 días. La razón de estas fechas de siembra tan pocas favorables para el cultivo obedece a causas socio-económicas y políticas:

“La razón por la cual los agricultores de Tlaxcala siembran en condiciones tan desfavorables para el maíz; es por el miedo a las heladas y por no contar con recursos económicos para comprar una semilla de período más corto”
(Asociación de productores agrícolas en Tlaxcala, 2004)



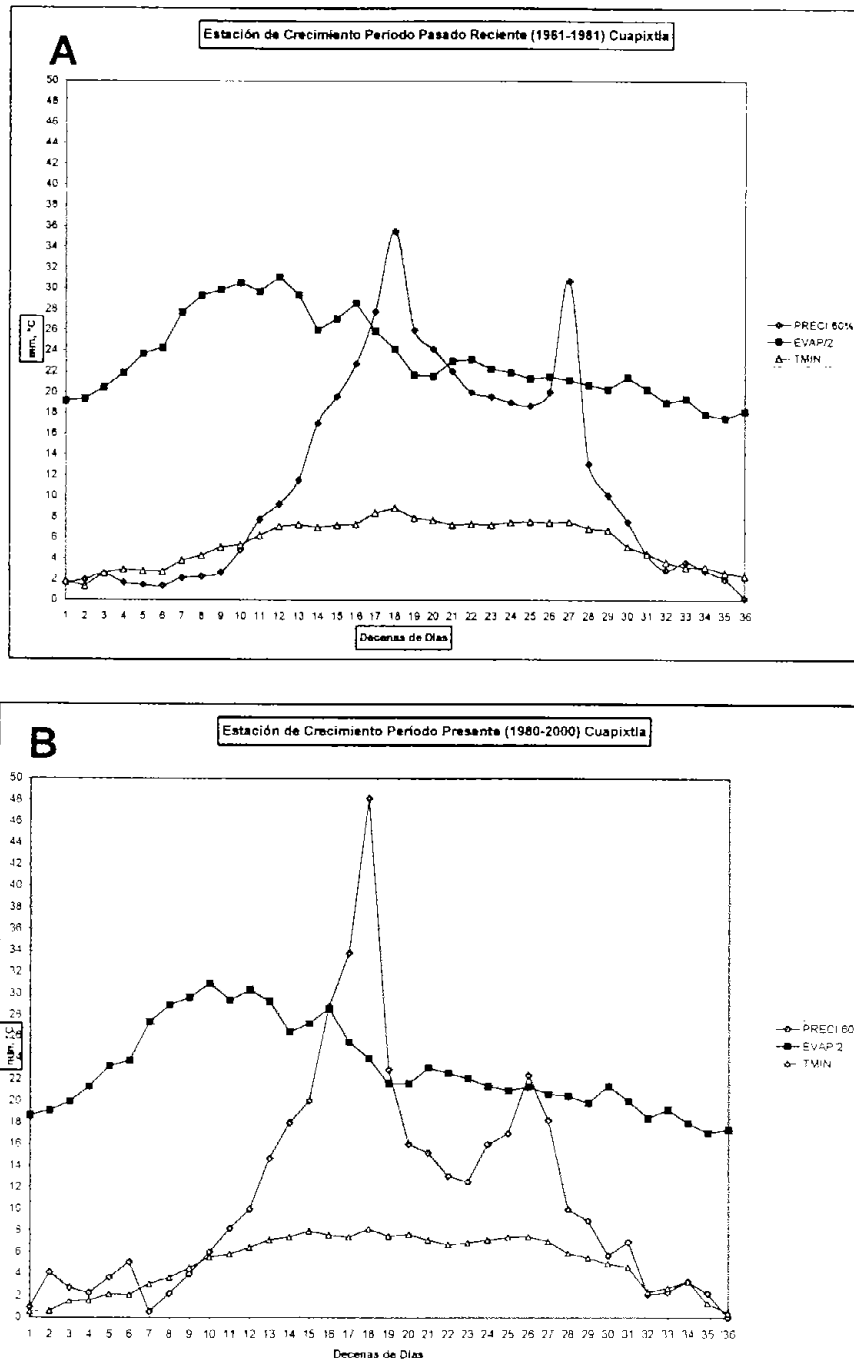


Figura 3.9 Mitad de la evapotranspiración potencial en Cuapixtla y la precipitación al 60% de probabilidad acumuladas en 10 días; así como la temperatura mínima del aire. La parte A corresponde al clima pasado reciente y la parte B corresponde al clima presente



La figura 3.10 es semejante a la figura 3.9, sólo que en lugar de graficar la temperatura mínima hemos representado con dos segmentos de línea gruesa los periodos de siembra-madurez, de 170 días cada uno.

Los dos segmentos de rectas se han subdivido señalando los inicios y periodos de cada estado fenomenológicos del maíz; SG corresponde a siembra-germinación, EC al establecimiento-crecimiento, FF a floración-fecundación, LG a llenado de grano y MA a madurez. En el clima pasado reciente los estados SG, EC y FF en donde la humedad del suelo es crítica tienen una carencia importante de agua, el estado LG se ve favorecido por el inicio de la estación lluviosa y buena parte del MA se ven afectados por la sequía intraestival.

Para el caso del clima presente, los estados SG, EC y la mitad de FF tienen una carencia importante de agua, la segunda mitad del estado FF y la mitad de LG se ven favorecidos por el inicio de la estación lluviosa, la segunda mitad del estado LG y todo el estado MA se ven afectados por la sequía intraestival.



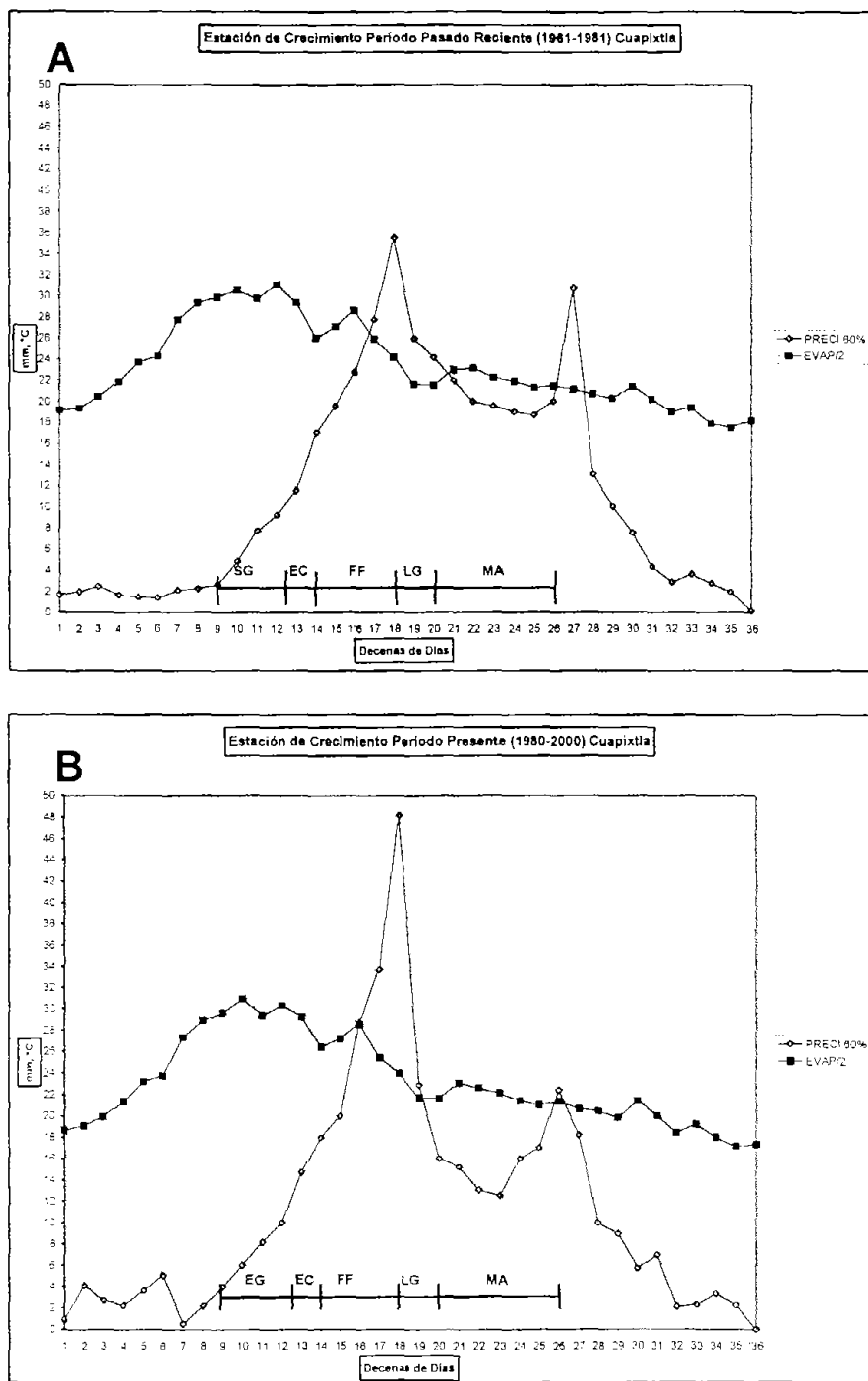


Figura 3.10 Un segmento de línea gruesa representa el periodo de siembra-madurez de 170 días. Su inicio es en la decena 9 (31 de Marzo) que corresponde a la fecha de siembra usada tradicionalmente por los campesinos de Cuapixtla. La A corresponde al clima pasado reciente y B corresponde al clima presente.

3.7. Balance hídrico del maíz en los climas base

La división de producción y protección de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) ha formulado un método de pronóstico de rendimiento de cosechas basado en un método de balance hídrico que utiliza datos agroclimáticos. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación FAO, 1980). El método permite calcular un índice agroclimático el cual resulta ser proporcional a las necesidades hídricas del cultivo que pudieran ser satisfechas en el balance hídrico; concretamente, si las necesidades hídricas del cultivo son satisfechas en un 100%, entonces el índice agroclimático resulta ser de 100%.

El método de la FAO utiliza una ecuación de balance semejante a la ecuación 3.5.2. usada en la sección anterior para determinar la humedad del suelo, pero en lugar de usar la evaporación del suelo dada por la fórmula 3.4.2, se usa la evapotranspiración del cultivo dada por la fórmula 3.4.1.

En este caso E_c es identificada con las necesidades hídricas del cultivo y se denota por NH . De esta manera, la ecuación de balance, la cual se aplica por decenas de días está dada por:

$$R_s = R_{sp} + L_p - NH \quad (3.7.1)$$

Donde R_s y R_{sp} son las reservas de agua del suelo, en mm, en la decena actual y en la decena previa, respectivamente; L_p es la lámina precipitada (en mm) en 10 días y NH las necesidades hídricas del cultivo (en mm) en 10 días.



Si $R_s > 0$ el déficit hídrico del cultivo, denotado por D , es igual a cero; si por el contrario, en la ecuación 3.7.1 $R_{sp} + L_p - NH < 0$, entonces $R_s = 0$ y $D = R_{sp} + L_p - NH$; por lo que D siempre es menor o igual a cero.

Si $R_{sp} + L_p - NH > H_{max}$, donde $H_{max} = 75\text{mm}$ ha sido determinada en la sección anterior, entonces el exceso $R_s - H_{max}$ se escurre y R_s toma el valor de H_{max} , es decir, $R_s = H_{max}$.

En general las necesidades hídricas del cultivo no son satisfechas completamente; entonces si denotamos por ADP al agua disponible para la planta, se tiene que:

$$ADP = NH + D \quad (3.7.2)$$

La curva para el coeficiente de cultivo del maíz híbrido con un período vegetativo de 170 días ha sido obtenida de Villalpando (1983) y está dada en la figura 3.11 en donde se muestra también sobre recta horizontal los estados vegetativos del maíz y su período de duración.

De acuerdo a la figura 3.11 podemos considerar las siguientes etapas del maíz:

Primera etapa: De la fase de germinación hasta la fase de la fecundación, el K_c aumenta de 0.3 en germinación hasta 1.1 al final de la fecundación.

Segunda etapa: Abarca todo el llenado de grano, el K_c va de 1.1 al inicio de esta etapa hasta terminar en 1.03.

Tercera etapa: Abarca toda la madurez del grano, el K_c va de 0.93 al inicio hasta terminar en 0.4.

La tabla 3.2 muestra el balance hídrico para el maíz de 170 días, para el municipio de Cuapixtla en el clima pasado reciente (1961-1981) En los renglones tercer y cuarto se muestra la lámina de precipitación, al 60% de probabilidad, y la

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
COORDINACIÓN



evapotranspiración potencial, ambas en mm. El quinto y sexto renglones muestran el coeficiente de cultivo K_c y las necesidades hídricas $NH=K_cETP$ (en mm). El séptimo renglón muestra la diferencia $Lp-NH$ (en mm) y el octavo renglón muestra la reserva de humedad del suelo, en el octavo renglón las láminas de 2.53 y 3.08 mm en las decenas 7 y 8 respectivamente corresponden a la humedad del suelo, calculada en la sección anterior, en las dos decenas previas a la fecha de siembra (decena 9). De acuerdo con la ecuación 3.7.1 tenemos que en la decena 9 (fecha de siembra), la cantidad $R_{sp}+Lp-NH=-12.2$; es decir la humedad en la decena previa de 3.08 mm no es suficiente para compensar el déficit $Lp-NH=-15.28$, no quedando ninguna reserva de agua en el suelo ($R_s=0$). En el noveno y décimo renglones se muestra el déficit del cultivo y el agua disponible.

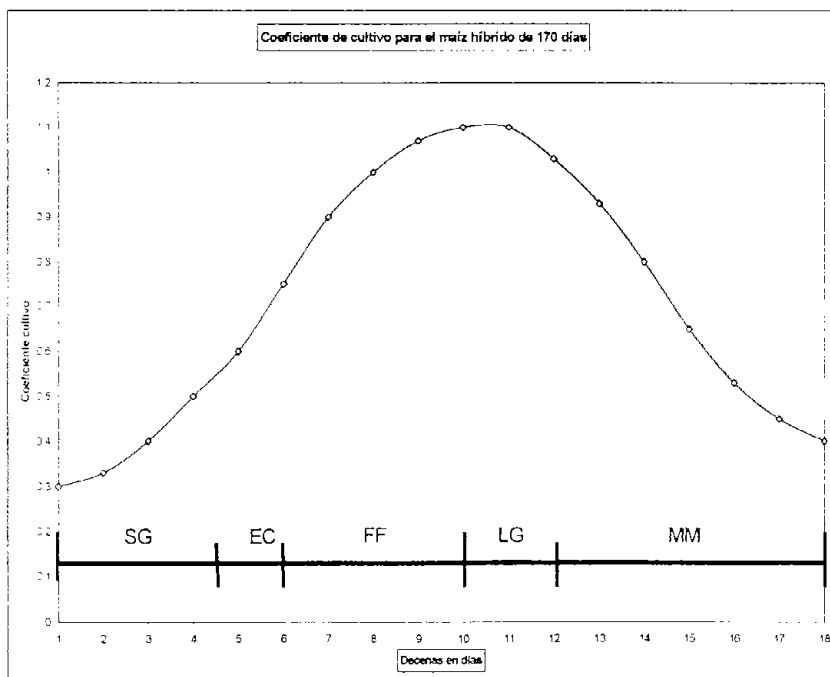


Figura 3.11 Etapas del maíz y coeficientes decenales del cultivo que indican la fracción de la ETP que se considera como necesidades hídricas de un determinado cultivo y varían según la etapa fenológica del mismo (Villalpando, 1986).

Finalmente en los últimos renglones se muestra el total de las necesidades hídricas del maíz $\sum NH=631.13$ mm y el total del agua disponible $\sum ADP=319.7$ mm; así como el índice agroclimático $IA=50\%$, calculado con la fórmula:

$$I_A = \frac{\sum ADP}{\sum NH} \times 100 \quad (3.7.3)$$

Tabla 3.2 Balance hídrico para el maíz de temporal en Cuapixtla, Tlaxcala Clima Pasado Reciente (1961-1981)

MESES	MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEM BRE		
DEC	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Lp			2.6	4.8	7.7	9.2	11.5	17	19.5	22.7	27.7	35.4	25.9	24.1	22	20	19.5	19	18.7	20	
ETP			59.7	61	59.4	62.1	58.7	52	54.1	57.2	51.8	48.3	43.3	43.1	46	46.3	44.5	43.8	42.6	43	
Kc			0.3	0.33	0.4	0.5	0.6	0.75	0.9	1.0	1.07	1.1	1.1	1.03	0.93	0.8	0.65	0.53	0.45	0.4	
NH			17.9	20.1	23.7	31	35.2	39	48.6	57.2	55.4	53.1	47.6	44.3	42.7	37	28.9	23.2	19.1	17.2	
Lp-NH			-15	-15	-16	-21	-23	-22	-29	-34	-27	-17	-21	-28	-20	-17	-9.3	-4.2	-0.4	2.82	
Rs	2.52	3.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D			-12	-15	-16	-21	-23	-22	-29	-34	-27	-17	-21	-28	-20	-17	-9.3	-4.2	-0.4	0	
A.D.P			5.7	4.8	7.7	9.2	11.5	17	19.5	22.7	27.7	35.4	25.9	16.1	22	20	19.6	19	18.7	17.2	
$\sum NH$	631.13			$\sum ADP$																	
$\sum A.D.P$	319.7			$IA = \frac{\sum ADP}{\sum NH} \times 100 = 50\%$																	

La tabla 3.3 es semejante a la tabla 3.2 pero en el clima presente (1980-2000). Observamos que se mantienen las mismas condiciones de déficit de agua para el cultivo del maíz de temporal, solamente se incrementa el IA 1% de un clima a otro; esto debido a que la fecha de siembra (31 de marzo) es antes del período de crecimiento, en donde, se encuentra las mejores condiciones de temperatura y reservas de agua en el suelo que pueda cubrir las necesidades hídricas del cultivo.

Tabla 3.3 Balance hídrico para el maíz de temporal en Cuapixtla, Tlaxcala Clima Presente (1980-2000).

MESES	MARZO		ABRIL			MAYO			JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEM BRE			
DEC	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Lp			4	6	82	10	147	18	20	288	337	481	228	16	152	13	125	16	17	224	
ETP			592	618	588	606	585	528	544	572	508	479	433	432	461	452	442	427	42	426	
Kc			0.3	0.33	0.4	0.5	0.6	0.75	0.9	1.0	1.07	1.1	1.1	1.03	0.93	0.8	0.65	0.53	0.45	0.4	
NH			17.7	21.6	23.5	30.3	35.1	39.6	48.9	37.2	54.4	527	47.6	44.5	42.9	36.1	28.7	22.6	18.9	17	
Lp-NH			-13	-15	-15	-20	-20	-21	-28	28	-20	-4.5	-24	-28	-27	-23	-16	-6.6	-14	54	
Rs	4.59	4.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	
D			-9.2	-15	-15	-20	-20	-21	-28	28	-20	-4.5	-24	-28	-27	-23	-16	-6.6	-14	0	
A.D.P			843	6	82	10	147	18	20	288	338	482	228	16	153	130	12	16	17.5	17	
ΣNH	639.3		ΣADP																		
$\Sigma A.D.P$	326.3		$IA = \frac{\Sigma ADP}{\Sigma NH} \times 100 = 51\%$																		

La figura 3.12 muestra el balance hídrico del cultivo para el municipio de Cuapixtla. La parte A corresponde al balance en el clima pasado reciente (1961-1981) y la parte B al balance en el clima presente (1980-2000) En ambas partes, la curva con rombos corresponde a las necesidades hídricas del cultivo (NH) y la curva con cuadros al agua disponible (ADP); por lo tanto, el área contenida entre las dos curvas (con rombos y con cuadros) es una medida de la carencia de agua del cultivo. La comparación de la parte A con la parte B, muestra que las condiciones hídricas desfavorables para el cultivo del maíz de temporal se mantienen en ambos climas, solamente en las últimas decenas (25 y 26) se cubren las necesidades hídricas del cultivo quedando comprobado que la fecha de siembra tradicional utilizada en Cuapixtla no es la adecuada para el buen desarrollo del cultivo y por lo tanto el rendimiento es tan bajo en Tlaxcala.



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

Cabe mencionar que en esta evaluación agroclimática no se realizó ningún estudio de planificación agrícola; debido a que en un estudio anterior, (Mendoza A.S 2001) se proponen fechas de siembra alternativas y se hace una cuantificación del incremento en el rendimiento.



