

2EJ



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA AGRICULTURA TRADICIONAL EN EL MUNICIPIO DE APIZACO, TLAXCALA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G A

P R E S E N T A:

ROSA MARIA FERRER PERDOMO

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. MONSERRAT GISPERT CRUELLS
CO-DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. ANA CECILIA CONDE ALVAREZ

1999



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

2-10-1999

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
Impacto del Cambio Climático en la Agricultura Tradicional en el Municipio
de Apizaco, Tlaxcala.

realizado por Rosa María Ferrer Perdomo.

con número de cuenta 7006026-5 , pasante de la carrera de Biología.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis M. en C. Monserrat Gisbert Cruells
Propietario

M. Gisbert

Propietario M. en C. Ana Cecilia Conde Alvarez

[Signature]

Propietario Dr. Carlos Gay García

[Signature]

Suplente M. en C. Armando Gómez Campos

[Signature]

Suplente M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

[Signature]

Consejo Departamental de Biología

Edna María Suárez Díaz

DEPARTAMENTO
DE BIOLÓGICA

Esta tesis está dedicada especialmente a mi madre, Susana Perdomo Tejeda, y a la memoria de mi padre, Manuel Ferrer Sánchez.

A mi hermana Susi y a mis hermanos Manuel, Víctor y Miguel. A Sandy.

A mis grandes amigos y amigas: Cep, Maruja, Mariano, Tatatiux, Ana Lucía, Rita, Angelina, Susi, Ma. de los Angeles, Queta, Sergio ...

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer especialmente el gran apoyo que me brindaron y el entusiasmo que mostraron para la realización de este trabajo a la Dra Diana Liverman, ya que gracias a su asesoría se despertó en mí el interés por estos temas; a la M. en C. Monserrat Gispert (Beti), quien me orientó en el conocimiento de la agricultura tradicional en México; a la M. en C. Cecilia Conde, al Dr. Carlos Gay y al Dr. Víctor Magaña, quienes me permitieron participar y me auxiliaron en este tipo de estudios multidisciplinarios.

Agradezco los comentarios y sugerencias del M. en C. Armando Gómez y del M. en C. José Manuel Rodríguez, que permitieron mejorar el contenido de esta tesis.

También les doy las gracias a Raquel Araujo; Saturnino Orozco, Tomás Morales, José Jiménez, Maricela Hernández y los demás compañeros de la Universidad de Tlaxcala, por su valiosa colaboración y aportaciones en los diferentes proyectos y talleres en los que hemos participado juntos.

Agradezco particularmente el apoyo, la comprensión y el cariño del Padre José M. Ruiz.

INDICE GENERAL

Introducción	
Antecedentes e Importancia de este estudio	i-vi
I. Capítulo 1. Modelos Climáticos y Modelos de Interacción Cultivo - Clima	
I.1. Modelos climáticos y el cambio climático global	I-1
I.2. Cambio climático global	I-6
I.3. Efectos del cambio climático	I-11
I.4. Efectos del cambio climático en la agricultura	I-13
I.5. Modelos de interacción cultivo clima	I-16
I.6. El modelo CERES - Maize	I-18
II. Capítulo 2. Propósitos	II - 1
III. Capítulo 3. Antecedentes	
III.1. Históricos	III-1
III.2. Sistemas de cultivo tradicional	III-12
III.3. Situación actual en el Estado y en el sitio de estudio de la producción de maíz de temporal	III-18
IV. Capítulo 4. Localización y características del estado y del sitio del estudio	
IV.1. Localización	IV-1
IV.2. Clima	IV-2
IV.3. Geología	IV-4
IV.4. Hidrología	IV-5
IV.5. Suelos	IV-8
IV.6. Vegetación	IV-11
IV.7. Fauna	IV-21
IV.8. Características generales de Apizaco y Matlahocan	IV-30
V. Capítulo 5. Método	
V.1. Datos climáticos	V-1
V.2. Estación de crecimiento	V-2
V.3. Suelos	V-4