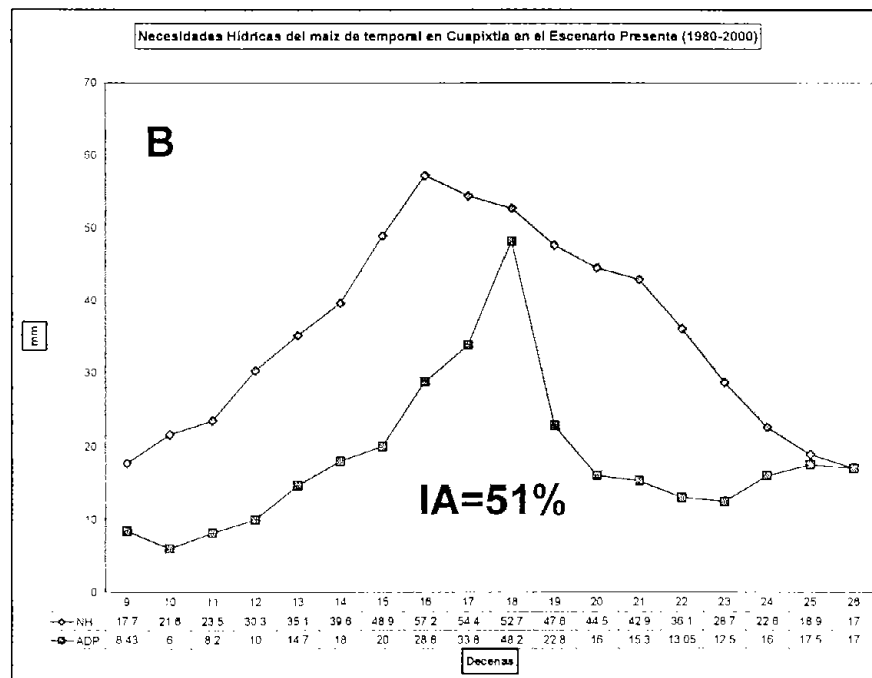
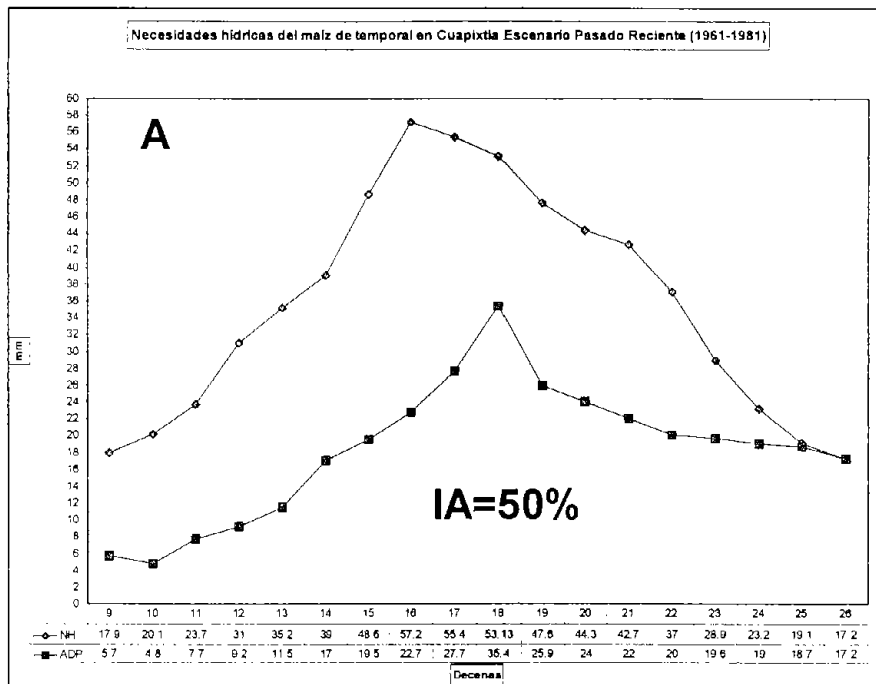


Figura 3.12 Necesidades hídricas del maíz (NH), curva con rombos, y el agua disponible para el cultivo (ADP), curva con cuadros, así como el índice agroclimático (I_A) para Cuapixtla. La parte A corresponde al clima pasado reciente (1961-1981) y la B al clima presente (1980-2000)



3.8 Evaluación de los Climas Base

Como parte final de la evaluación que se hizo a los Climas Base: Clima Pasado Reciente (1961-1981) y Clima Presente (1980-2000) se muestra en la figura 3.13 la tendencia de la temperatura parte A y la tendencia de la precipitación parte B para el municipio de Huamantla Este municipio ocupa el primer lugar de producción de maíz de temporal

Se puede observar que en la parte A hay un incremento en la temperatura de 2.45°C con respecto al clima pasado reciente (1961-1981) y en la parte B se muestra lo contrario; es decir, hay una disminución de la precipitación de 161mm, con respecto al clima pasado reciente (1961-1981).

La figura 3.14 es similar a la 3.13 sólo que para el municipio de Cuapixtla el cual ocupa el segundo lugar de producción de maíz de temporal. La figura muestra en la parte A que hay un incremento de temperatura máxima de 1°C con respecto al clima pasado (1961-1981) y en la parte B hay una disminución de la precipitación de 26.3 mm con respecto al clima pasado (1961-1981).



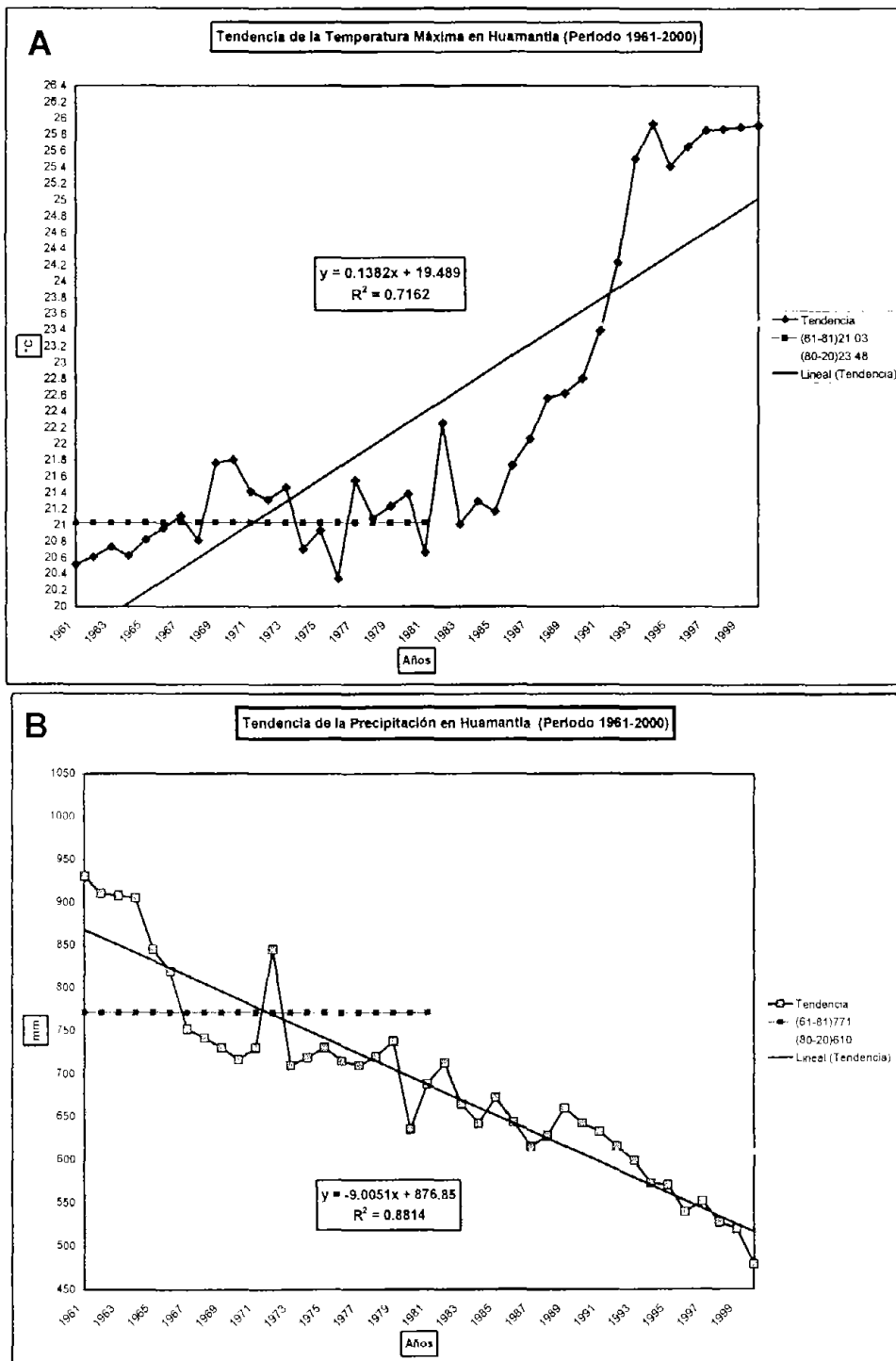


Figura 3.13 Tendencia de la temperatura A y tendencia de la precipitación B para el municipio de Huamantla. Fuente: Mendoza A.S



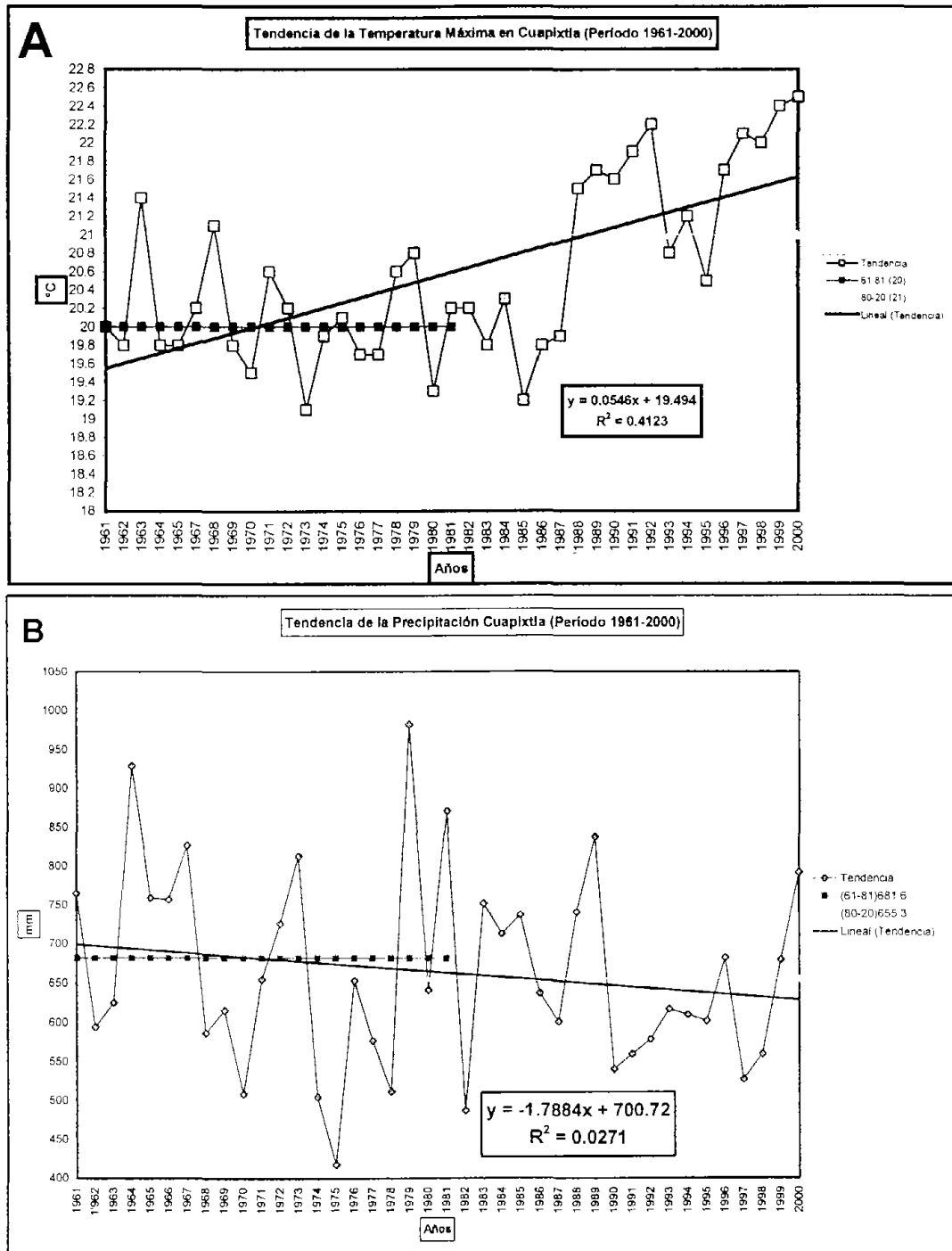


Figura 3.14 Tendencia de la temperatura A y tendencia de la precipitación B para el municipio de Cuapixtla. Fuente: Mendoza A.S



Utilizando imágenes del satélite SPOT tomadas en septiembre de 1970 y septiembre de 1990 (Morales L. M. 2003), se obtuvo la figura 3.15 la cual muestra en la parte A el espacio mapa para el clima pasado reciente (1961-1981) y la parte B el espacio mapa para el clima presente (1980-2000).

En ambos espacio mapas los tonos rojo muestran las zonas de aridez, el color azul tenue las presas y lagos cuando son profundas y transparentes, cuando están con muy poco volumen de agua o secas de tono negro, las zonas de vegetación ya sea bosque o agricultura en tono verde claro y el tono marrón oscuro las zonas de mayor altitud.

Como se puede observar en la figura 3.15 en el clima pasado reciente parte A (1961-1981) la zona con aridez solamente se encontraba en Tlaxcala de Xicohtencatl los bosques en las zonas altas y en la región de los Valles de Apan Huamatla, Cuapixtla y Apizaco se ve el gran territorio dedicado a la agricultura de temporal.

La Presa de San Jose Atlangatepec (en el mapa tiene el número 1), así como los lagos naturales El muerto (en el mapa tiene el número 2) y Xicohtencatl (en el mapa tiene el número 3); muestran profundidad y agua transparente según el espacio mapa.



En el clima presente (1980-2000) parte B se observa que la zona de aridez se extendió de Xicohtencatl hacia los Valles de Apan y hacia la zona sur-oeste, reduciendo notablemente la zona de vegetación natural es decir bosques. La zona de agricultura (Valles de Apan) se ve notablemente afecta por la aridez.

La presa de Atlangantepec (número 1) empieza a mostrar zonas en tonos negros señal de disminución de su capacidad. Los lagos El Muerto y Xicohtencatl se muestran iguales al anterior espacio mapa.

Con estos espacio-mapas y con los resultados obtenidos en la evaluación de los climas base los cuales reportan incrementos en la temperatura y cambios en la distribución de la precipitación se puede sugerir que en Tlaxcala se está dando un cambio climático.



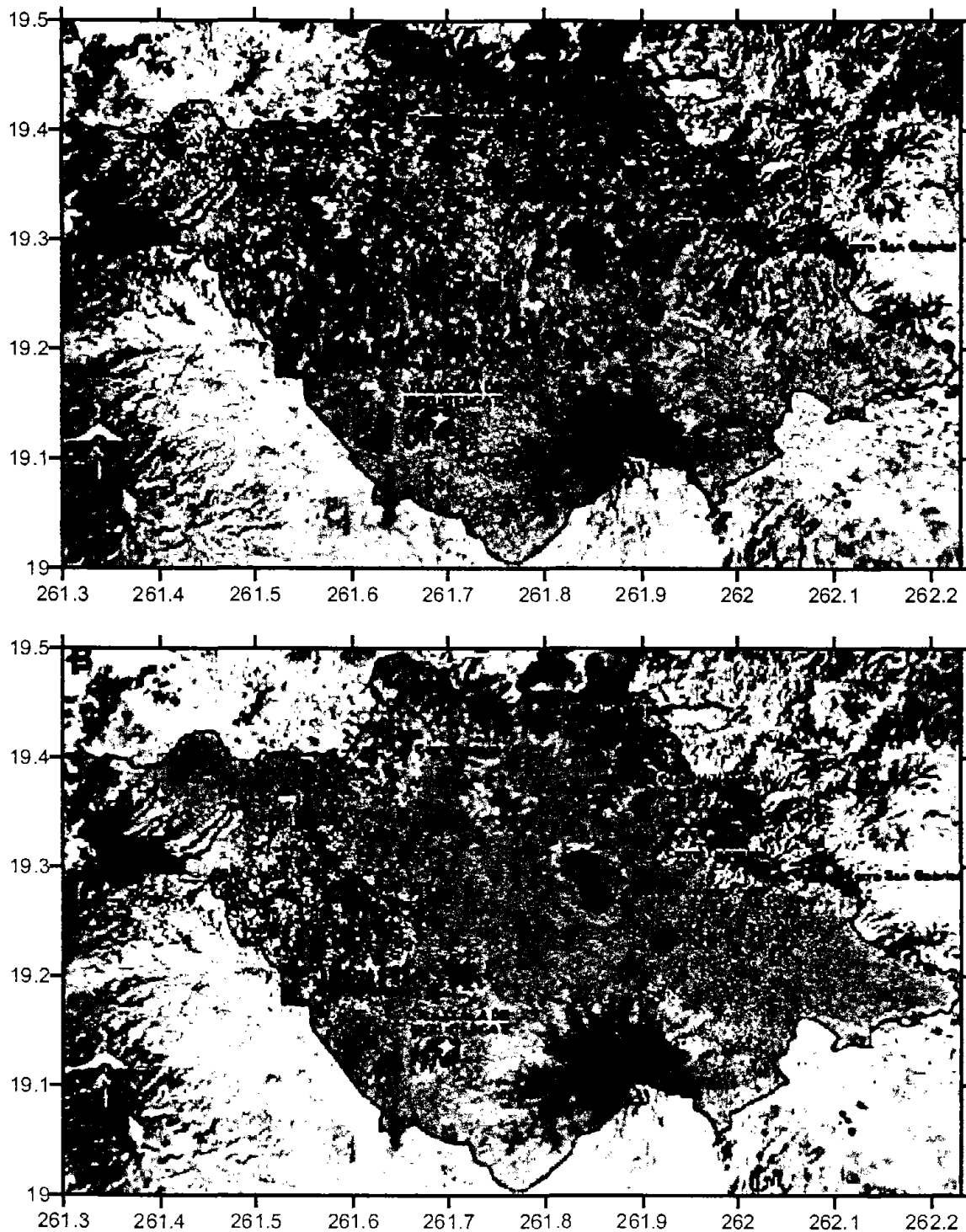


Figura 3.15 parte A espacio mapa septiembre de 1970 y la parte B el espacio mapa septiembre de 1990. Fuente: Morales L. M (2003). Modificada por Mendoza A.S



CAPITULO IV

PLANIFICACION AGRICOLA ANTE EL CAMBIO CLIMATICO

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



POSGRADO EN GEOGRAFIA
COORDINACION



4.1.-Cambio Climático Decenal

De acuerdo con el Plan Intergubernamental de Cambio Climático es muy probable que se este llevando a cabo el primer cambio climático global inducido por el hombre como consecuencia del incremento de bióxido de carbono atmosférico, el cual ha sido generado por el explosivo aumento en el uso de combustible fósil y el desarrollo industrial (Fernández A. Et al 2001-2002).

Una de las más importantes consecuencias del futuro cambio climático global, puede ser la alteración del ciclo térmico-hidrológico regional y los consecuentes cambios en el escurrimiento, disponibilidad y reserva de agua en las cuencas y vertientes de la República Mexicana.

Los cambios climatológicos en el régimen y magnitud de la precipitación, de evapotranspiración potencial y humedad del suelo son muy importantes para determinar la disponibilidad del agua para uso agrícola

En este capítulo se usa nuevamente el modelo hidrológico; así como el balance hídrico decenal para el cultivo del maíz de temporal en los cuatro municipios de estudio: Apizaco, Huamantla, Cuapixtla y Tlaxco Así como una planificación agrícola que consta de mover la fecha de siembra hasta encontrar las condiciones agroclimáticas adecuadas esto en base a un cambio climático pronosticado, por los modelos de circulación general GFDLR30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory model Manabe & Stouffer, 1980) y CCCM (Canadian Climate Center



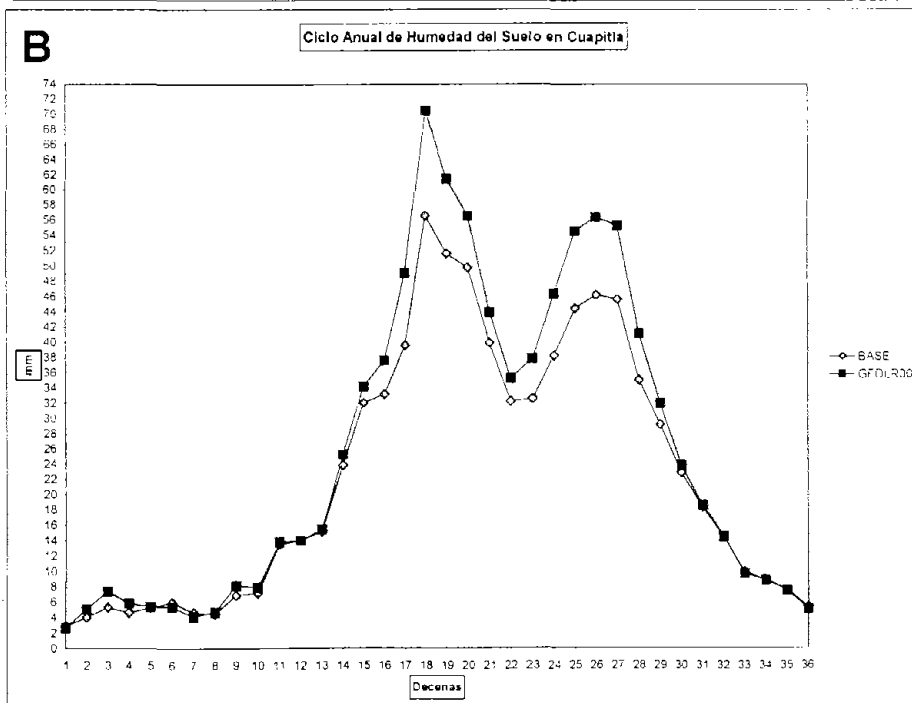
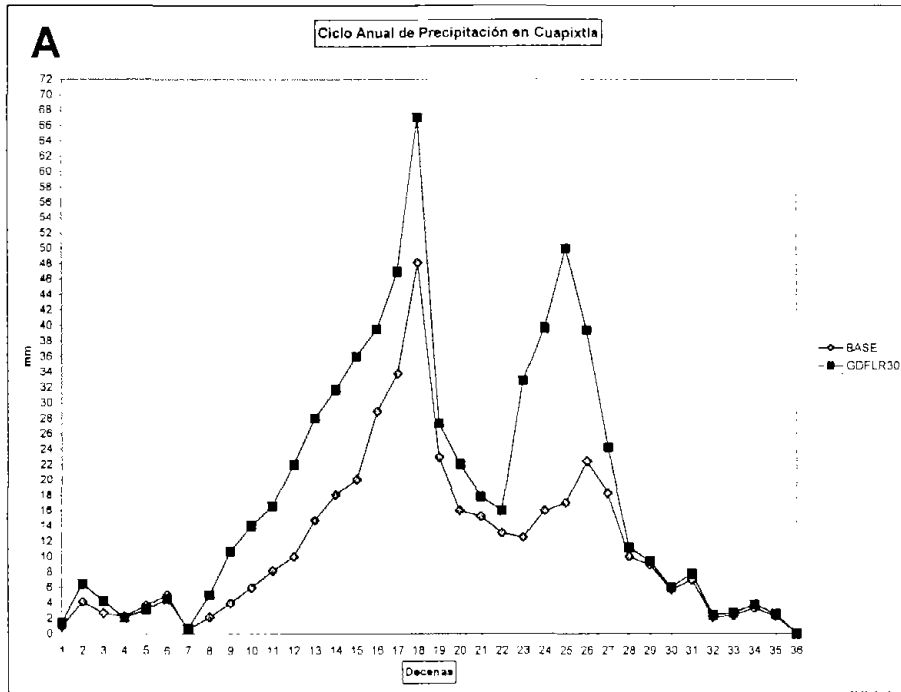
second generation model. Boer et al., 1992) y por el modelo de balance de energía térmica MTC (Modelo Termodinámico del Clima del Centro de Ciencias de la Atmósfera. Garduño & Adem, 1992). En esta sección se muestra los cambios climatológicos en el régimen y magnitud decenal de precipitación, evapotranspiración potencial y humedad del suelo para los cuatro municipios de estudio: Apizaco, Huamantla, Cuapixtla y Tlaxco. Para tal efecto, se uso como escenario BASE al escenario presente (1980-2000)

Los modelos GFDLR30, CCCM y MTC proporcionaron las anomalías mensuales de temperatura del aire en superficie y anomalías de precipitación; Estas últimas como porcentaje de anomalía, es decir un valor de 1 corresponde a una precipitación igual a la actual, un valor de 0.5 corresponde a la mitad de la precipitación actual y un valor de 2 corresponde al doble de la precipitación actual. Estas anomalías de escala global fueron calculadas bajo el supuesto de una duplicación de CO₂ atmosférico que ocurrirá probablemente en el 2050 según el IPCC. Dado que las anomalías calculadas por estos tres modelos son de gran escala, al estado de Tlaxcala le toca un solo valor para cada uno de los doce meses del año climático futuro. Por lo que los resultados mostrados en este capítulo son en forma de gráficas de dos dimensiones

La figura 4.1 muestra el ciclo anual en decenas de días de precipitación parte A, el de humedad del suelo parte B y el de evapotranspiración potencial parte C para los escenarios BASE y GFDLR30 en el municipio de Cuapixtla.



CUAPIXTLA GFDLR30



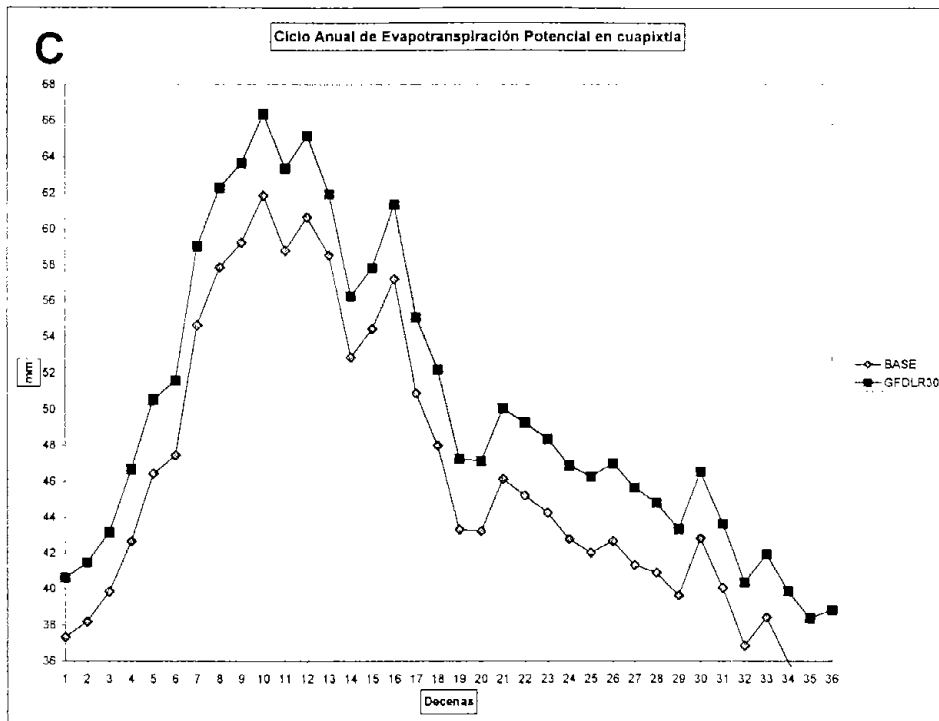


Figura 4.1 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y GFDLR30 en el municipio de Cuapixtla.

Se observa que el escenario GFDLR30 da una amplificación importante de la amplitud del ciclo de precipitación con respecto al escenario BASE en las decenas 8 a la 19 (Primavera) y en las decenas 24 a la 28 (Otoño) precisamente durante el tiempo en que se da la precipitación en el municipio de Cuapixtla. El otro aspecto importante que se observa en la gráfica, es el acortamiento de la sequía intraestival, es decir en el escenario BASE la sequía intraestival dura de la decena 19 a la decena a la decena 24 (Verano) y en el escenario GFDLR30 dura de la decena 19 a la 23; una decena menos.

En la parte B se observa que los ciclos anuales en decenas de días del escenario BASE y GFDLR30 son similares, aunque el escenario GFDLR30 da una humedad del suelo superior que la del escenario BASE. En el valor de mayor humedad (decena 18) se incrementa 14mm y en el otro valor máximo (decena 26) se incrementa 10 mm.

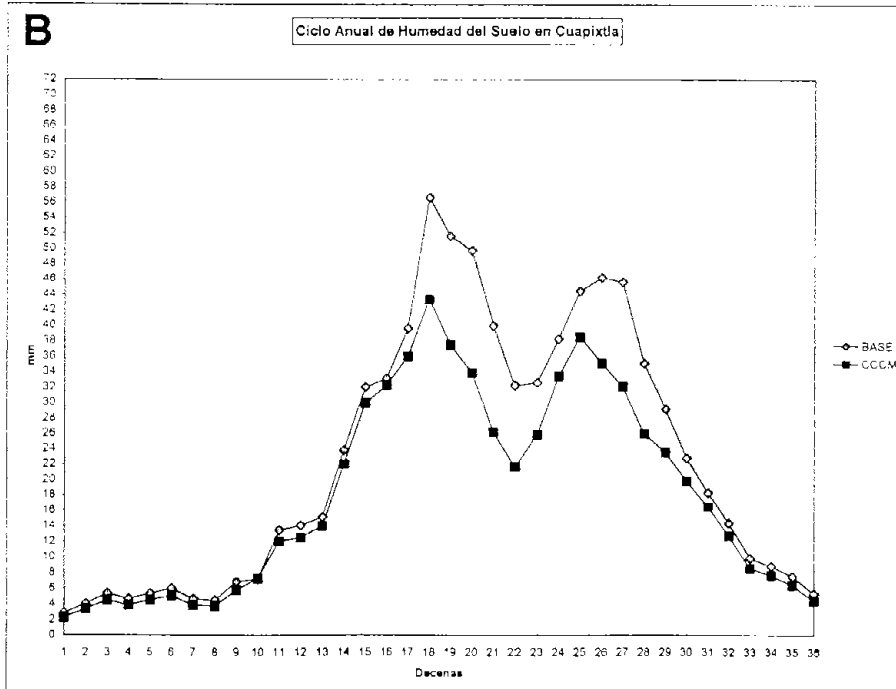
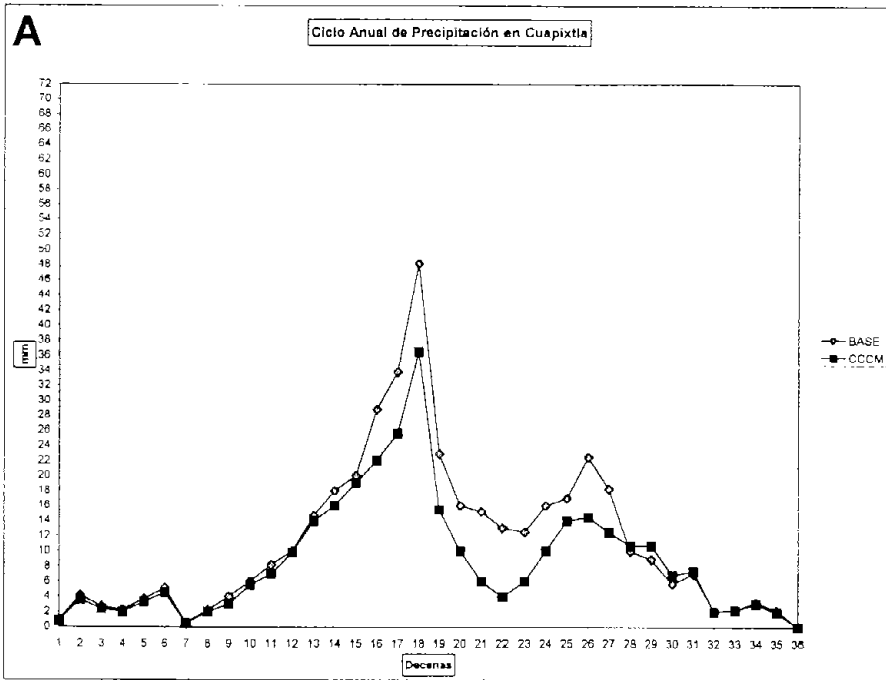
En la parte C se observa que los ciclos anuales en decenas de días son muy similares aunque en el escenario GFDLR30 da un evapotranspiración superior (4mm en promedio) que la del escenario BASE.

La figura 4.2 es similar que la figura 4.1, sólo que para el escenario CCCM. En este caso el escenario CCCM da una disminución considerable en la amplitud del ciclo anual de la precipitación en las decenas 8 a la 19 (Primavera) y en las decenas 24 a la 28 (Otoño).

El ciclo anual de humedad del suelo se encuentra por debajo del correspondiente ciclo anual del escenario BASE y el ciclo anual de evapotranspiración potencial esta por arriba del escenario BASE también con 4mm promedio.



CUAPIXTLA CCCM



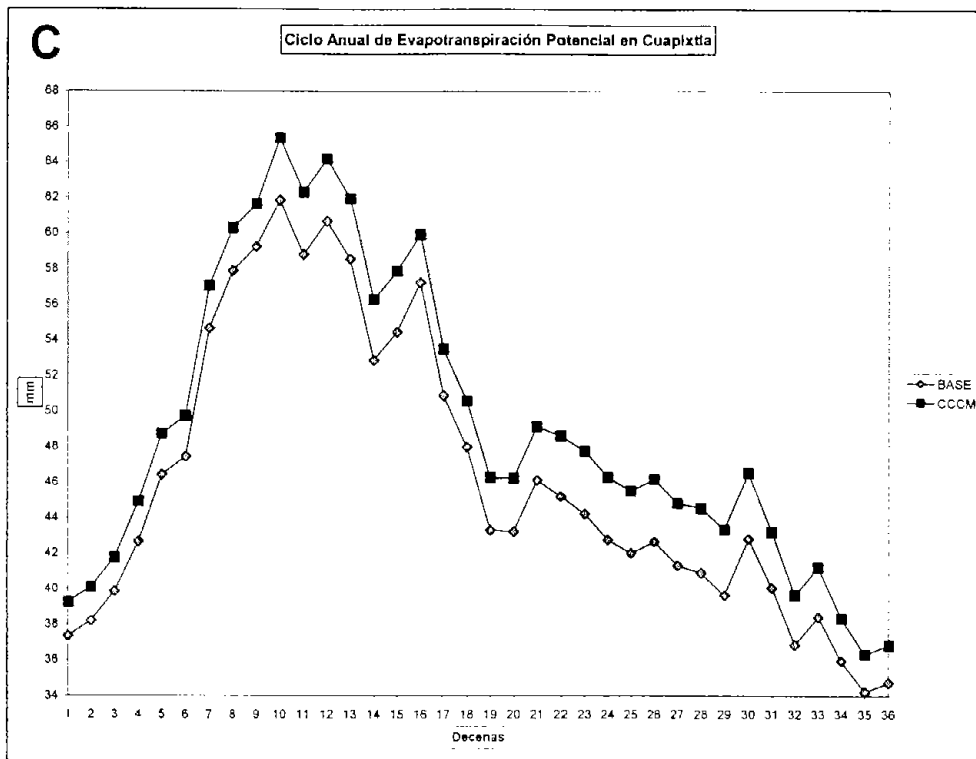
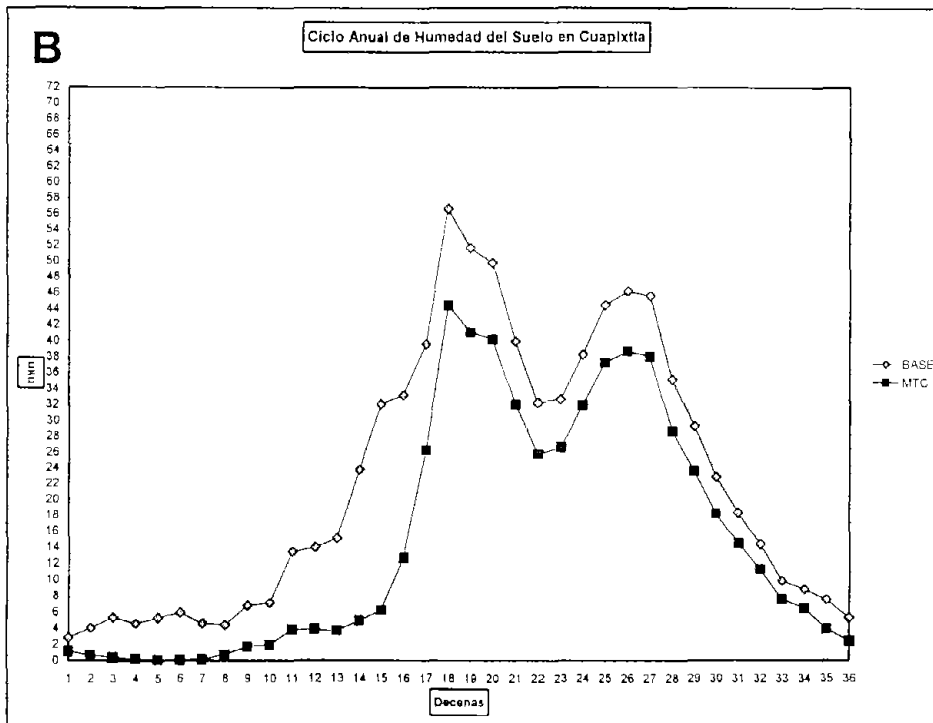
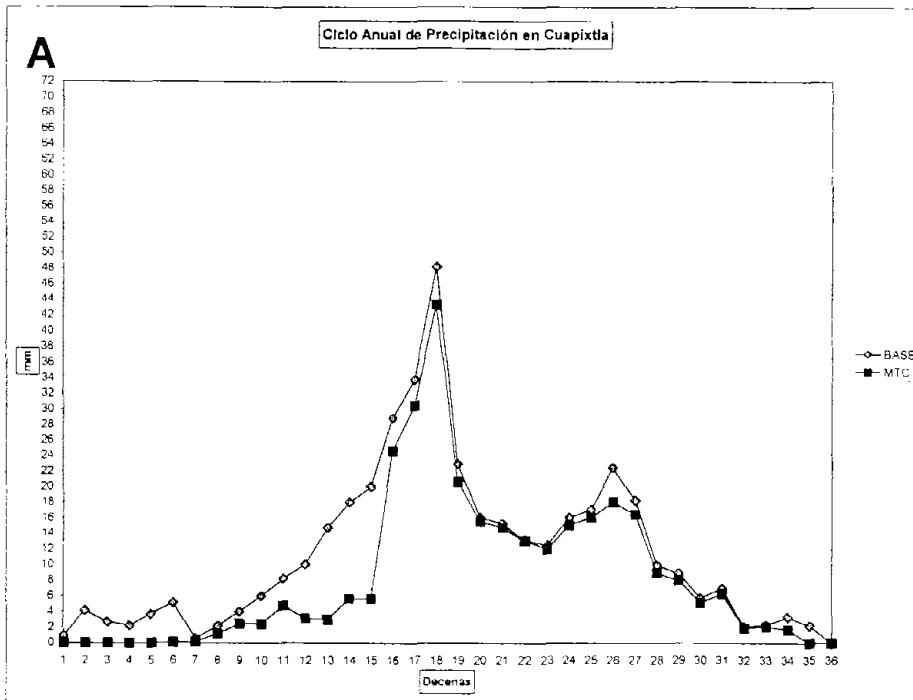


Figura 4.2 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y CCCM en el municipio de Cuapixtla

Las figura 4.3 describen lo mismo que las figuras 4.1 y 4.2, respectivamente, sólo que para el escenario MTC. En este caso el ciclo anual de precipitación es muy similar al correspondiente ciclo anual del escenario BASE, sin embargo antes de la decena 15 (Invierno y Primavera) el escenario MTC da una precipitación de aproximadamente la mitad del escenario BASE.

La humedad del suelo es menor en el escenario MTC que la del escenario BASE y también aquí es mayor la evapotranspiración potencial en el escenario MTC.

CUAPIXTLA MTC



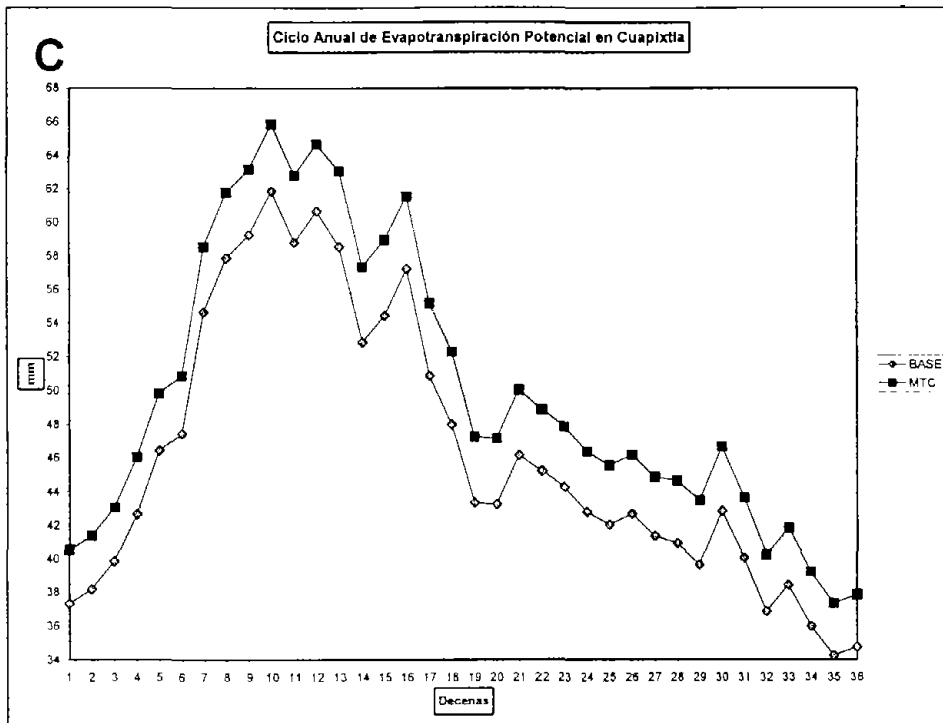


Figura 4.3 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y MTC en el municipio de Cuapixtla