V.4. Manejo de siembra	V-5
V.5. Coeficientes genéticos	V-8
V.6. Experimentos de simulación y validación con el escenario base y simulación con escenarios de cambio climático	V-11
V.7. Medidas de Adaptación	V-13
VI. Capítulo 6. Resultados	
VI.1. Datos climáticos	VI-1
VI.2. Estación de crecimiento	VI-9
VI.3. Suelos	VI-10
VI.4. Manejo de siembra	VI-14
VI.5. Coeficientes genéticos	VI-16
VI.6. Experimentos de simulación	VI-17
VI.7. Adaptación	VI-22
VII. Capítulo 7. Discusión y Conclusiones.	
VII.1. Condición actual de la producción agrícola y de maíz en México	VII-1
VII.2. Propuestas para la recuperación del campo	VII-4
VII.3. Principales limitaciones del trabajo	VII-11
VII.4. Conclusiones	VII-13
Bibliografía	

INTRODUCCIÓN

Antecedentes e Importancia de este Estudio.

Los estudios del clima y su cambio se han efectuado durante toda la historia de la humanidad ya que, en buena medida, su supervivencia dependía de ello. Las distintas culturas han establecido interpretaciones muy diversas de los fenómenos naturales. Uno de los objetivos de esta actividad ha sido la predicción climática, fin que se persigue con el uso de las ancestrales cabañuelas, hasta con el empleo de los complejos modelos de simulación climática actuales.

Ahora bien, las grandes diferencias que se pueden encontrar entre los múltiples métodos de estudio y la predicción climática tienen que ver con las escalas espaciales y temporales que las enmarcan. Por ejemplo, puede interesar el saber si lloverá hoy por la tarde en la colonia Roma de la Ciudad de México, o bien, si el régimen de lluvias en el todo país ha cambiado en los últimos 30 años. Estas dos preguntas implican variables semejantes, pero escalas de tiempo y espacio completamente diferentes.

La lluvia en una parte de la Ciudad de México estaría incluida en los procesos que ocurren entre 1 y 10 Km², en el tiempo de días. Se puede afirmar que estas escalas son las que tendrían las dimensiones que el común de los seres humanos observan y que, por tanto, son las que más interés despiertan.

En este trabajo se analizan los cambios que ocurren en áreas que abarcan de 10 hasta 100 Km² y en escalas de tiempo de años (preferentemente 30 años), describiendo entonces el clima que caracteriza una región o localidad, esto es, se realiza un estudio climático regional y sus posibles cambios, utilizando para ello los resultados que se obtienen de los modelos actuales de predicción más avanzados: los Modelos de Circulación General (MCG). Los resultados y predicciones climáticas de estos modelos se usan aquí para analizar los posibles impactos que tendría un cambio climático en la agricultura de maíz de temporal, que constituye una actividad central en el país desde antes de la conquista.

Dado que la agricultura depende del estado del tiempo, es claro que una gran gama de variedades de maíz han sido empíricamente probadas a lo largo de

nuestra historia, buscando el agricultor aquéllas que han presentado resistencia a los factores climáticos de su entorno (incluyendo eventos extremos como las sequías) y partiendo de un pronóstico climático aprendido, mismo que supone una cierta regularidad en los ciclos naturales.

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

El bagaje de conocimiento histórico empírico es sumamente importante para el desarrollo de la agricultura en México, y, en buena medida, mucho de ese conocimiento no se puede incorporar a los modelos de simulación agroclimática. Sin embargo, algunos de los resultados de los pronósticos numéricos del clima deben ser contrastados con ese conocimiento.