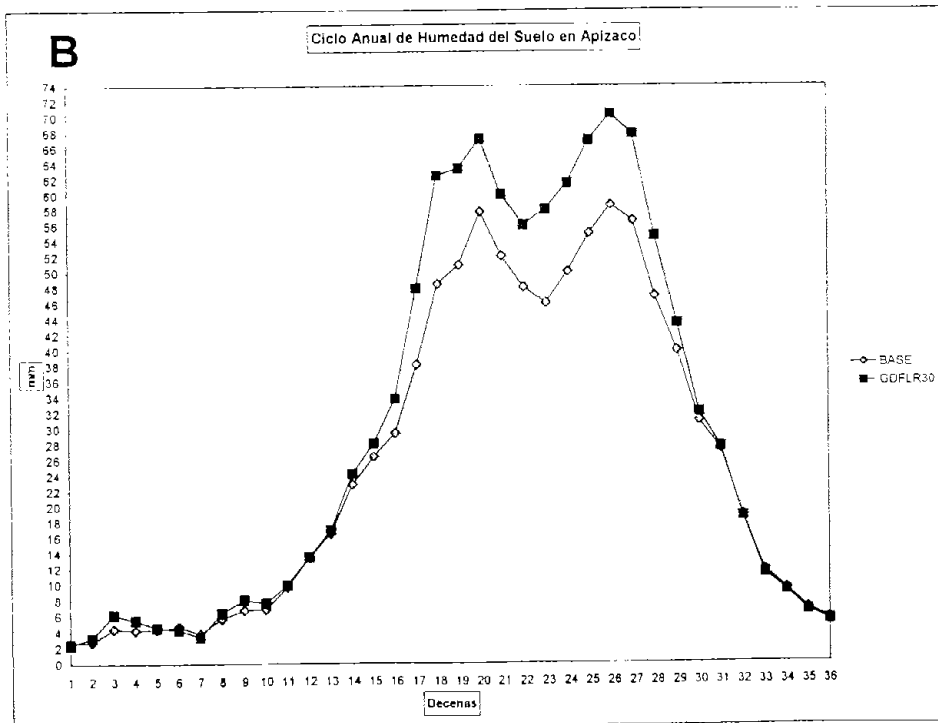
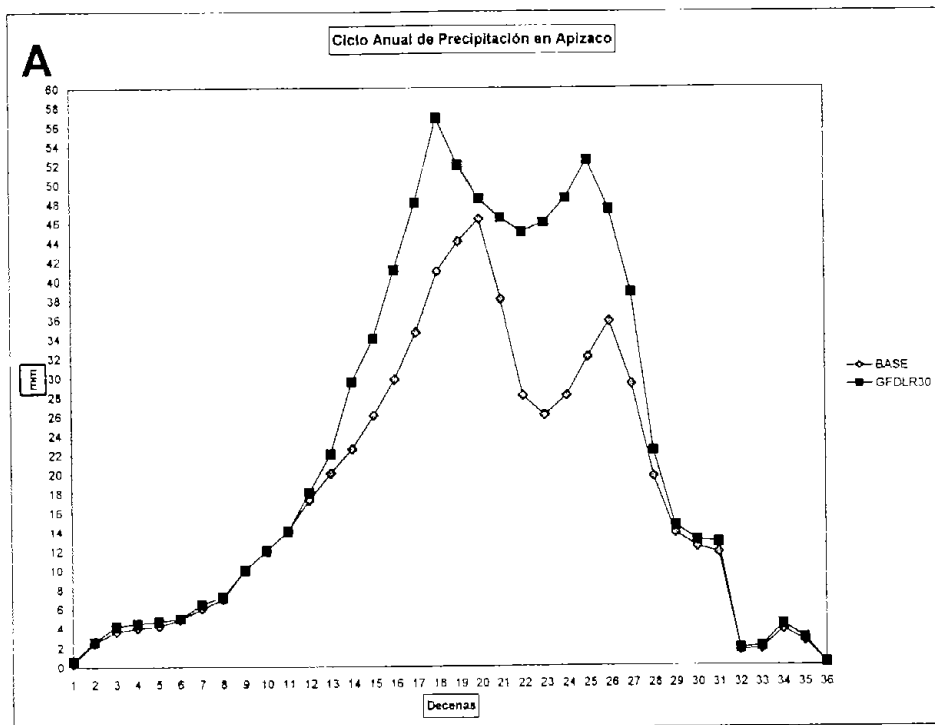
El siguiente conjunto de gráficas, mostradas en las figuras 4.4 a la 4.12, son similares a las mostradas en las figuras 4.1 a la 4.3, sólo que para los siguientes casos de estudio Apizaco, Huamantla y Tlaxco. Estas figuras ilustran el comportamiento del ciclo anual de precipitación, humedad del suelo y evapotranspiración potencial de los escenarios BASE, GFDLR30, CCCM y

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



POSGRADO EN GEOGRAFÍA
COORDINACIÓN

APIZACO GFDLR30



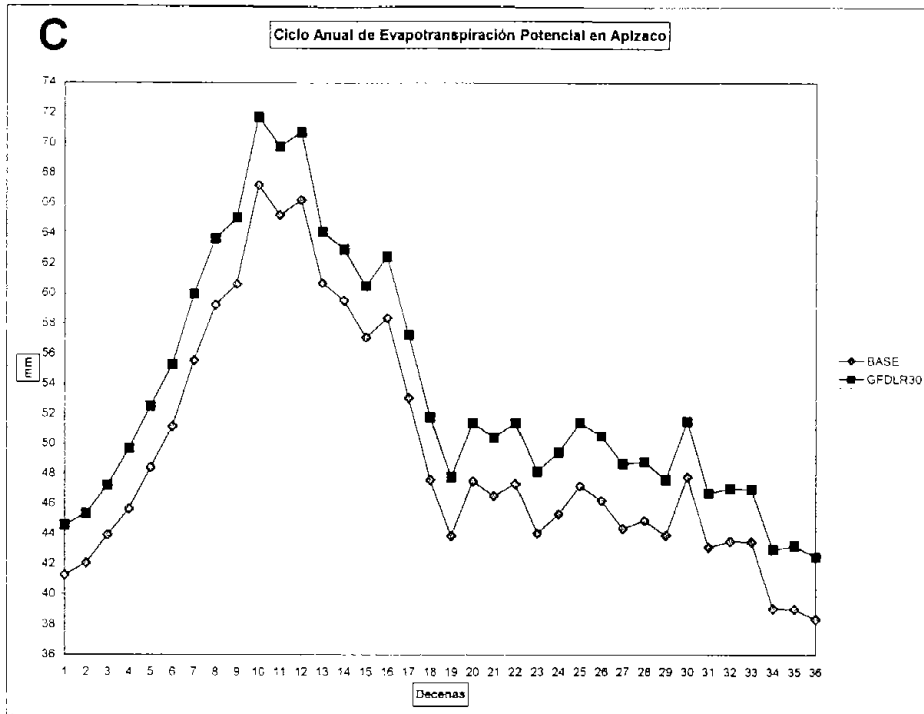
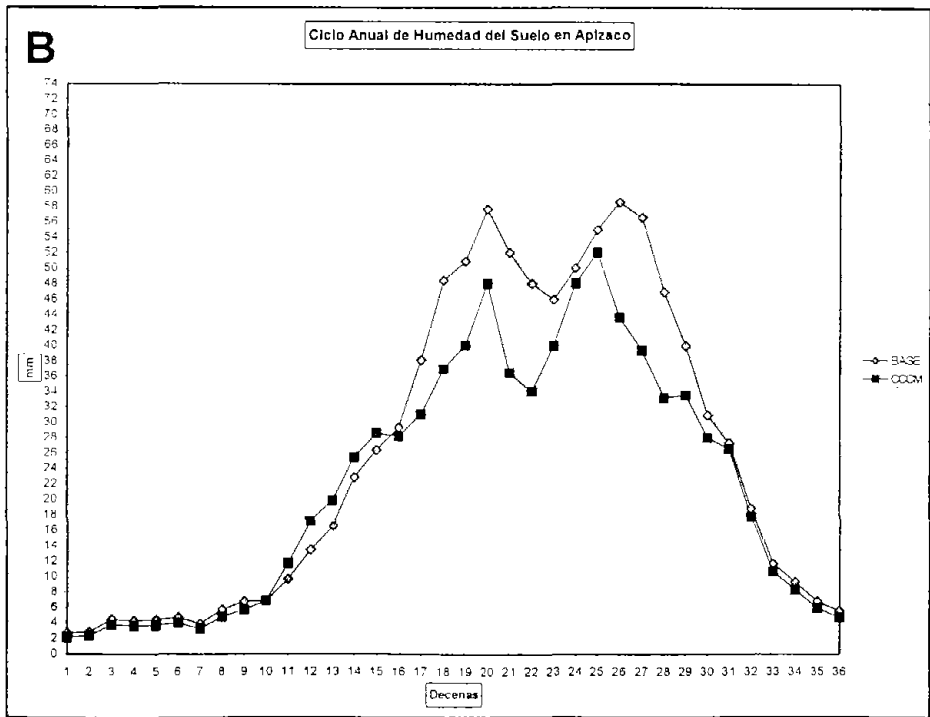
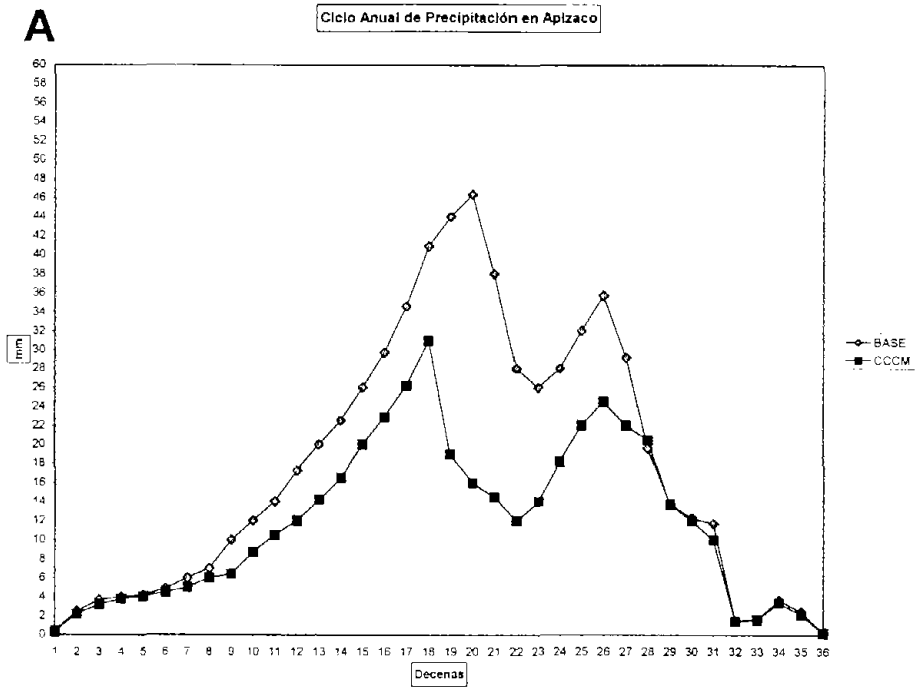


Figura 4.4 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y GFDLR30 en el municipio de Apizaco.

APIZACO CCCM



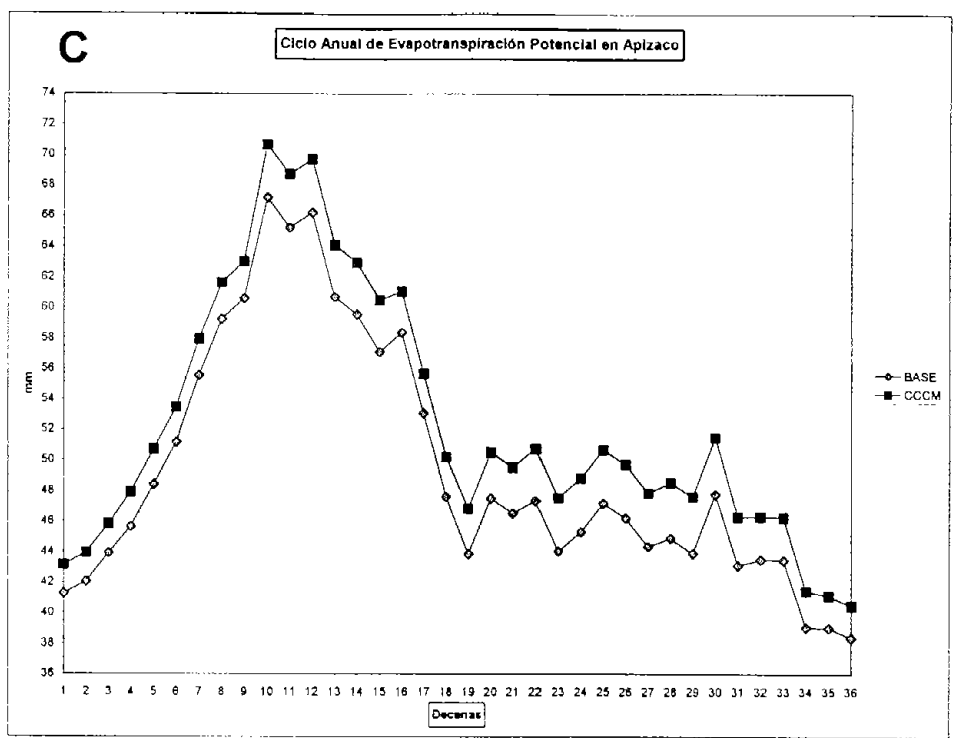
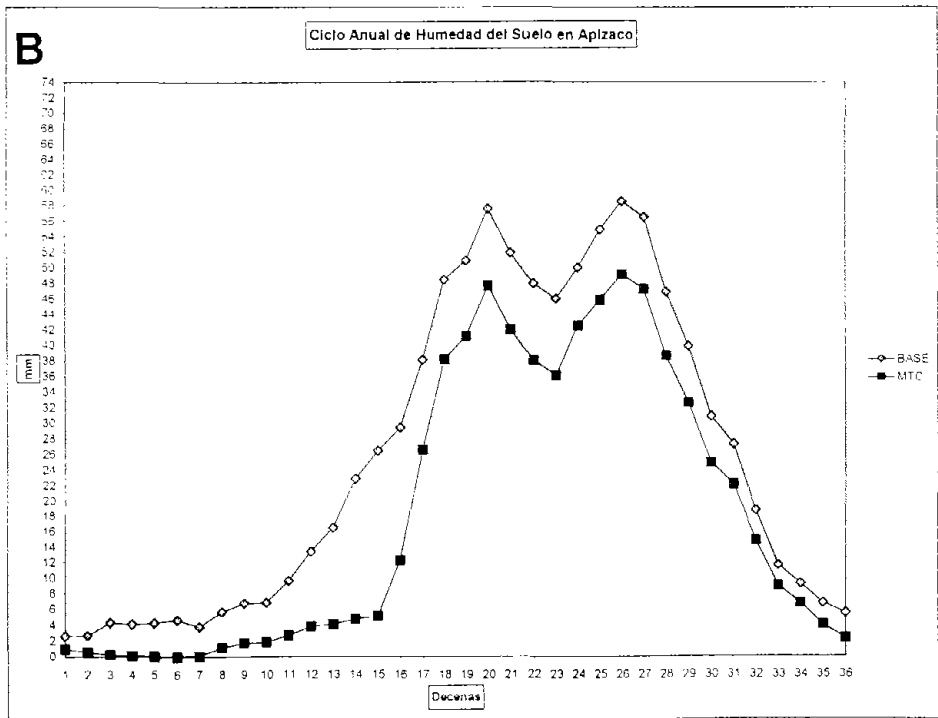
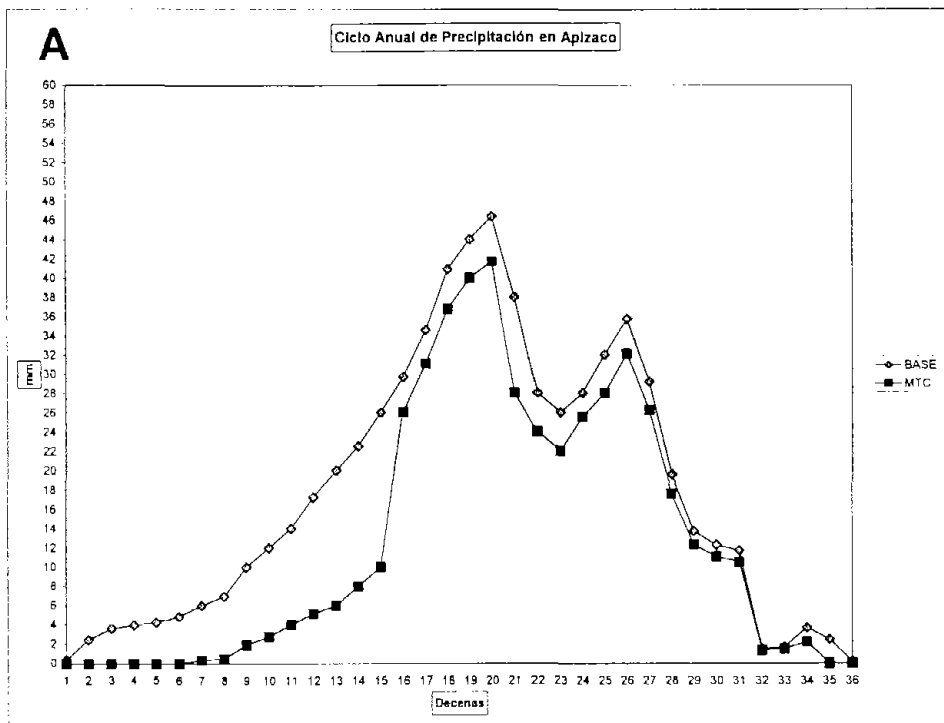


Figura 4.5 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y CCCM en el municipio de Apizaco.

APIZACO MTC



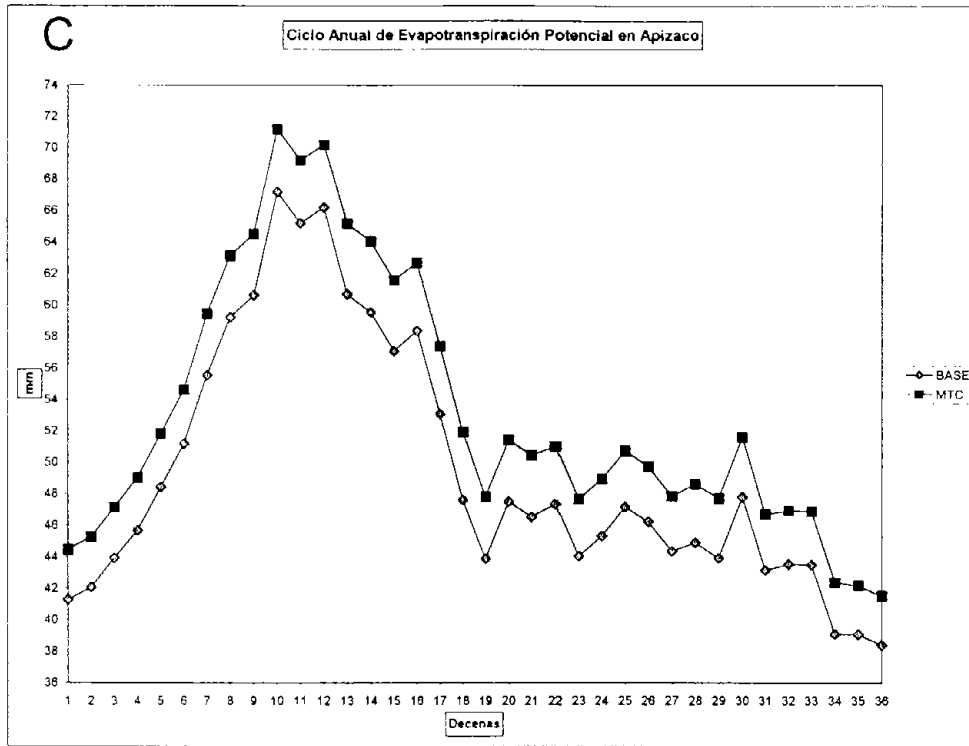
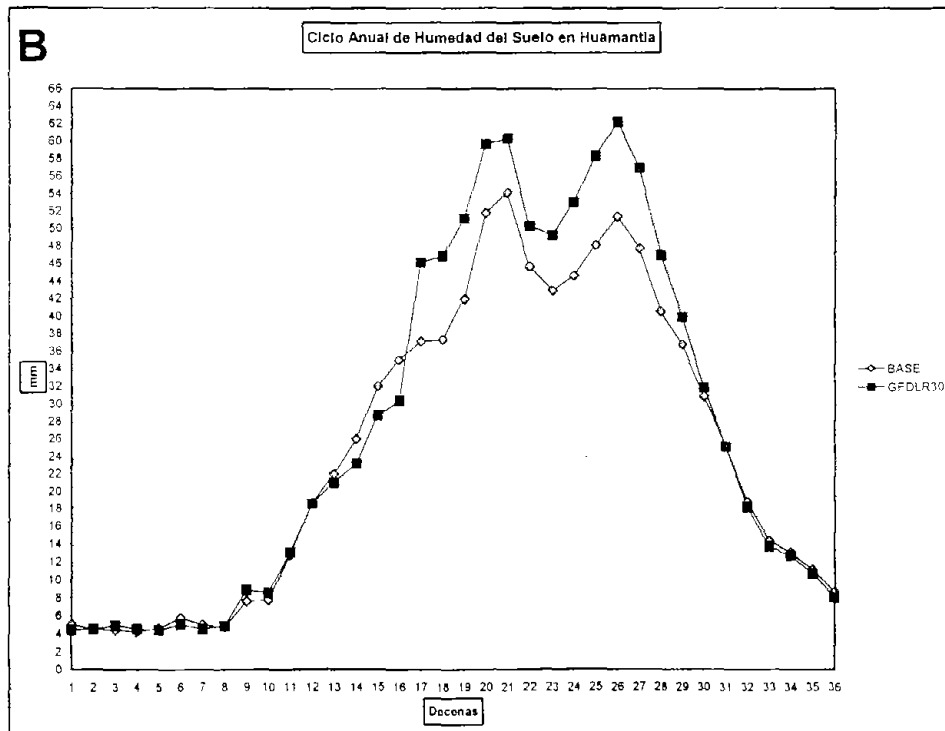
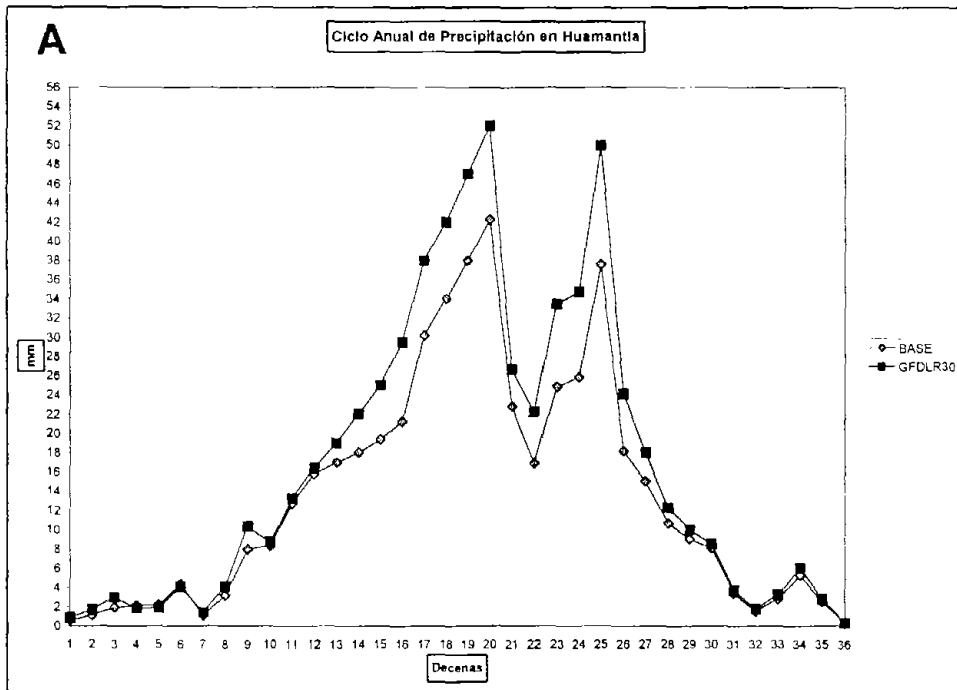


Figura 4.6 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y MTC en el municipio de Apizaco.



HUAMANTLA GFDLR30



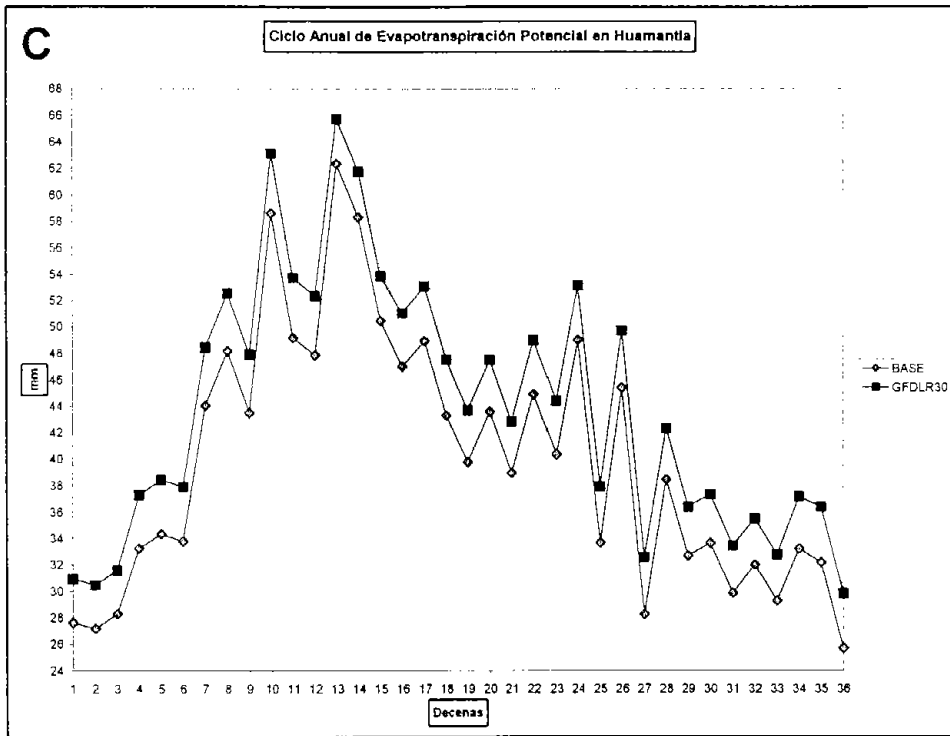
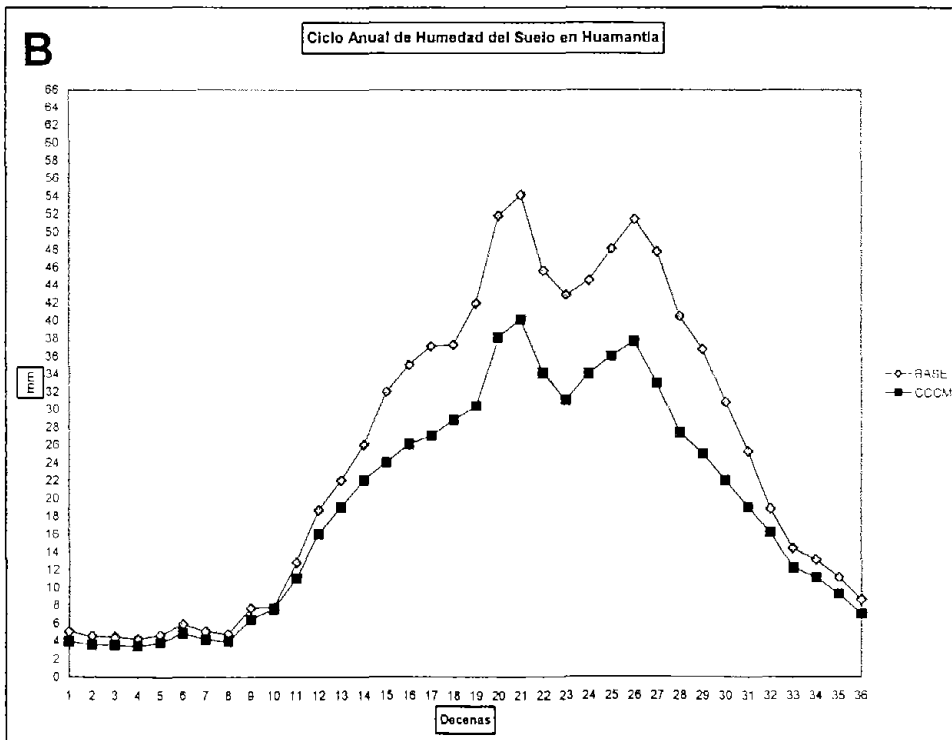
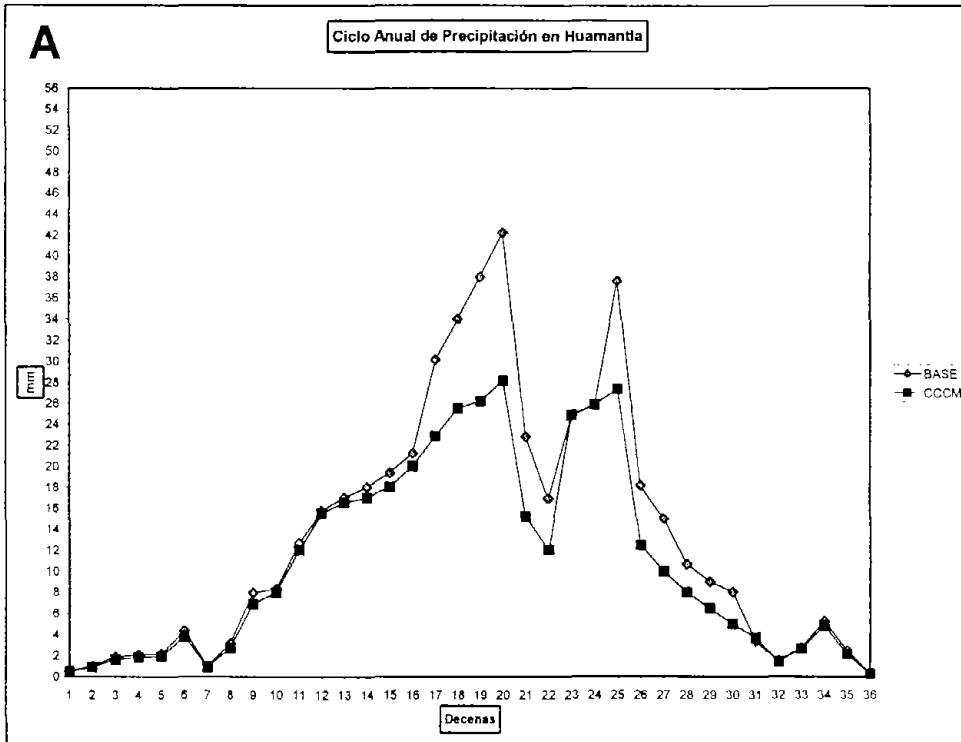


Figura 4.7 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y GFDLR30 en el municipio de Huamantla

HUAMANTLA CCCM



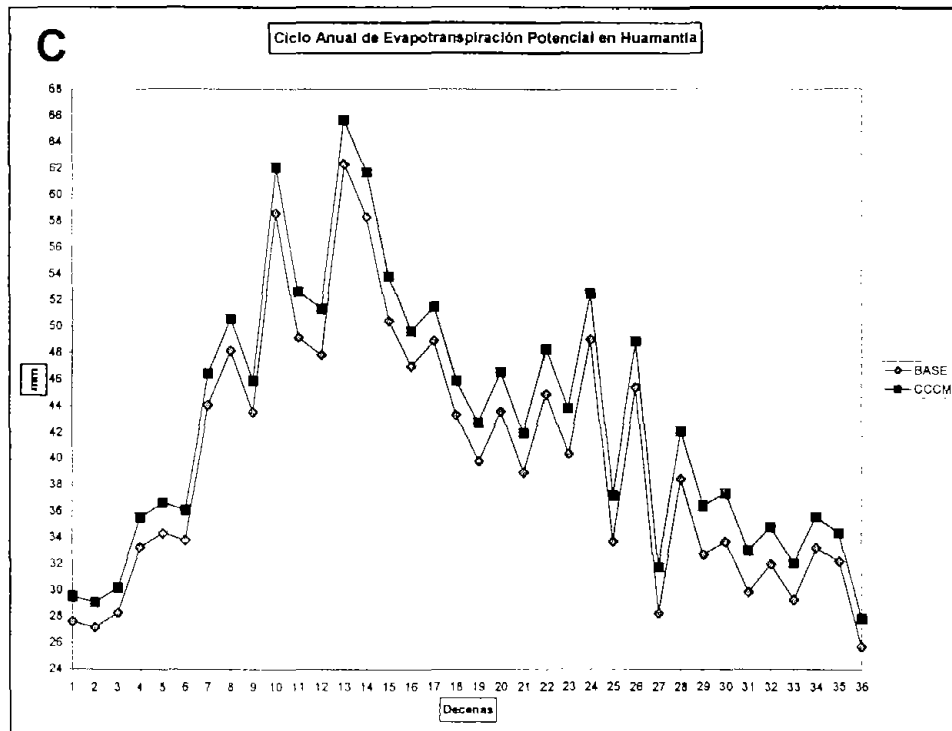
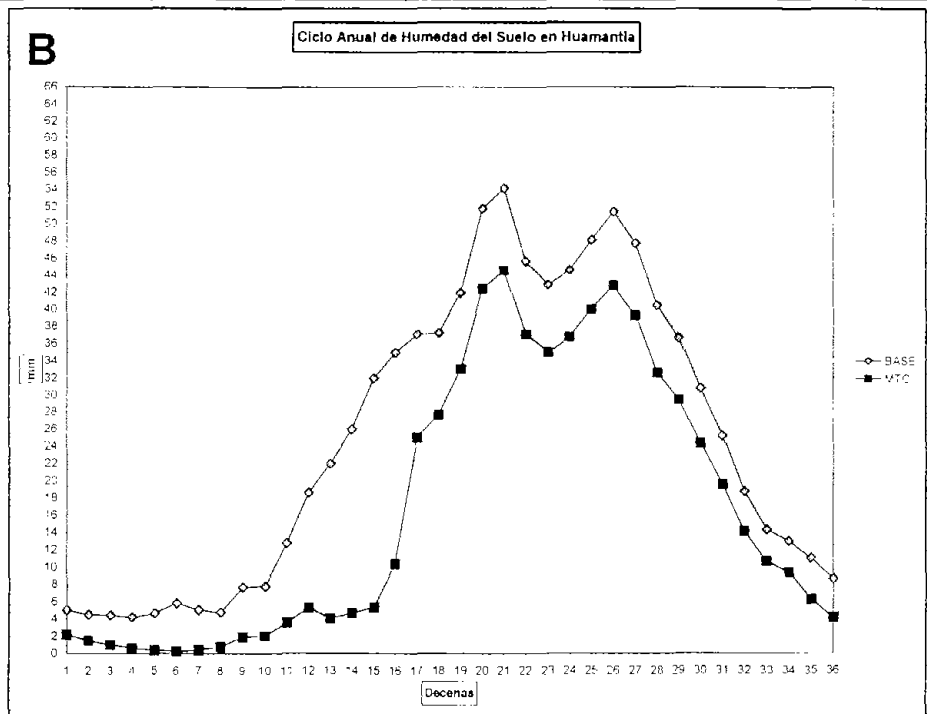
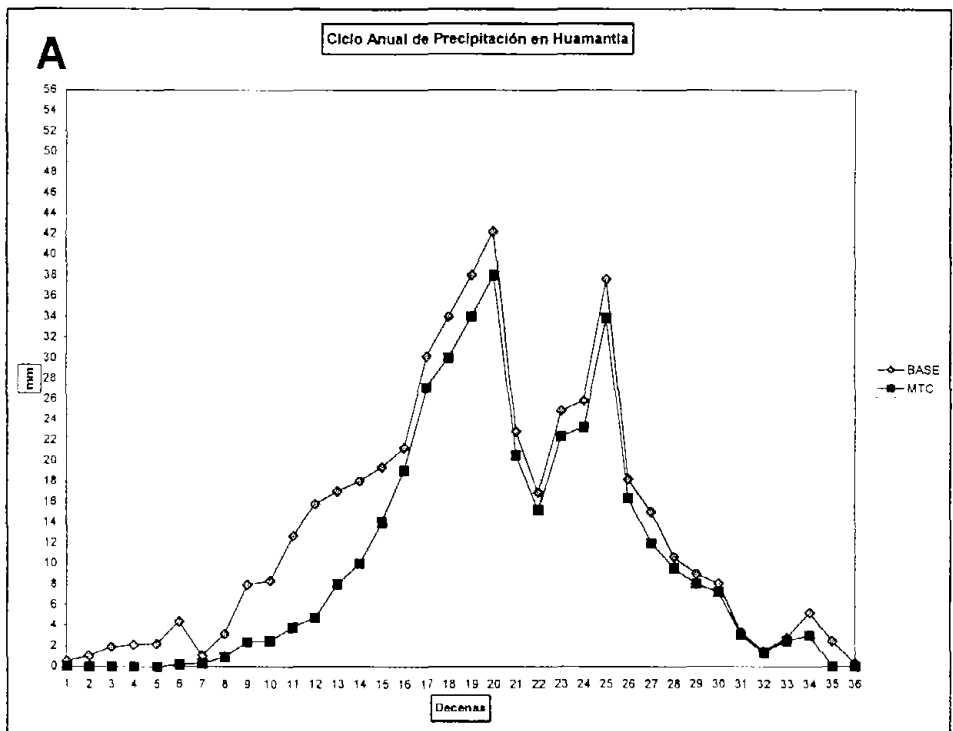


Figura 4.8 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y CCCM en el municipio de Huamantla

HUAMANTLA MTC



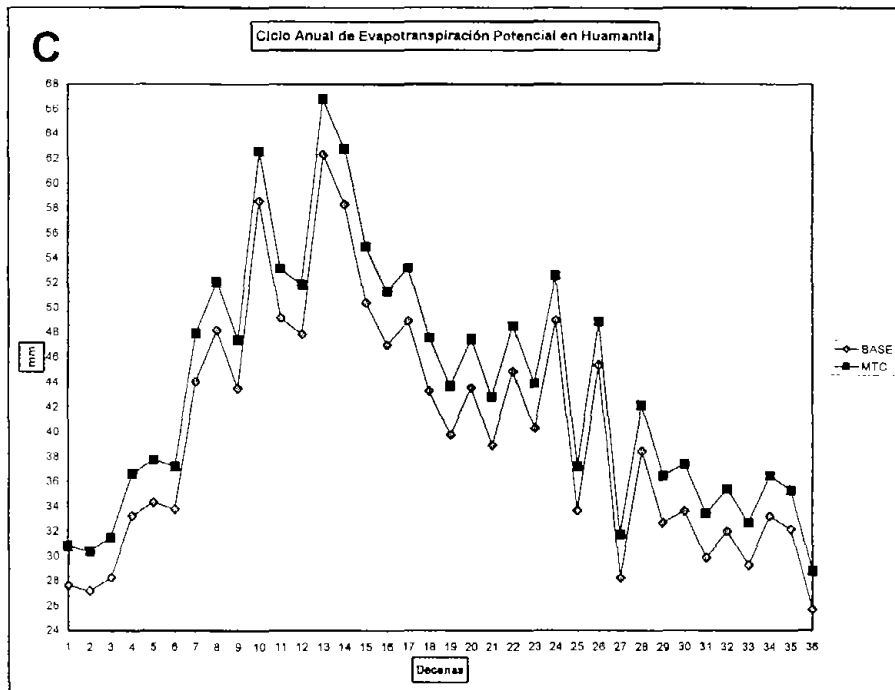
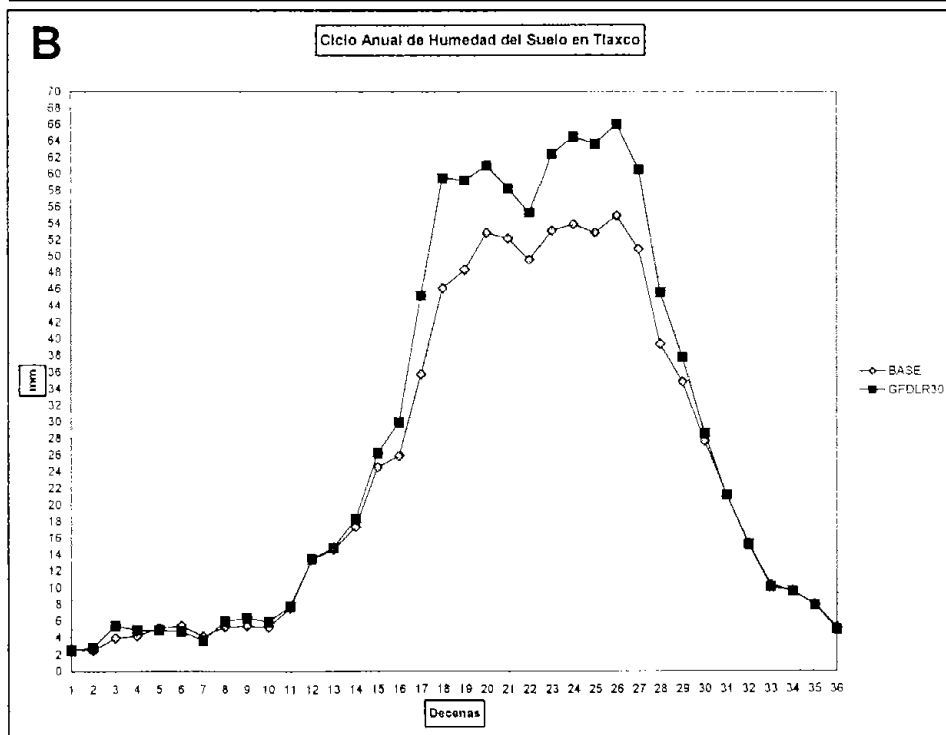
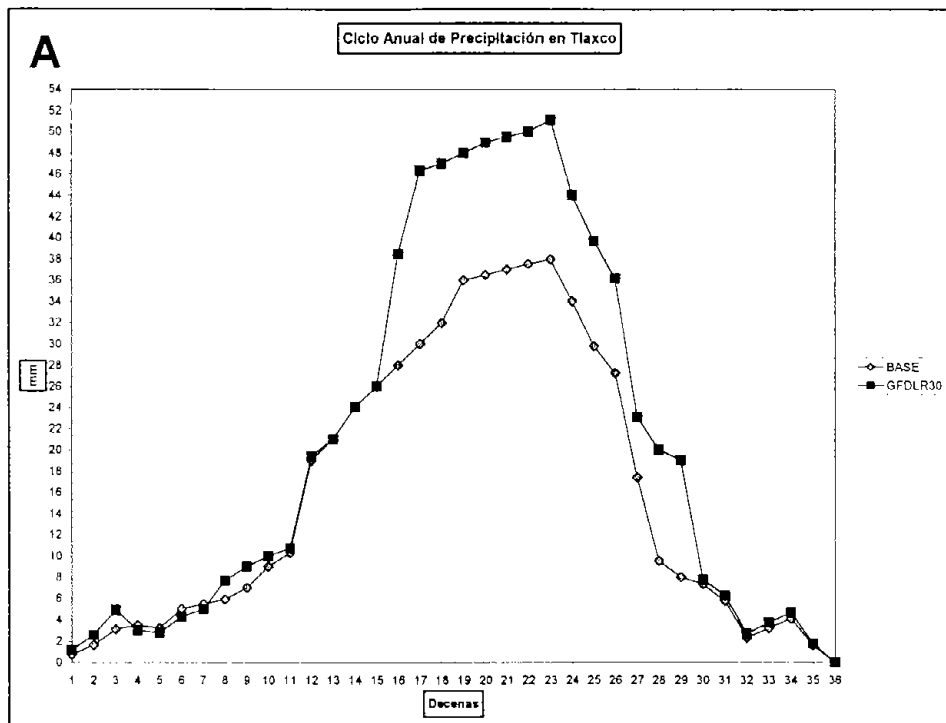


Figura 4.9 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y MTC en el municipio de Huamantla