Desde hace algunos años, la comunidad científica internacional ha analizado y recabado evidencias acerca del fenómeno del cambio climático global por acción antropogénica. Bajo estas condiciones, existe una alta probabilidad de que los patrones de comportamiento climático varíen. En particular, en este trabajo se presentan algunas opiniones de agricultores acerca de la irregularidad en la presencia de las lluvias, aumentos en las temperaturas, mayor frecuencia de eventos climáticos muy severos (inundaciones, granizadas, etc.) que, además de dificultar las labores propias del campo, rompen con los conocimientos tradicionales relativos al clima.

Por todo lo anterior, en esta tesis se analizan primero las condiciones climáticas y agrícolas regulares, que se denominan **escenarios base**. Para ello se utilizan series de datos de temperatura, precipitación y radiación solar diarias que nutren a un modelo de simulación del desarrollo del maíz llamado CERES - Maize. En ese modelo se consideran principalmente las características del suelo, el manejo del cultivo y las variedades de maíz empleadas. Del modelo finalmente se obtienen resultados relativos a las características del crecimiento de la planta de maíz y a los rendimientos que pueden obtenerse. La descripción detallada del modelo se da más adelante.

Se simulan las condiciones de cambio climático usando principalmente los modelos de circulación general que dan las variaciones en la precipitación, en la temperatura y en la radiación solar. Bajo estas nuevas condiciones, que se denominan **escenarios de cambio climático**, y mediante el modelo CERES - Maize, se analizan las posibles variaciones al manejo del cultivo que permitirían a los agricultores adaptarse al cambio.

Es evidente que todas las posibles variaciones que se puedan simular con el modelo CERES - Maize deben ser evaluadas para decidir su viabilidad en términos básicamente económicos. Un cambio en la variedad de la semilla empleada, por ejemplo, tiene implicaciones económicas serias para un productor. También existen barreras culturales que impiden el cambio del cultivo del maíz por el del trigo, el sorgo o la cebada, aunque los factores climáticos del lugar sean más propicias para esos cultivos.

En la orientación de este trabajo se tienen dos antecedentes importantes. El primero fue el proyecto "Estudio de País: México", que se llevó a cabo de 1994 a 1995. En él participaron alrededor de 60 investigadores, técnicos y estudiantes, principalmente de la UNAM. En particular, se analizó la vulnerabilidad de la agricultura en México ante un posible cambio climático (SEMARNAP, 1997).

Previamente, sólo la Dra. Diana Liverman (1994) había investigado los posibles impactos del cambio climático en los rendimientos de maíz en México, específicamente en dos sitios: Tlaltizapan, Morelos y Poza Rica, en Veracruz. De hecho, la Dra. Liverman asesoró al equipo de investigación que se concentró en los impactos del clima en la agricultura en el Estudio de País: México. En éste, se seleccionaron dos sitios en Veracruz, dos en Jalisco, dos en Puebla y uno en el Estado de México.

El segundo antecedente es el proyecto "Utilización de Pronósticos Climáticos para la Agricultura en el Estado de Tlaxcala", coordinado por el Dr. Víctor Magaña del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, que se inició a finales de 1996 y que continuará durante los siguientes 5 años. En él, el empleo del modelo CERES - Maize constituye el eje alrededor del cual se busca tomar decisiones

ante la variabilidad climática y sus impactos en la producción de maíz de temporal.

En la primera fase del Estudio de País: México, se determinó que las regiones más vulnerables al cambio climático corresponden al Centro y al Norte del país. Se decidió entonces establecer dos estudios de caso, representativos para cada región. Esto permitiría profundizar el Estudio, aplicando las metodologías establecidas en la primera fase y estableciendo las medidas adaptativas viables.

Para la región Centro, se seleccionó el Estado de Tlaxcala, ya que éste es un buen ejemplo en donde la agricultura de maíz de temporal es la base de las actividades económicas de un sector importante de la población. Los cambios en el clima actúan en dos sentidos: mayores temperaturas mínimas alejan el peligro de heladas, que son un serio problema en la región y por otro lado, menor disponibilidad de agua puede afectar no sólo a la agricultura, sino la creciente industria de la región.