TLAXCO GFDLR30



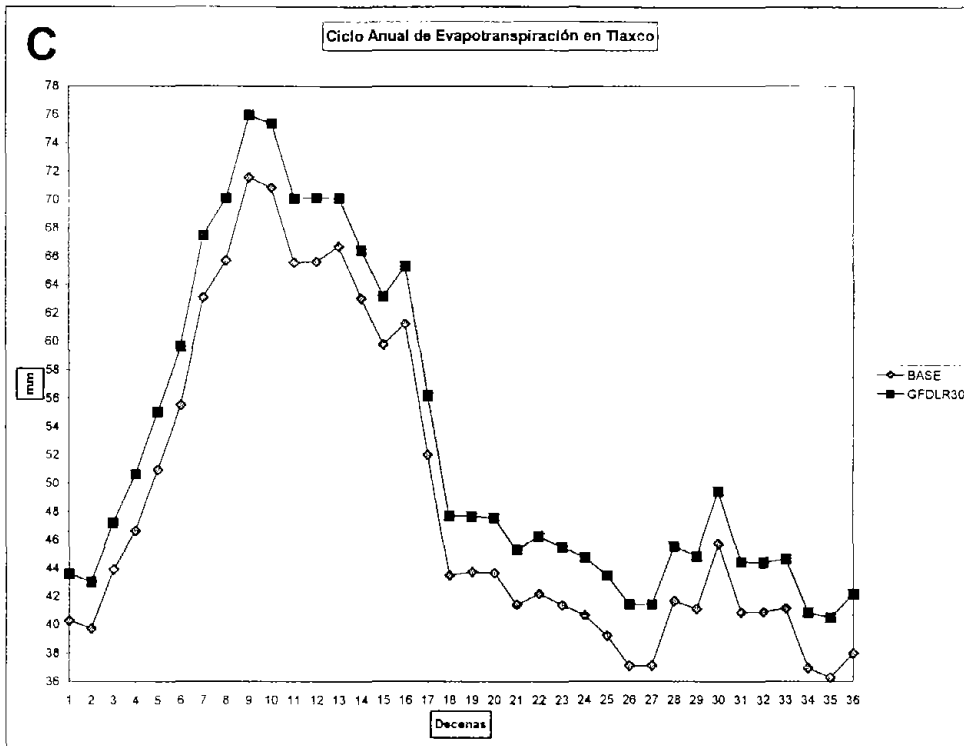
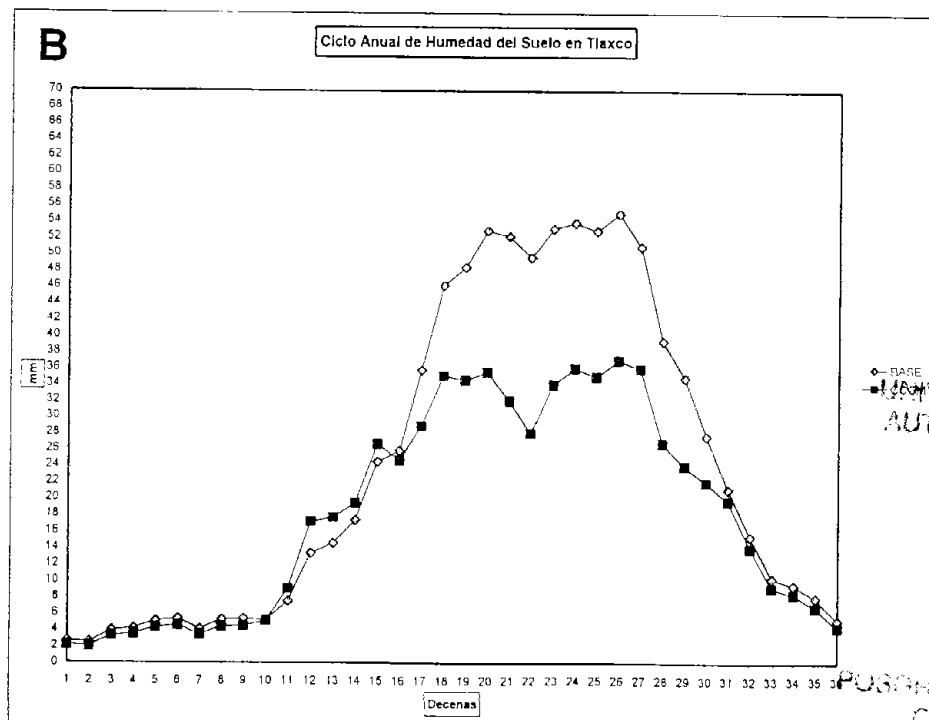
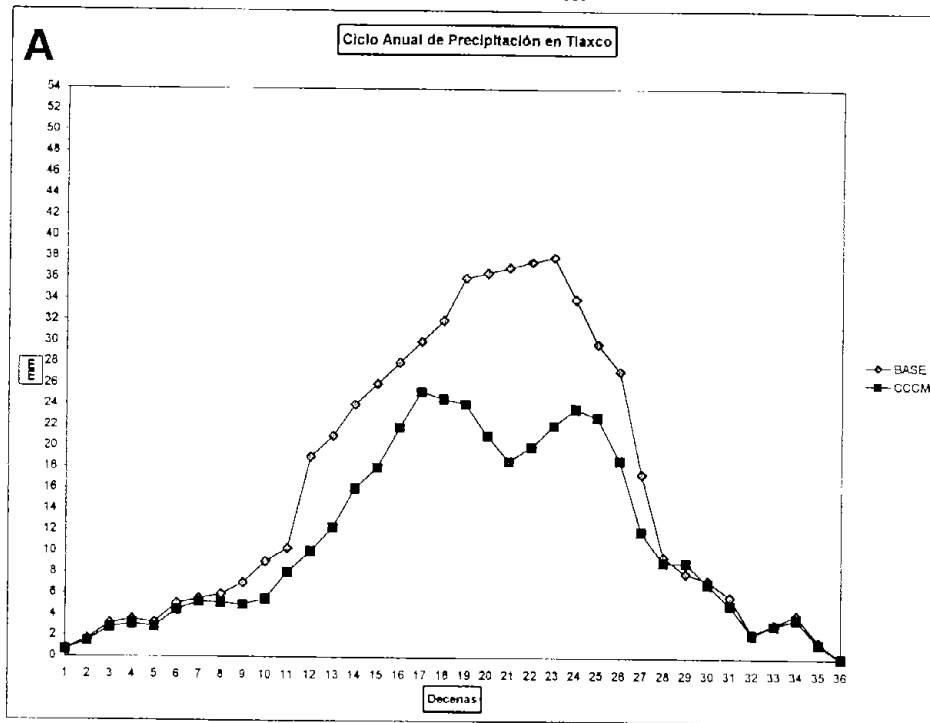
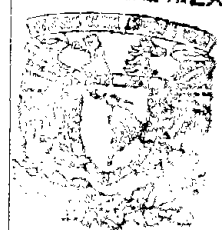


Figura 4.10 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y GFDLR30 en el municipio de Tlaxco

TLAXCO CCCM



INSTITUTO NACIONAL
AUTÓNOMO DE MEXICO



PROGRAMA EN GEOGRAFIA
COORDINACION

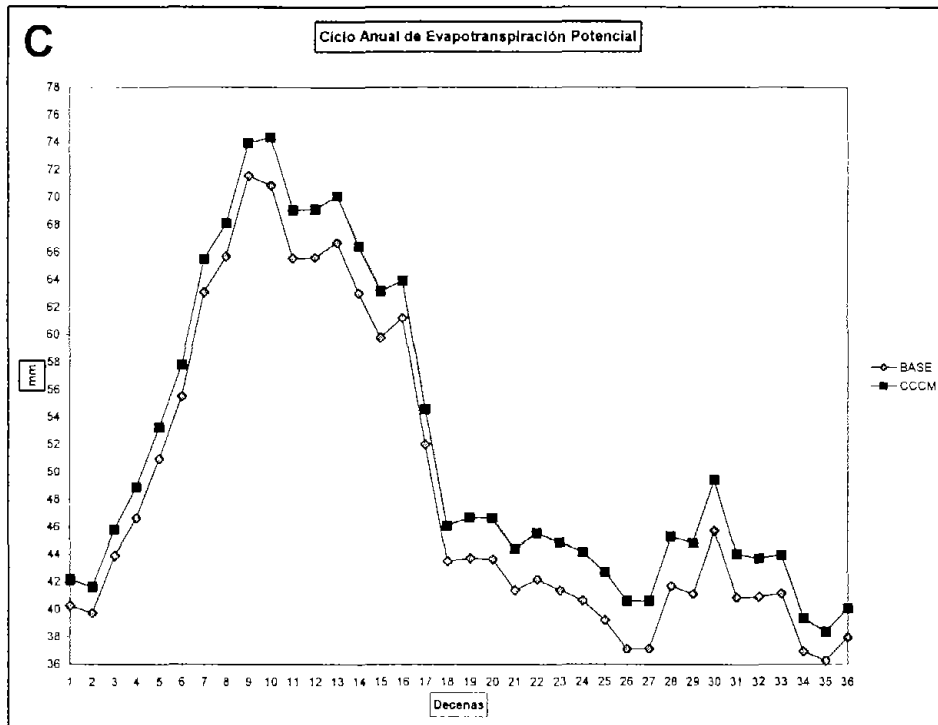
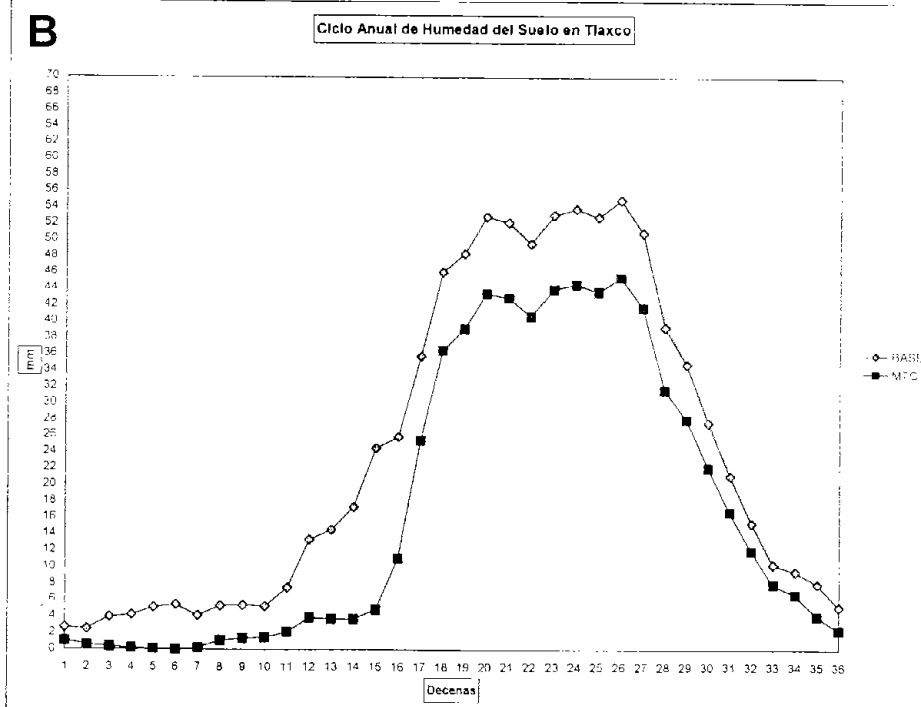
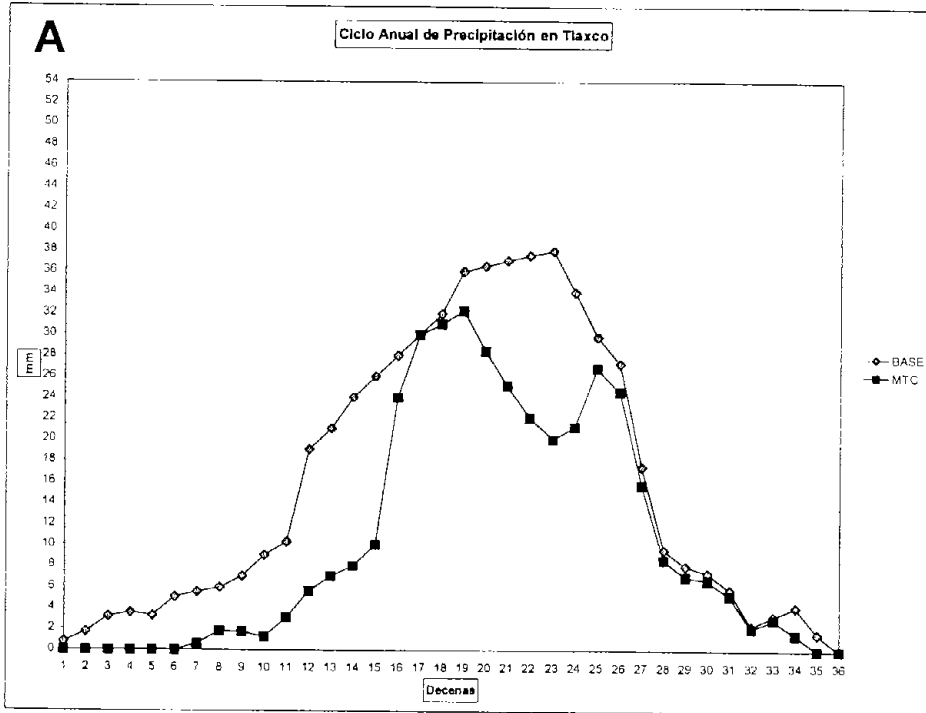


Figura 4.11 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y CCCM en el municipio de Tlaxco

TLAXCO MTC



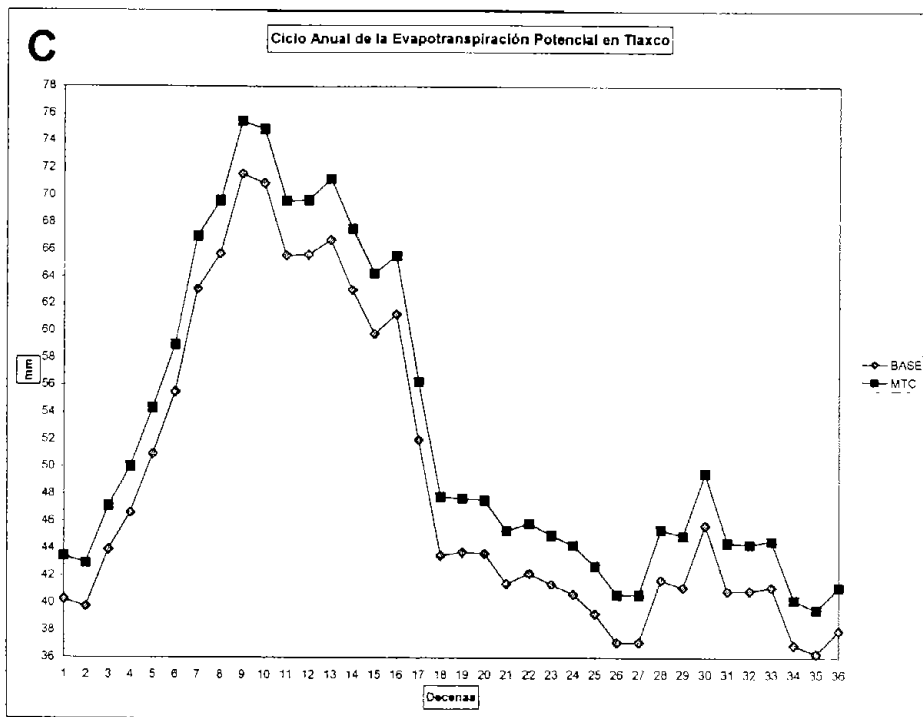


Figura 4.12 ciclo anual de precipitación en decenas de días parte A, ciclo anual de humedad del suelo en decenas de días parte B y el ciclo anual de evapotranspiración potencial en decenas de días parte C para los escenarios BASE y MTC en el municipio de Tlaxco

El aspecto más importante que vale la pena discutir del conjunto anterior de gráficas es que en el escenario GFDLR30 las anomalías de precipitación y humedad del suelo; con respecto al escenario BASE; son prácticamente opuestas a las anomalías de los escenarios CCCM y MTC; es decir; el escenario GFDLR30 reporta que habrá más precipitación y humedad del suelo, los escenarios CCCM y MTC reportan una disminución dramática en la precipitación y por lo tanto menor humedad.

Esto es de gran importancia ya que si se considera el primer escenario los cultivos de temporal entre ellos el cultivo del maíz se verían beneficiados, pero si se toman en cuenta los escenarios CCCM y MTC la disminución tan dramática en la distribución y cantidad de precipitación y humedad en el suelo perjudicaría gravemente las condiciones agroclimáticas adecuadas para el buen desarrollo del cultivo del maíz; es decir se vería afectado la estación de crecimiento y por lo tanto la producción.

Mas adelante veremos la estación de crecimiento y el balance hidrológico para el cultivo de maíz ante estos nuevos escenarios.



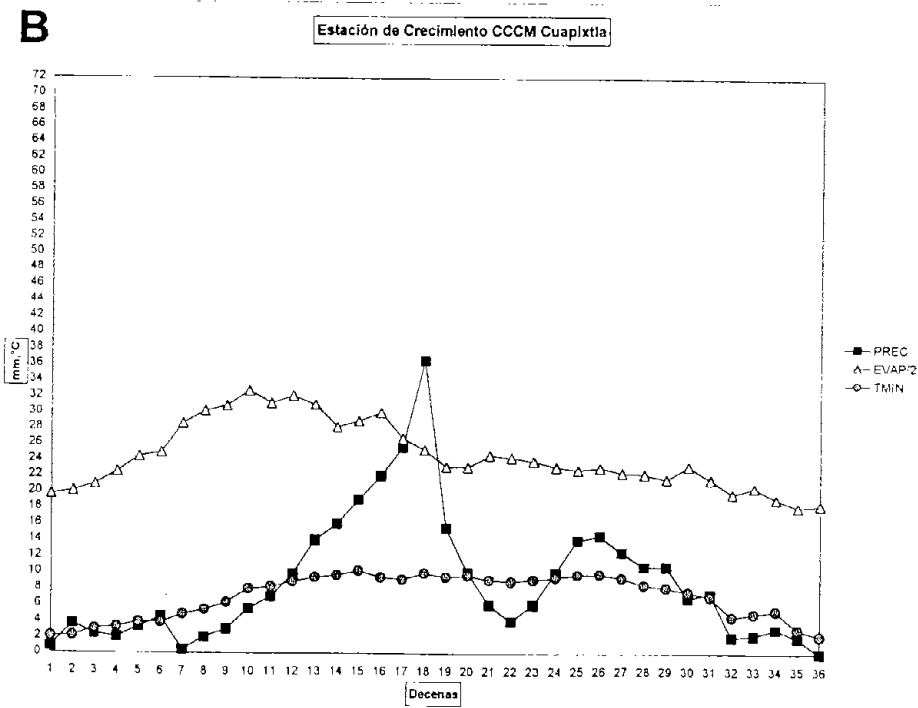
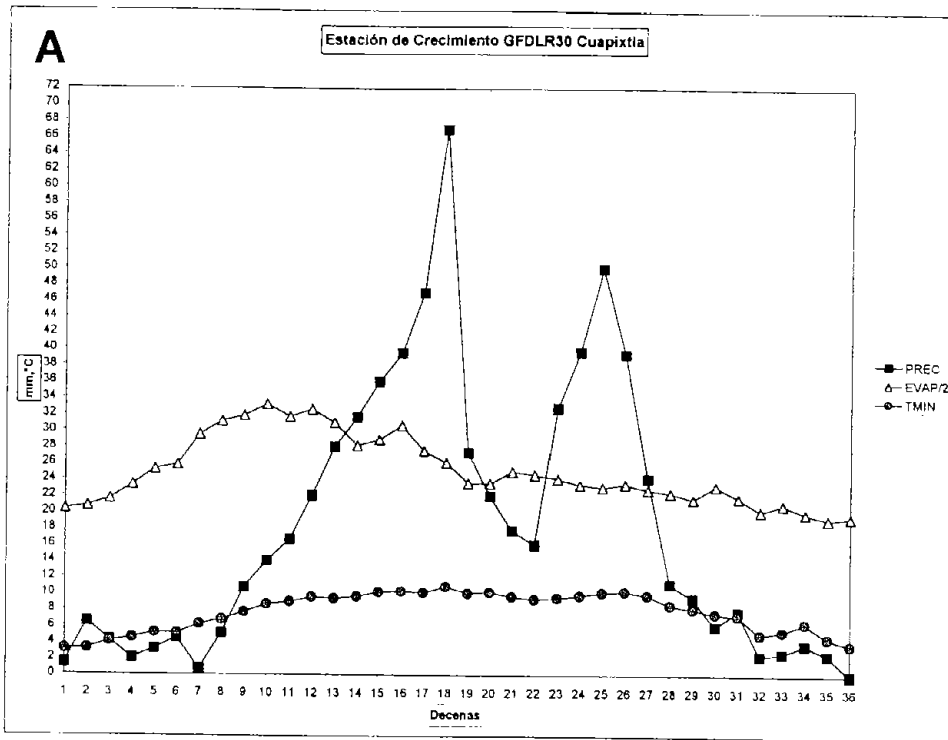
4.2.-Estación de Crecimiento en los escenarios GFDLR30,CCCM y MTC

Como se menciona anteriormente uno de los parámetros agroclimáticos más importantes en la planificación de un cultivo en una región, es el período o estación de crecimiento disponible para el buen desarrollo de un cultivo.

La figura 4.13 muestra para el municipio de Cuapixtla la mitad de la evapotranspiración potencial y la precipitación al 60% de probabilidad acumuladas en 10 días; así como la temperatura mínima del aire; la parte A corresponde al escenario GFDLR30, la parte B al escenario CCCM y la parte C al escenario MTC respectivamente. Donde observamos que para el escenario GFDLR30 el inicio del período de crecimiento ($P > \frac{1}{2}$ ETP) ocurre aproximadamente en la decena 13 (10 de Mayo) y termina en la decena 27 (27 de Septiembre), dando un período de 135 días. Sin embargo, es importante hacer notar que el período de crecimiento se ve interrumpido de la decena 20 a la 22 (19 de Julio al 09 de Agosto) por la sequía intraestival, la cual dura 20 días.

En el escenario CCCM el inicio del período de crecimiento ($P > \frac{1}{2}$ ETP) es en la decena 17 (19 de Junio) y termina en la decena 19 (09 de Julio) dando un período de 20 días. Cabe mencionar que en el modelo CCCM se interrumpe de manera dramática el período de crecimiento en la decena 19 (09 de Julio) no permitiendo la recuperación de humedad en el suelo.





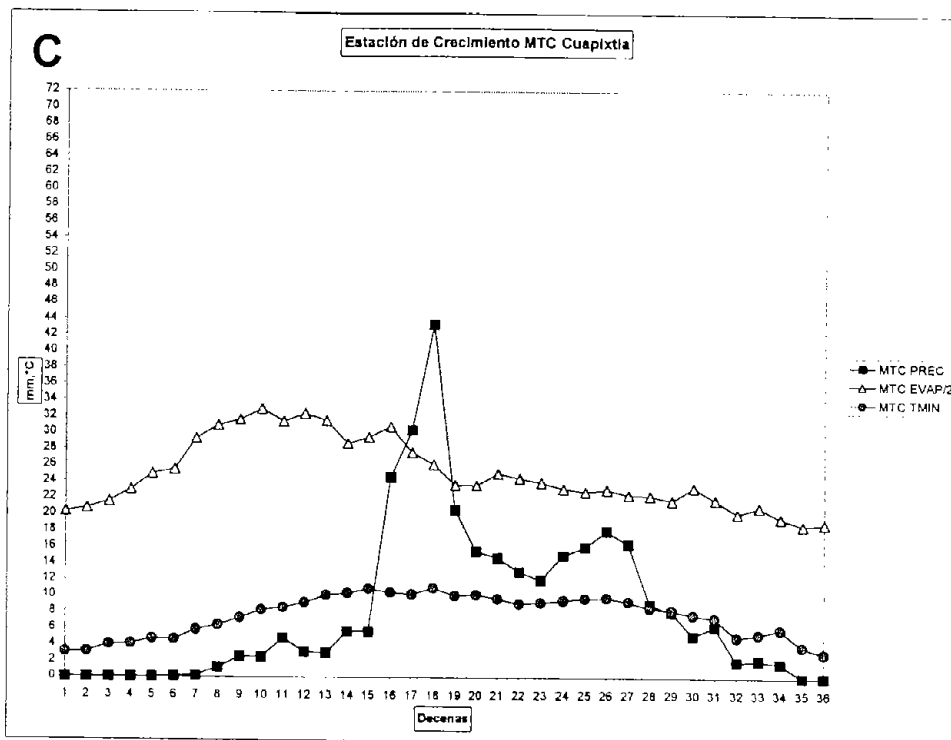


Figura 4.13 muestra para el municipio de Cuapixtla la mitad de la evapotranspiración potencial y la precipitación al 60% de probabilidad acumuladas en 10 días; así como la temperatura mínima del aire; la parte A corresponde al escenario GFDLR30, la parte B al escenario CCCM y la parte C al escenario MTC

En el escenario MTC sucede lo mismo que en el escenario CCCM, la fecha de inicio de estación de crecimiento es en la decena 17 y termina igual en la decena 19 de igual manera se interrumpe dramáticamente la estación de crecimiento

La Figura 4.13 muestra que para los tres escenarios GFDLR30, CCCM y MTC el período de temperaturas favorables para el cultivo está dentro de la estación de crecimiento.

Las estaciones de crecimiento para los otros tres municipios de Huamantla, Tlaxco y Apizaco tienen el mismo comportamiento que el municipio de Cuapixtla mostrado anteriormente..

En el escenario GFDL30 aumenta el numero de días para la estación de crecimiento y se mejoran las condiciones agroclimaticas para el buen desarrollo del cultivo del maíz y en los escenarios CCCM y MTC la estación de crecimiento se acorta en numero de días y las condiciones agroclimaticas decaen en signo.

En los tres municipios se tienen temperaturas mínimas favorables superiores a 6°C dentro de la estación de crecimiento.

Cabe mencionar que en Tlaxco en el escenario presente no se observa el fenómeno de la sequía intraestival, pero en los nuevos escenarios GFDL30, CCCM y MTC ante un incremento de CO₂ es observable ya la sequía intraestival incluso en el escenario GFDL30 que es el que da mejores perspectivas agroclimaticas para el cultivo del maíz.

La figura 4.14 es semejante a la figura 4.13, sólo que en lugar de graficar la temperatura mínima hemos representado con dos segmentos de línea gruesa los períodos de siembra-madurez, de 170 días cada uno. El primero (línea inferior) tiene su inicio en la decena 9 (31 de Marzo) que corresponde a la fecha de siembra usada tradicionalmente por los campesinos de Cuapixtla, el otro período

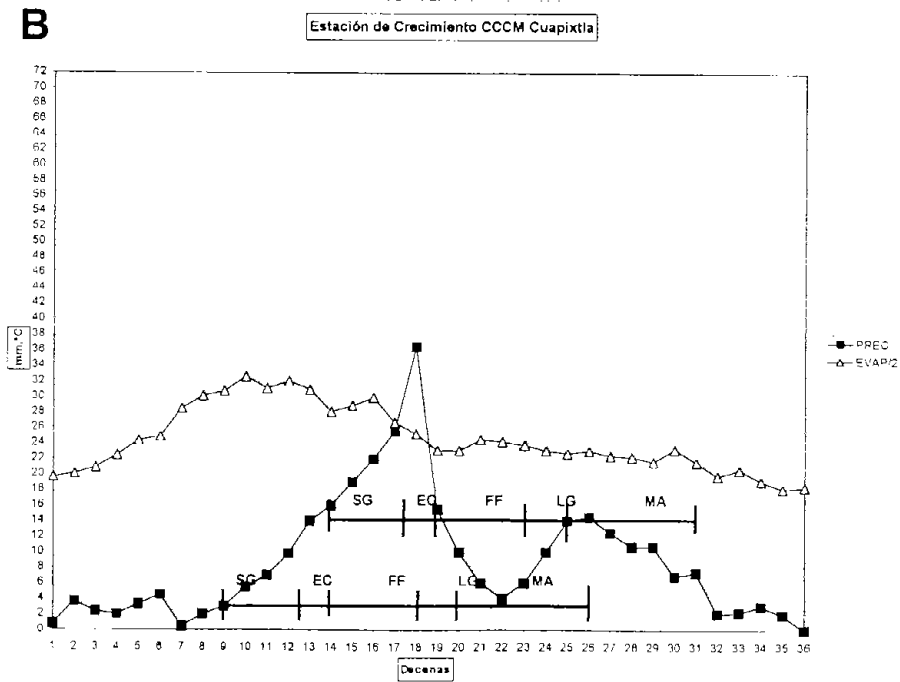
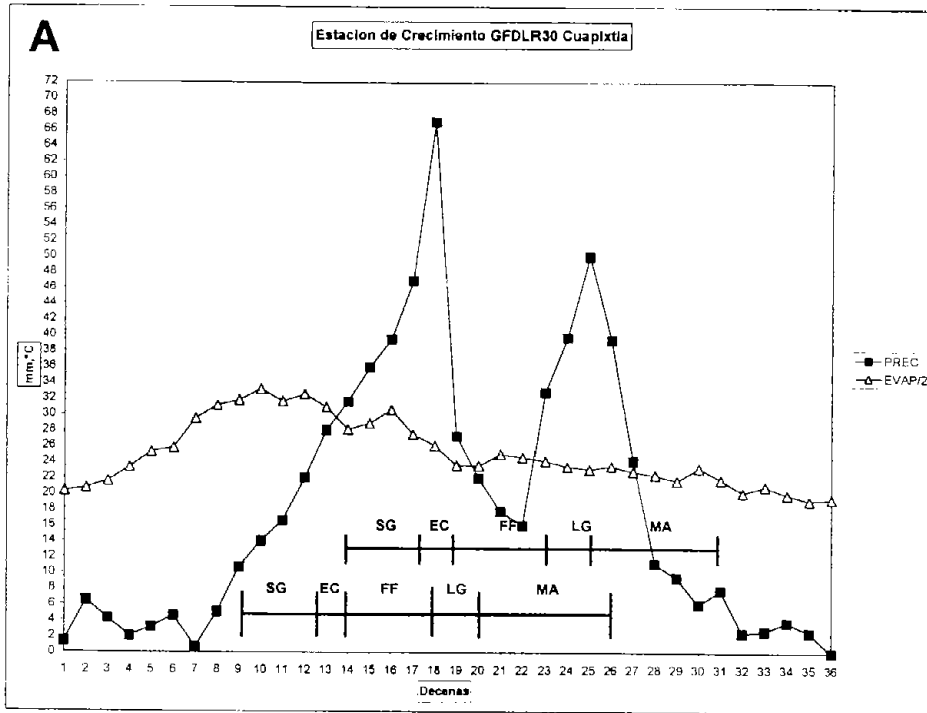


(línea superior) tiene su inicio en la decena 14 (20 de Mayo) y corresponde a la fecha de siembra que en este trabajo se propone y que más adelante se discuten sus probables beneficios; la parte A corresponde al escenario GFDLR30, la parte B al escenario CCCM y la parte C al escenario MTC respectivamente

Los dos segmentos de rectas se han subdividido señalando los inicios y períodos de cada estado fenológico del maíz; SG corresponde a siembra-germinación, EC al establecimiento-crecimiento, FF a floración-fecundación, LG a llenado de grano y MA a madurez. En la siembra tradicional los estados SG y EC, en donde la humedad del suelo es crítica tienen una carencia importante de agua, el estado FF se ve favorecido por el inicio de la estación lluviosa, el estado LG y buena parte del MA se ven afectados por la sequía intraestival.

Para el caso de la fecha de siembra propuesta; en los tres escenarios GFDL30, CCCM y MTC, el estado inicial SG se ve ampliamente favorecido por el inicio de la estación lluviosa, los estados EC y FF resultan afectados por la sequía intraestival y el estado LG y el inicio del estado MA se ven favorecidos únicamente en el escenario GFDL30, por el segundo período de lluvias que se presenta en el patrón bimodal de la precipitación. En los tres escenarios resulta favorable el incremento de temperatura mínima al final del estado fenológico MA.





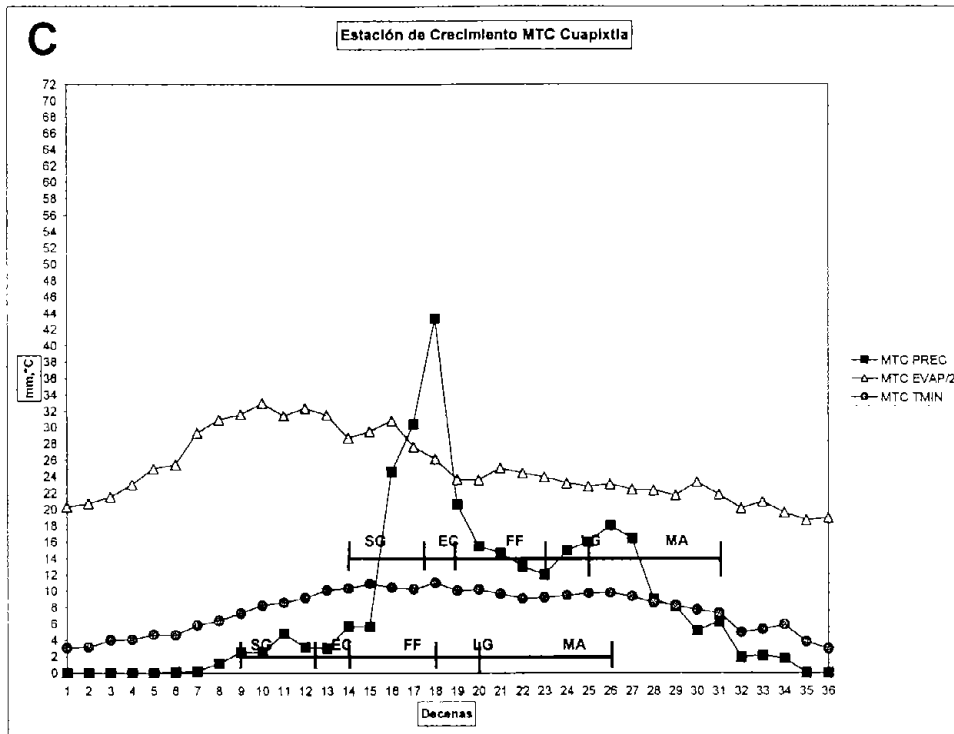


Figura 4.14 Períodos de Siembra y Madurez. Esta figura muestra dos segmentos de líneas gruesas representado los estados fenológicos de siembra-madurez de 170 días de ciclo vegetativo cada uno. El primero (línea inferior) tiene su inicio en la decena 9 (31 de Marzo) que corresponde a la fecha de siembra usada tradicionalmente por los campesinos en el municipio de Cuapixtla, el otro estado línea superior tiene su inicio en la decena 14 (20 de Mayo) y corresponde a la fecha de siembra que en este trabajo de investigación se propone como planificación agrícola. La parte A corresponde al escenario GFDLR30, la parte B al escenario CCCM y la parte C al escenario MTC respectivamente

4.3.- Balance hídrico del maíz en los escenarios GFDLR30,CCCM y MTC

La figura 4.15 muestra el balance hídrico del cultivo para el municipio de Cuapixtla.

La parte A corresponde al balance con la fecha tradicional de siembra (decena 9) y la parte B al balance con la fecha de siembra propuesta (decena 14) en el escenario GFDLR30. En ambas partes, la curva con rombos corresponde a las necesidades hídricas del cultivo (NH) y la curva con cuadros al agua disponible (ADP); por lo tanto, el área contenida entre las dos curvas (con rombos y con cuadros) es una medida de la carencia de agua del cultivo.

La comparación de la parte A con la parte B, muestra que en la parte B hay una disminución significativa del área contenida entre ambas curvas, lo cual indica que al recorrer la fecha de siembra a una decena donde la precipitación es mayor o igual a $\frac{1}{2}$ ETP (=25mm) habrá una mayor disponibilidad de agua para la planta. En la parte A y en la B se muestra el índice agroclimático, IA.

Las figuras 4.16 y 4.17 son iguales que la figura 4.15, sólo que para los escenarios CCCM y MTC respectivamente. En todos los casos se muestra un incremento en el índice agroclimático cuando la fecha de siembra tradicional (decena 9 o decena 10) es cambiada por la fecha de siembra propuesta (decena 14).



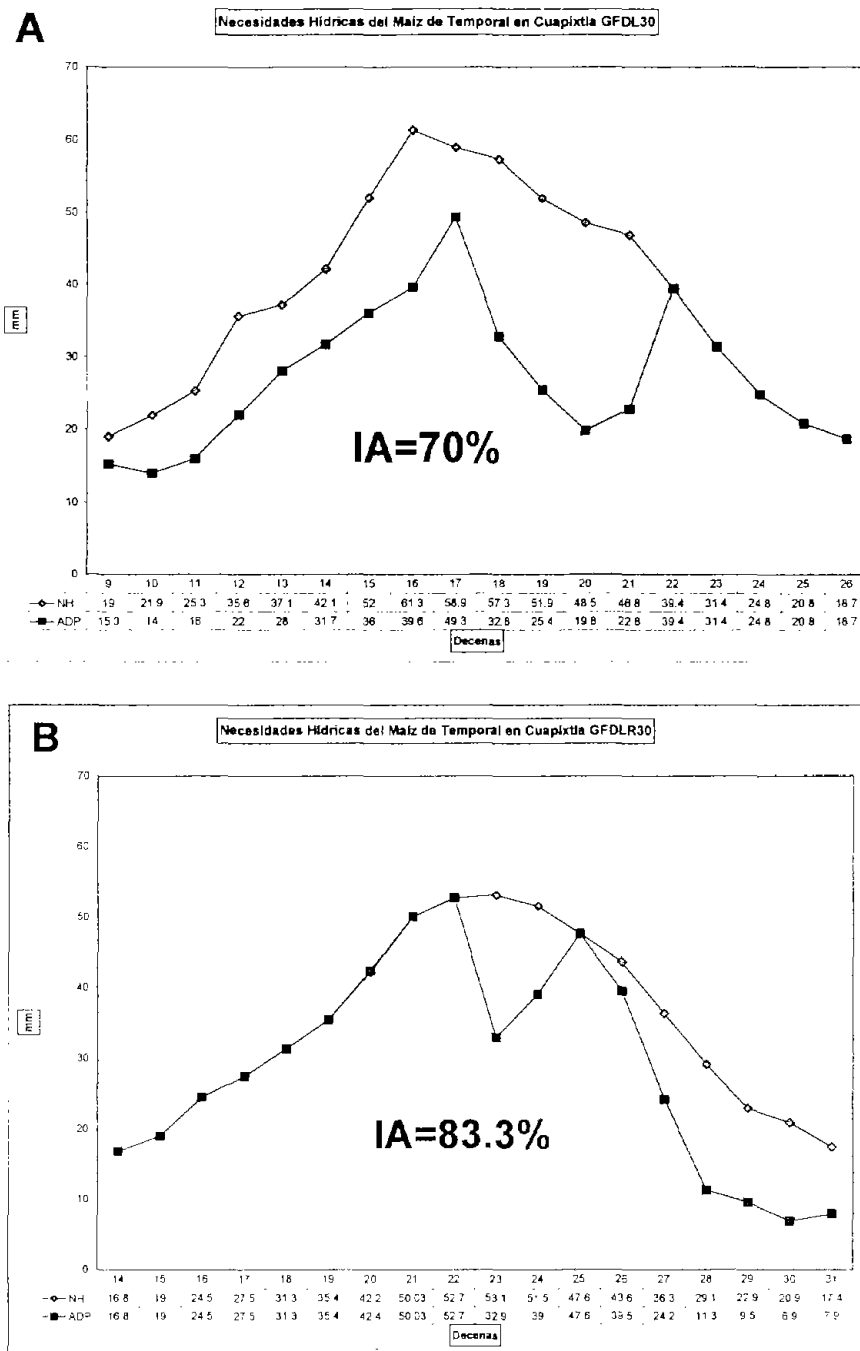


Figura 4.15 Necesidades hídricas del maíz (NH), curva con rombos, y el agua disponible para el cultivo (ADP), curva con cuadros, así como el índice agroclimático (I_A) para Cuapixtla. La parte A corresponde a la fecha de siembra tradicional y la B a la fecha de siembra propuesta. GFDLR30.

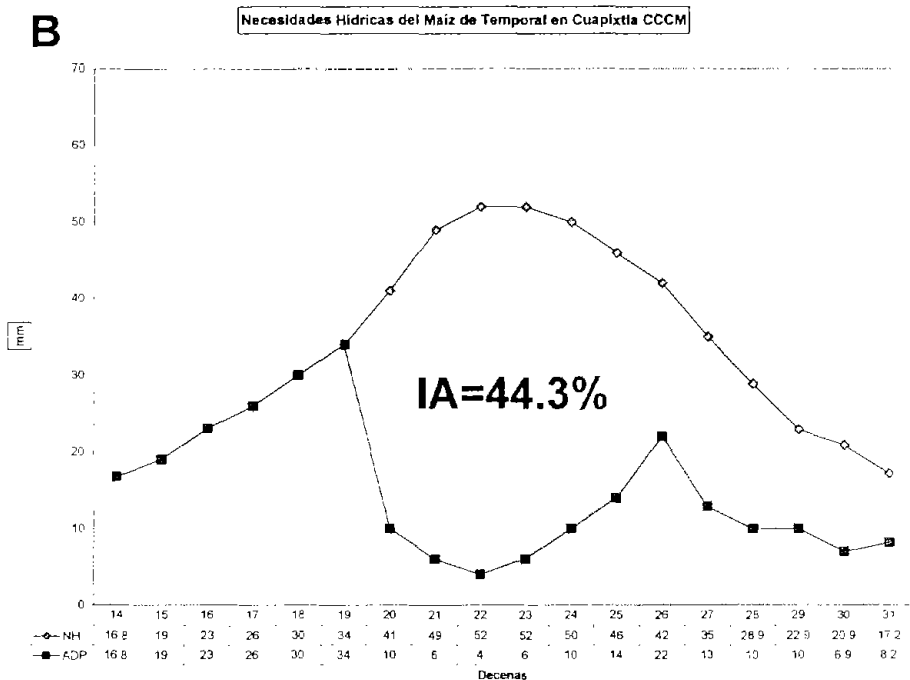
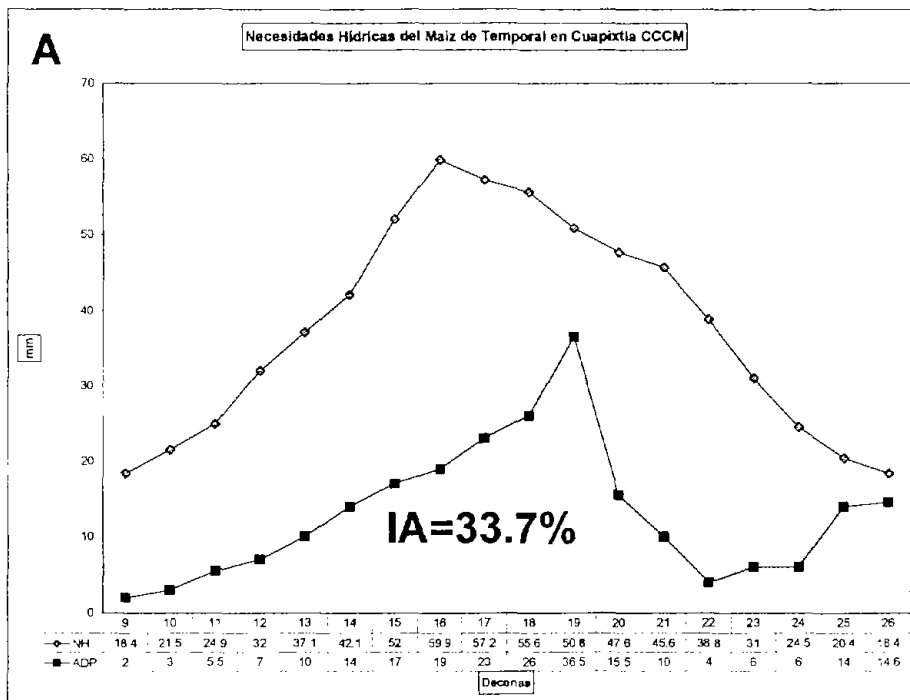