Además, Tlaxcala es representativa de la vulnerabilidad de la región central del país considerando la densidad de población, la agudeza de los problemas sociales y económicos que surgen ante eventos climáticos extremos, los procesos acelerados de erosión y por el agotamiento de los recursos naturales.

El interés y financiamiento por parte de los productores afectados por los posibles cambios climáticos, así como la participación de investigadores y autoridades estatales permite que la viabilidad de las medidas de mitigación y/o adaptación al cambio climático sea evaluada no sólo teóricamente, sino por los resultados de su aplicación.

La diferencia central entre los dos proyectos mencionados es entonces de escala. En el primero se intentó realizar un diagnóstico a nivel de todo el país, para regiones amplias del mismo, suponiendo que el cambio climático esperado puede darse a mediados del siglo venidero. En el segundo proyecto, la escala se ha reducido aún más, y abarca a los sitios seleccionados por los agrónomos del INIFAP de Tlaxcala. Los eventos climáticos analizados pueden producirse en periodos más cortos de tiempo (de un año a otro, o de una estación a otra). Aún así, en este proyecto también se estudiarán las condiciones y posibles impactos

de un cambio climático global y se contrastarán éstas con las condiciones climáticas severas detectadas en los últimos 30 años y con los pronósticos que se están elaborando para los próximos años.

En el Estudio de País: México, se detectó la importancia de que los sectores de la población que podrían ser afectados por el cambio climático fueran informados de los resultados de los estudios. Además, se hizo evidente que ninguna alternativa de adaptación sería viable sin el estudio de las barreras sociales, económicas y culturales que se oponen a los cambios teóricamente posibles. Es más, como lo indican los analistas de las situaciones de desastre (Smit, B. et al, 1998) sin la participación activa de los afectados en la elaboración y aplicación de estas medidas, éstas tenderán a fracasar.

Por las consideraciones anteriores, en el segundo proyecto citado se planteó desde un inicio la participación de académicos de la Universidad de Tlaxcala y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP); de los productores organizados en la Fundación Produce del Estado y de algunos especialistas en ciencias sociales.

Cabe hacer notar las dificultades que presenta la interacción de estudiosos de diferentes disciplinas, aún entre los especializados en las llamadas ciencias naturales. Además de la escasa experiencia en la participación en grupos interdisciplinarios, el lenguaje y la metodología propia de las ciencias sociales resulta ajeno para los formados en las ciencias biológicas, y viceversa. Lo anterior además debe ser enmarcado en la aplicación a corto plazo de los resultados de nuestros estudios, lo que implica riesgos no puramente académicos, sino que pueden impactar económicamente a los productores asesorados.

Sin embargo, el intento por no únicamente emplear un modelo de simulación y contrastar los resultados obtenidos con los rendimientos reales, sino el buscar la opinión y asesoría de los mismos productores y de los expertos regionales ante un posible futuro, enriquece los resultados aquí presentados y esperamos que sea útil para los agricultores y para el equipo de estudiantes que están aprendiendo la utilización del modelo CERES-Maize en la Universidad de Tlaxcala.

CAPÍTULO I. LOS MODELOS CLIMÁTICOS Y LOS MODELOS DE INTERACCIÓN CULTIVO - CLIMA.

I.1 MODELOS CLIMÁTICOS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.

Una definición básica de *clima* se da en términos el "tiempo medio", o, más específicamente como la descripción estadística del tiempo en términos de la media y la variabilidad de ciertas magnitudes importantes durante periodos de varios decenios, tres decenios, como lo define la Organización Meteorológica Mundial (figura 1.1). Frecuentemente se trata de variables de superficie como la temperatura, la precipitación y el viento, en sentido más amplio, el tiempo es una descripción del estado del sistema climático (IPCC, 1997).