Figura 4.16 Necesidades hídricas del maíz (NH), curva con rombos, y el agua disponible para el cultivo (ADP), curva con cuadros, así como el índice agroclimático (I_A) para Cuapixtla. La parte A corresponde a la fecha de siembra tradicional y la B a la fecha de siembra propuesta.CCCM

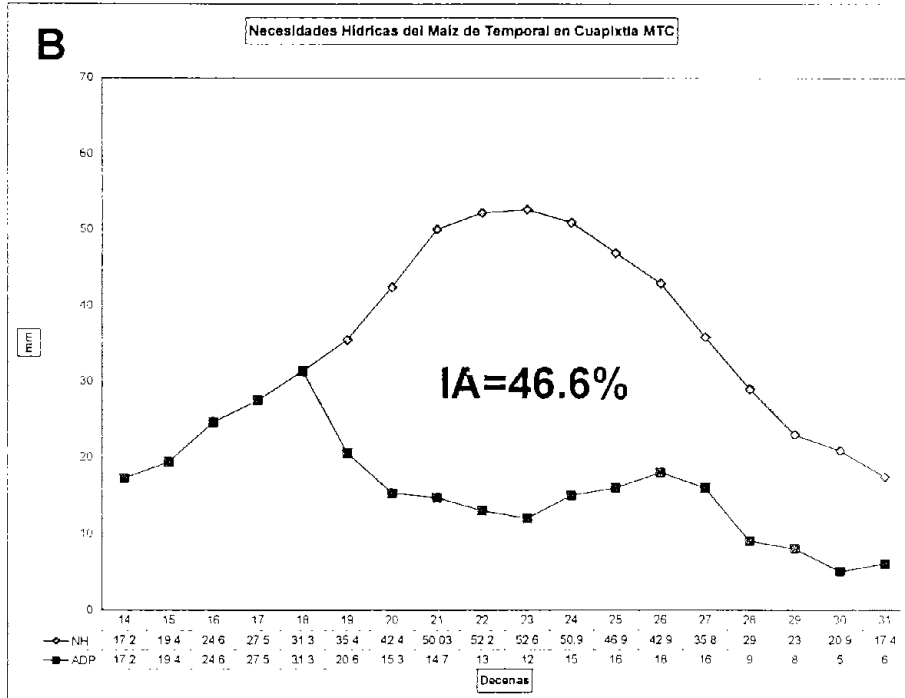
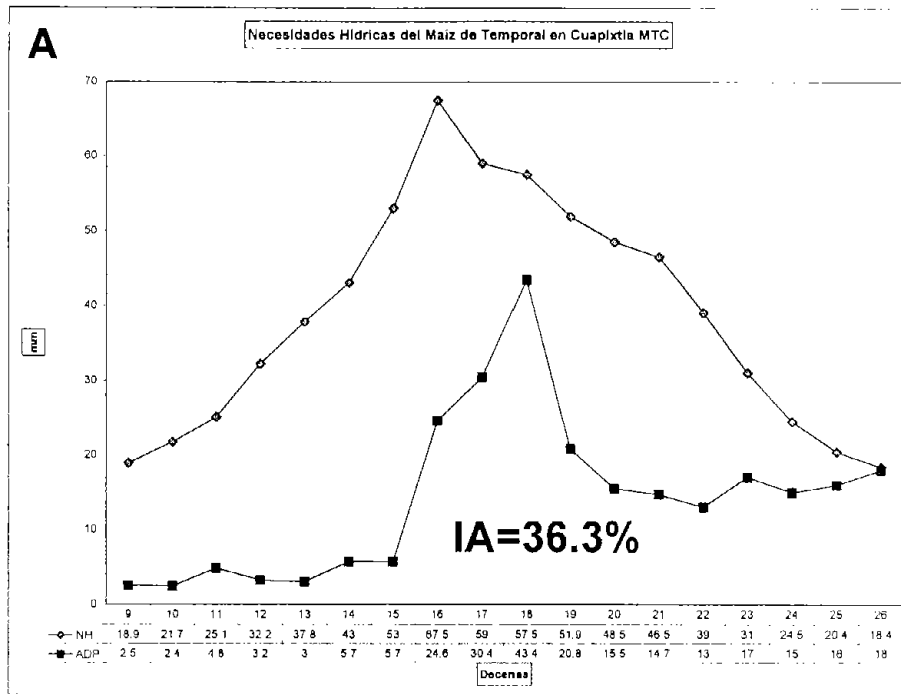


Figura 4.17 Necesidades hídricas del maíz (NH), curva con rombos, y el agua disponible para el cultivo (ADP), curva con cuadros, así como el índice agroclimático (I_A) para Cuapixtla. La parte A corresponde a la fecha de siembra tradicional y la B a la fecha de siembra propuesta.MTC

La comparación de las figuras en sus partes A, muestra que con la fecha de siembra propuesta se obtiene una disminución en las necesidades hídricas del cultivo (NH) y un aumento en el agua disponible (A.D.P) y una disminución importante en el déficit hídrico. Sin embargo, si se considera la fecha de siembra propuesta, se debe tomar en cuenta que el índice agroclimático en los escenarios GFDLR30 y MTC no es superior al 50% ; indicando con ello, que si bien las condiciones hídricas del cultivo mejoran, existe cierto riesgo de que el rendimiento anual no se incremente en forma lineal como lo esperado; ya que para esperar incremento lineal en el rendimiento el IA debe ser igual o superior al 50% lo cual podría evitarse si los agricultores contaran con recursos económicos para introducir una semilla de un período más corto que 170 días.

En general existe cierto grado de correlación entre el índice agroclimático I_A y el rendimiento en el cultivo, de manera que si el agricultor cuenta con algún método con el que pueda pronosticar, en base a las condiciones climáticas, el índice agroclimático; entonces puede hacerse un pronóstico del rendimiento que obtendrá en su cultivo.

La figura 4.18 muestra la correlación lineal del índice agroclimático con el rendimiento de los años 70's, para los cuatro municipios de estudio. Se puede observar que el municipio que tuvo mayor disponibilidad de agua tuvo mayor rendimiento.



Falla de origen
Falta la página
136

La tabla 4.1 muestra el índice agroclimático y el rendimiento, en toneladas por hectárea, para el caso en que se aplica la fecha de siembra tradicional y para el caso en que se aplica la fecha de siembra propuesta, en cada uno de los escenarios GFDLR30, CCCM y MTC; y un escenario base construido con 18 años de datos de 1964 a 1985 (Mendoza A.S, 2001) también se muestra el incremento en el rendimiento en porcentaje (última columna).

Tabla 4.1 Índice agroclimático y rendimiento, en toneladas por hectárea, para el caso en que se aplica la fecha de siembra tradicional y para el caso en que se aplica la fecha de siembra propuesta, en cada uno de los escenarios GFDLR30, CCCM y MTC y un escenario base en el Municipio de Cuapixtla

ESCENARIOS	FECHA DE SIEMBRA TRADICIONAL: 31 DE MARZO		FECHA DE SIEMBRA PROPUESTA: 20 DE MAYO		INCREMENTO EN EL RENDIMIENTO EN %
	I _A %	Rendimiento Ton/Ha.	I _A %	Rendimiento Ton/Ha.	
	BASE	55.3	0.824	61.4	
GFDLR30	70	1.030	83.3	1.216	18.1
CCCM	33.7	0.522	44.3	0.670	28.3
MTC	36.3	0.558	46.6	0.702	25.8

CONCLUSIONES



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

La producción agropecuaria es de gran importancia para cualquier país pues es el medio por el cual se abastece de alimentos a su población. Una inadecuada producción de alimentos con lleva a grandes problemas de desabasto y obliga a importar alimentos en forma creciente.

Una de las causas más importantes que se ha derivado en una reducción de la capacidad productiva del campo agrícola mexicano es sin duda la falta de lluvias en abril y la primera quincena de mayo; lo cual se traduce en rendimientos bajos, principalmente en la región centro de México, Puebla, Hidalgo, Guanajuato, Querétaro y por supuesto Tlaxcala.

Es claro que un estudio de planificación agrícola ante un cambio climático por la duplicación de CO₂, es de vital importancia para asegurar niveles crecientes de producción. Los resultados en este trabajo sugieren que se está presentando un ligero cambio en la distribución de las variables agroclimáticas más importantes para determinar la estación más propicia para el cultivo del maíz de temporal; las cuales son: precipitación, evapotranspiración potencial y humedad del suelo.

En la Evaluación que se realizó a los climas base: clima pasado reciente (1961-1981) y clima presente (1980-2000); Se observa que en los cuatro casos de estudio (Apizaco, Cuapixtla, Huamantla, y Tlaxco) hay un cambio en la distribución de la precipitación de un clima a otro.



En los municipios de Huamantla y Cuapixtla es notorio el fenómeno de la sequía intraestival en el clima de pasado reciente y se intensifica en el clima presente. En particular en Huamantla, la sequía intraestival se traslada de Julio a Agosto; el valor más alto de la temperatura máxima se presenta antes del período de lluvias y alcanza valores cercanos al crítico en el rango que se considera como óptimo para el desarrollo de la planta.

En el municipio de Apizaco es notorio el fenómeno de la sequía intraestival en el clima pasado reciente; pero disminuye en el clima presente, teniendo un incremento en la precipitación en el mes de agosto. En Tlaxco la sequía intraestival desaparece en el clima presente, teniendo un incremento en la precipitación en los meses de julio y agosto.

En la estación de verano en los Valles de Apan (que comprenden los municipios de Apizaco, Cuapixtla y Huamantla, donde la actividad principal es la agricultura de temporal), se presentan anomalías de precipitación anual que van de -10mm a los -30mm. Lo mismo sucede con la humedad del suelo en la misma estación y en la misma zona geográfica; hay anomalías de -2mm a -6mm.

Bajo estas condiciones climáticas el cultivo del maíz de temporal presenta índices agro climáticos en donde solamente la mitad de sus necesidades hídricas quedan cubiertas. Cuapixtla tiene un índice agroclimático del 50% en el escenario pasado reciente (1961-1981) y 51% en el escenario presente (1980-2000).

También se puede observar que en los municipios de Huamantla y Cuapixtla hay un incremento en la temperatura con respecto al escenario pasado reciente (1961-1981) de 2.45°C y de 1°C respectivamente. En la precipitación hay una disminución con respecto al escenario pasado reciente de 161mm y de 26.3mm respectivamente.

Con lo anterior y con el análisis de los espacio-mapas, se puede sugerir que en Tlaxcala se está dando un cambio climático. Este cambio climático podría afectar directamente al cultivo del maíz de temporal y por lo tanto a los rendimientos obtenidos por lo agricultores;. Esto se debe de tomar en cuenta para prevenir y planificar las fechas de siembra e inclusive se podría cambiar de tipo de semilla por otra de ciclo vegetativo más corto para evitar perdidas económicas en la producción de los agricultores en Tlaxcala, así que la alternativa de modificación de fechas de siembra propuesta en esta tesis puede ser una de las soluciones alternativas para incrementar el rendimiento del maíz de temporal

En los resultados mostrados en esta tesis se observa también un incremento evapotranspiración potencial en los escenarios GFDLR30, CCCM y MTC como una modificación en el patrón de la precipitación

El escenario GFDLR30 da una amplificación importante en la precipitación con respecto al clima base y por lo tanto aumenta la humedad del suelo reflejándose

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



POSGRADO EN GEOGRAFÍA
COORDINACIÓN



en el índice agroclimático el cual es mayor al 50% ; esto sucede en los cuatro municipios de estudio.

En los escenarios CCCM y MTC sucede lo contrario hay una disminución de la precipitación y un incremento en la evapotranspiración potencial con respecto al clima base por lo tanto su índice agroclimático es inferior al 50% esto sucede en los cuatro municipios de estudio.

Esta situación se podría mejorar si se trasladaran las fechas de siembra hacia las condiciones agroclimáticas adecuadas para el buen desarrollo del cultivo (estación de crecimiento). En este trabajo se recomienda cambiar la fecha de siembra del 31 de Marzo (que es la fecha de siembra usada en la mayoría de los municipios productores de maíz de temporal) al 20 de Mayo (fecha alternativa) que es donde se presenta la estación de crecimiento y se obtendría como resultado incrementos en los índices agroclimáticos en los climas base y en los escenarios GFDLR30, CCCM y MTC.

La medida adaptativa que se sugiere permitiría un incremento del 20% en los rendimientos del maíz de temporal (ver tabla 4.1). Buscando que fuera económicamente viable.

Cabe señalar que los agricultores de Tlaxcala están conscientes de que las fechas de siembra utilizadas actualmente no son las adecuadas, pero no les queda otra



Autor: Anayatzin S. Mendoza Castro

solución, ya que cuentan con créditos agrícolas los cuales son llamados paquetes agrícolas en donde compran un kilo de semilla híbrida y el gobierno les da un kilo de fertilizante. Estas semillas híbridas son de periodos vegetativos muy largos por lo que el agricultor por miedo a las heladas siembra en fechas tan desfavorables para el cultivo del maíz (31 de Marzo).

Así que el trabajo necesario a futuro para continuar en esta línea de investigación es hacer una planificación y mitigación agrícola del cultivo maíz en el estado de Tlaxcala basándose en la predicción de eventos climáticos y meteorológicos extremos (sequías y heladas). Con esta predicción se podría tomar medidas adaptativas que pudieran incrementar el rendimiento del cultivo de maíz.



BIBLIOGRAFIA



- Adem, J., 1962.** On the theory of the general circulation of the atmosphere. *Intitulo de Geofísica. Universidad Nacional de México.* Pág. 102-115.
- Adem, J., 1964.** On the physical basis for the numerical prediction of monthly and seasonal temperatures in the troposphere-ocean-continent system. *Extended Forecast Branch, National Meteorological Center, U. S Weather Bureau, Washington, D. C.* Pág. 91-104.
- Adem, J., 1968.** One year experiment in numerical prediction of monthly mean temperature in the atmosphere-ocean-continent system. *Extended Forecast Division, NMC, Neather Bureau, ESSA, Washington, D. C.* Pág. 714-719.
- Adem, J., 1970.** Incorporation of advection of heat by mean winds and by ocean currents in a thermodynamic model for long range weather prediction. *Nacional Meterological Center, Weather Bureau, ESSA, Suitland, Md.* Pág. 776-786.
- Adem J., 1997** *Julián Adem Obras tomo 1.* Recopilación Garduño, R. Colegio Nacional México 1997. Pág. 319-605.
- Barradas V., 1986** El Clima y los Patrones de Producción Agrícola en una Selva Baja Caducifolia de la Costa de Jalisco. *Biótica Volumen 11 Número 4, 1986 México. DF.* Pág. 237-245.
- Boer, G. J. McFarlane NA, Lazare M., 1992** Greenhouse gas induced climate change simulated with the Canadian. *Climate Center second generation general circulation model. J. Clim 5.* Pág. 1045-1077.
- Budyko, M. I. 1974** Climate and file. *International Geophysics Series, 18 Academic Press. 1974 New York.* Pág. 508.
- CEA (Centro de Estadística Agropecuario) 2003** *Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal de Tlaxcala de 1991 al 2003 Disco Compacto.* ED. SAGARPA. 2003. México DF.
- Conde C., Liverman D., Flores M., Ferrer R., Araujo R., Betancourt E., Villareal G., Gay C., 1997.** Vulnerability of rainfed maize crops in México to climate change. *Climate Research Vol. 9* pag. 17-23. México D.F 1997



- Conde, C. , M. Magaña, R. M. Ferrer.** 1999. On the Use of a Climate Forecast in the Planning of Agricultural Activities in the State of Tlaxcala, Mexico. *11 th Conference on Applied Meteorology . American Meteorological Society. 10 - 15 Jan. 1999. Dallas, Texas. Preprints: 101-102*
- Conde, C. , Liverman, D. , Ferrer, R.** 2000. *Una Visión para el Siglo XXI. Estudio de la Vulnerabilidad de la Agricultura de Maíz de Temporal mediante el Modelo Ceres – Maize.* Ed: UNAM. Pág. 119 –141. México.
- Conde, C. , R. Ferrer, C. Gay, V. Magaña, J. L: Perez, T. Morales, S. Orozco.** 1999. *Los Impactos de El Niño en México. El Niño y la Agricultura.* Ed. UNAM
- Custodio, et al,** 1983. *Hidrología Subterránea,* Capítulo 6. Editorial Omega. Barcelona España 1983.
- FAO** 1980 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación) *Pronósticos Agro meteorológicos del rendimiento de los Cultivos 1980.*
- Fertilizantes de América Latina N°5 2003** Capítulo Fertilizantes en México. 2003
- Fernández, A. Martínez, J. Osnaya P.** 2001 *Avances de México en materia de Cambio Climático* ED. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto de Ecología UNAM. 2001. Pág. 105.
- Ferrer, R.** 1999 *Impacto del Cambio Climático en la Agricultura Tradicional del Maíz en Apizaco, Tlaxcala..* Tesis de Licenciatura Fac. de Ciencias, UNAM 1999.Pág. 132.
- Ferrer, R. , R. Araujo, C. Conde.** 2001. Efectos del cambio climático en la agricultura de Tlaxcala. Capítulo en el libro: *México en su unidad y su diversidad territorial.* Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. 2001
- García, E.** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1998. "Clasificación de Koppen, modificado por García. Carta de Climas México Escala 1:1,000,000.
- Garduño R. y J. Adem** 1992. Calentamiento Global Calculado con el Modelo Termodinámico . *Ciencias 43, Num. Especial, 11-14*



Griffiths J. F. 1986 *Climatología Aplicada* Capítulo 6 Hidrología Pág.300-360. ED. Barcelona. Barcelona España. 1986.

Hernández H. A. 1976 *Efectos de Niveles de Humedad y Dosis de Fertilizantes sobre Uso de Agua y Rendimiento en Maíz.* Tesis de Licenciatura Universidad de Nacional Autónoma de Chapingo.1976. Pág. 120.

INEGI 1986. (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) *Síntesis Geográfica de Tlaxcala* México ED. INEGI.1986 91 pp.

INEGI, 2003 (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) Carta Hidrológica Escala 1:500,000 Clave E13B31 Tlaxcala, México.

INEGI, 2003 (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) Carta Topográfica escala 1:500,000 Clave E13B31 Tlaxcala, México.

INEGI, 2003 (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) Carta de Uso de Suelo y Vegetación Escala1:500,000 Clave E13B31 Tlaxcala, México.

Manabe, S. 1969. Climate and ocean circulation, I. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Mon. Weather Rev.* 97, 739-774.

Matalas. N:C and Fiering, M:B. , 1977. Water resource systems planning in J. Wallis (ed) *Climate, Climatic Change and Water Supply, National Academyc of Scinces Washington D.C* 1977.

Mendoza . A. S 2001 *Planificación Agrícola del Maíz en Tlaxcala Basada en la Predicción Estacional de la Republica Mexicana* Tesis de Licenciatura ENEP Aragón UNAM 2001. Pág 120.

Morales L. M. 2003 Variaciones del Índice de Vegetación desde Imágenes Satelitales Spot. *Gaceta de Investigación del Instituto de Geografía. Núm.20 Pág.22-32 ED. Instituto de Geografía UNAM: 2003.*

Mosiño, Alemán Pedro 1986 *Factores determinantes en el Clima en la Republica Mexicana* .Instituto Nacional de Antropología e Historia México 1986. Pág. 150.

PRONASE 2000 (Productora Nacional de Semillas Dirección Comercial) Serie Histórica de Precios de 1960 al 2000 en Disco Compacto



PRONASE 2000 (Productora Nacional de Semillas Dirección Comercial) Serie Histórica de Semillas Utilizadas en Tlaxcala de 1960 al 2000 en Disco Compacto

SARH, 1978 (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). *Agenda Técnica Agrícola Zona I, II, III y IV, 1978* ED. Dirección General y Extensión Agrícola. México DF. Pág. 22

SRH, 1976 (Secretaría de Recursos Hidráulicos) *Atlas del Agua de la República Mexicana, 1976.* ED. SRH, México DF ,125 láminas

Secretaría de Industria y Comercio de 1960.a 1990 *Censos Agrícolas, Ganaderos y Ejidales de Tlaxcala de 1960 a 1990* Ed. Dirección General de Estadística.

Torres R, E. 1995. *Agrometeorología* . Editorial Trillas D. F México 149 pp.

Trujillo R. 1963 *Consumo y Utilización de Agua en la Plántula por Razas Mexicanas de Maíz.* Tesis de Licenciatura Universidad Nacional Autónoma de Chapingo. 1963. Pág. 98

Villalpando I, F. 1983 *Metodología de Investigación Agroclimática* Editorial SAGAR. Tlaxcala México. paginas de la 74 a 79.

Walter R. O S. Guzmán Salvatierra 1991 Localización microclimática de zonas optimas para la introducción del cultivo de soya en el estado de Tlaxcala. *Atmósfera (1992) Volumen 5* Pág. 169-179.

Walter R. O S. Guzmán 1992 Simulación y pronostico de las lluvias una aplicación al estado de Tlaxcala *Geofísica Internacional (1992) Vol. 30* Pág. 183-192.

Walter R. O S. M. E Garay 1996 Balance de Radiación y potencias de productividad primaria en algunos ecosistemas terrestres de la Republica Mexicana. *Geofísica Internacional Vol. 25-2 (1996) Pág. 285-314.*

Walter R. O S. Pedro Mosiño 1996 *Dynamic rain model for linear stchastic environmets 1996 MAUSAM Vol 49 (1996) Pág. 127-134.*

Paginas de Internet consultadas

-----2004 INEGI en tu estado 2004 [en línea] [Fecha de última consulta : noviembre del 2004] Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.asp>