Los componentes principales del sistema climático son: la atmósfera, los océanos, la biósfera, la criosfera y la superficie terrestre. Estos componentes actúan entre sí y como resultado de esa interacción colectiva se determina el clima de la superficie terrestre. Particularmente, las interacciones de la Biósfera con los otros subsistemas son determinantes en la explicación de la evolución atmosférica planetaria.

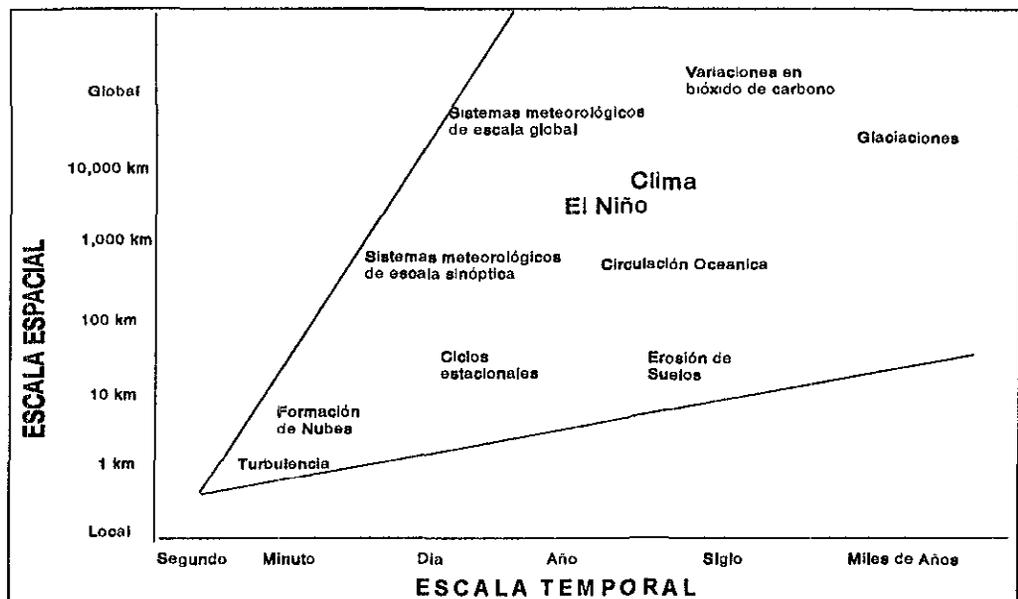


Figura 1.1. Relación espacio temporal para algunos procesos que ocurren en el sistema atmósfera - océano - continente (Magaña, 1994).

Un factor determinante en los estudios de interrelación entre el clima y las sociedades humanas es la percepción que se tiene de éste, dependiente de las escalas temporales y espaciales señaladas. Esta percepción puede ser que "el clima está cambiando", por ejemplo, para aquéllos que habiten en asentamientos urbanos tan perturbados como la Ciudad de México.

Reflejo de la percepción del clima puede documentarse tanto en los escritos pre-hispánicos como en las modernas publicaciones científicas que alertan de las posibilidades de un cambio climático global y que reportan los avances en los modelos de circulación general (MCG).

Los modelos climáticos son modelos físicos que simulan los múltiples procesos que producen el clima. El objetivo central de esta modelación es comprender los procesos básicos que lo determinan y el pronosticar los efectos de los cambios en dichos procesos y en sus interacciones.

La simulación del Sistema se efectúa estableciendo ecuaciones basadas en las leyes físicas básicas y se nutren de registros de datos en periodos largos de parámetros como temperatura, precipitación, velocidad del viento, nubosidad, etc.

Considerando la cantidad de procesos a incluir y las interacciones posibles entre ellos, la construcción de un modelo climático es una tarea ardua y se obtienen, aún con las computadoras mas avanzadas, resultados sólo aproximados.

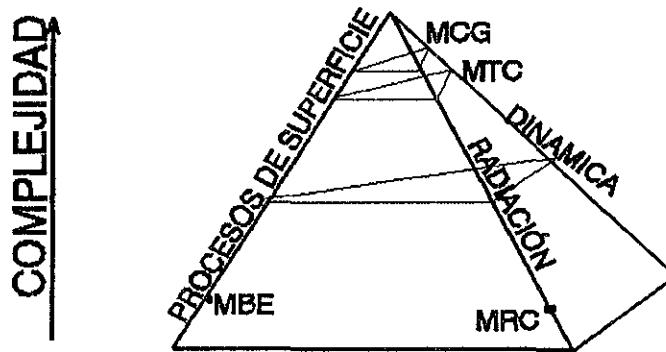
Si cada proceso es en sí complejo, existen además múltiples retroalimentaciones que determinan el "estado final" de una simulación. Por tanto, es necesario hacer simplificaciones para desarrollar un modelo climático de tal manera que las ecuaciones que se postulan que rigen al Sistema puedan resolverse. En la solución de ellas se parte de un estado inicial y se investigan los efectos de los cambios en un componente concreto del sistema climático.

Existen muchas maneras de clasificar a los modelos climáticos. Una de ellas es por la jerarquización que se hace de las dimensiones latitud, longitud y altura. Los modelos más "completos", incluirán las tres dimensiones. Los más

"simples", serán unidimensionales. Estos últimos, procuran parametrizar las contribuciones de las otras dos dimensiones, simplificación que en mayor o menor medida todos los modelos realizan.

Los principales componentes que deben ser considerados en la construcción de un modelo climático son (Henderson - Sellers, 1990) la Radiación, la Dinámica y los Procesos de Superficie.

Para apreciar la importancia de los procesos citados en los modelos y las posibles parametrizaciones en ellos, se puede observar la figura 1.2. Las aristas representan los tres componentes básicos iniciales arriba citados. La complejidad de los modelos es en orden ascendente.



Henderson-Sellers, 1991

Figura 1.2. Pirámide la modelización del clima". (Henderson - Sellers, 1991).

De acuerdo a la figura 1.2, los modelos más complejos son los modelos de circulación general (MCG) o de clima global. Estos incorporan la mayoría de los procesos y son tridimensionales.

Los modelos MTC son los modelos termodinámicos del clima tridimensionales. Uno de ellos, pionero en esta área, fue desarrollado por Adem (1982).

Los modelos dinámicos - estadísticos bidimensionales (DE), tratan los procesos de la superficie, promediando zonalmente las otras variables.

Los modelos de balance de energía (MBE) son modelos unidimensionales y analizan las variaciones latitudinales. Los modelos unidimensionales radiativo - convectivos (MRC) calculan el perfil vertical de temperatura global promedio.

Con todos ellos es posible realizar experimentos relacionados con eventos de cambio climático. Para ello, usualmente se incrementan las concentraciones de los gases de invernadero presentes en la atmósfera.

Considerando que en esta tesis se utilizan los resultados de dos Modelos de Circulación General, se describen a continuación las características más relevantes de ellos.

Modelos de Circulación General

Los modelos de circulación general (MCGs) son modelos tridimensionales que deben incluir necesariamente a la atmósfera y a los océanos a nivel global. En la atmósfera incluyen los vientos, la humedad, las nubes y la concentración de los diversos gases que la componen, considerando sus variaciones temporales y sus variaciones con la altura. En el océano, estos modelos tienen que simular las corrientes marinas, la temperatura y la salinidad y, de manera semejante a la atmósfera, tienen que incluir las variaciones de estos parámetros con el tiempo y en el espacio.

Los MCGs simulan la variación geográfica pasada y presente de la temperatura y otras variables de interés climático como la lluvia y evaporación. En ocasiones y de manera simplificada consideran la orografía continental (McGuffie et al 1997).

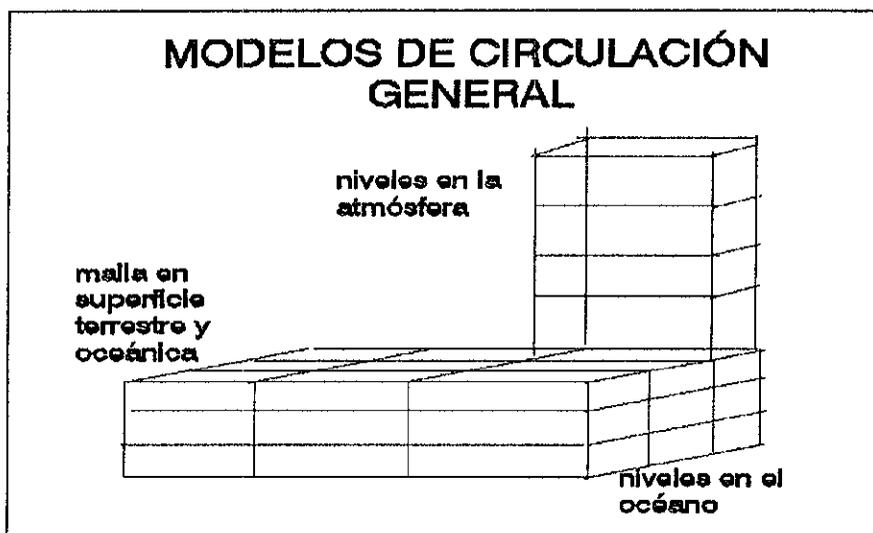


Figura 1.3. Ilustración de la estructura horizontal y vertical en un Modelo de Circulación General.

Las soluciones producidas por los modelos proporcionan las condiciones específicas de la atmósfera y el océano en un número de "puntos de malla" (fig. 1.3) que se obtienen dividiendo la superficie del Planeta en una serie de rectángulos, tal que se tenga finalmente una malla o rejilla regular.

Los modelos más actuales construyen estos rectángulos con una resolución de 2° a 5° latitud x longitud, por lo que las mejores mallas abarcan espacialmente entre 200 a 400 Km. Finalmente, los MCG incluyen entre 6 y 50 niveles atmosféricos en la vertical.

Con estos modelos se simulan las condiciones de temperatura, precipitación y radiación incidente, bajo condiciones actuales o bajo condiciones de una duplicación de bióxido de carbono, referidas como 1xCO₂ y 2xCO₂, respectivamente.

Para generar escenarios de cambio climático en algún punto en particular, se interpolan los datos de los 4 puntos de malla más cercanos. Existen otras técnicas para emplear estos modelos con el fin de obtener escenarios

regionales, pero estas, dada su complejidad, no pueden ser utilizadas en la mayoría de los estudios de impacto del cambio climático, por lo que los resultados entonces así obtenidos no serían comparables con otros estudios similares.

Los modelos empleados en este trabajo son: el Modelo GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) y el CCCM (Canadian Climate Center Model). Las salidas de estos modelos fueron proporcionados por el NCAR (National Center for Atmospheric Research) en febrero de 1994, durante el Taller que se realizó para el inicio de los llamados Estudios de País, y en el que participaron científicos de más de 50 países, México incluido. Estas salidas suministran los datos correspondientes a promedios mensuales para las simulaciones en condiciones de 1x y 2xCO₂ de las 3 variables climáticas más relevantes: Temperatura (°C), Precipitación (mm/día) y radiación solar incidente en superficie (W/m²).

El modelo GFDL tiene una resolución espacial de 2.22° de latitud por 3.75° de longitud, lo que define una malla con 96x80 puntos. Tiene además 9 niveles verticales y arroja un incremento en la temperatura promedio de +4°C, si se diera un calentamiento global. El modelo CCCM tiene una resolución de 3.75° latitud por 3.75 grados longitud, con 10 niveles en la vertical y un total de 96x48 puntos de malla y pronostica un incremento global promedio en la temperatura de 3.5°C.

I.2 CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.

A lo largo de la historia de la Tierra han existido diversos eventos de cambio climático, aún cuando no habían aparecido los seres humanos, siendo las glaciaciones un ejemplo de ello. Por otro lado, cualquier variación en la posición

del planeta con respecto al Sol (distancia, inclinación y forma de la órbita) determinaría un cambio radical en las condiciones climáticas.

Aunado de lo anterior, existe una variabilidad natural en el clima, determinada por las fluctuaciones naturales del Sistema descrito en la sección anterior (por ejemplo, actividad volcánica). Esta variabilidad natural se ve reflejada en las diferencias en las series de tiempo de la temperatura, la precipitación y la radiación.

Las acciones humanas que indujeran a un cambio en el clima pueden quedar enmascaradas por la variabilidad natural, por lo que su identificación no es sencilla. La detección de este cambio implica demostrar que las variaciones observadas son altamente inusuales, en un sentido estadístico. Para la demostración de que esto es por acción humana se deben establecer las relaciones causa - efecto, dentro de un sistema con retroalimentaciones muy complejas en el clima planetario.

El factor central que lleva a deducir un posible cambio climático por acción humana se basa en la evidencia del incremento notable en las concentraciones de los llamados gases de efecto invernadero en la atmósfera, emitidos durante los procesos industriales y por los cambios en el uso del suelo, fundamentalmente.

Estos gases de efecto invernadero no son los constituyentes principales de la atmósfera de la Tierra. Algunos de ellos, como los clorofluorocarbonos (CFC's) no son producidos naturalmente. El gas invernadero más importante es el vapor de agua, siguiendo en importancia el bióxido de carbono, el metano y el ozono (tabla 1.1), las concentraciones de estos tres últimos se han incrementado en los últimos 100 años.

En la tabla 1.2 se muestran los cambios en las concentraciones de estos gases a partir de la revolución industrial, a mediados del siglo pasado. En la misma tabla se muestran las proyecciones posibles (Watson, *et al.* 1995) del aumento en las concentraciones de estos gases, incremento que en cierta medida depende del éxito de las acciones concertadas internacionalmente para su

disminución (PNUMA, 1995), como son el Protocolo de Montreal y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992).

Tabla 1.1. Composición Atmosférica. Principales Componentes y Algunos Gases de Efecto Invernadero.

GAS		Concentración (%)
N ₂		78
O ₂		20.95
Ar		0.934
Gases de Efecto Invernadero	CO ₂	0.033
	CH ₄	1.5x10 ⁻⁴
	Vapor de Agua	0 - 0.04

Tabla 1.2. Concentraciones de Gases de Efecto Invernadero. Pasado, Presente, Futuro

GAS	1860 (ppm)	1990 (ppm)	2035 - 2075 (ppm)
CO ₂	275	354	475
CH ₄	1.1	1.7	2.8
CFC's	0	0.26x10 ⁻³	1.6x10 ⁻³
O ₃	15x10 ⁻³	25x10 ⁻³	?

Así pues, de la época pre- industrial a la década de los noventa, se han incrementado significativamente los gases de efecto invernadero. Por ejemplo, según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), para 1992 el bióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso aumentaron en un 30%, 145% y 15%, respectivamente. Las mayores contribuciones a la alteración del efecto invernadero la aporta el CO₂, siguiendo en importancia el CH₄.

La importancia de estos gases radica precisamente en el efecto que producen en la atmósfera planetaria al absorber gran parte de la radiación emitida por la

Tierra (llamada radiación infrarroja, terrestre o de onda larga), impidiendo así que la energía pase directamente de la superficie terrestre al espacio. Si la superficie pudiera irradiar libremente, el planeta sería un lugar frío (-15°C o menos, en promedio) y sin vida, semejante en sus condiciones a Marte (figura 1.4). El efecto invernadero permite entonces que, en promedio, el planeta tenga en superficie una temperatura de 15°C .

Al estar emitiendo a la atmósfera las cantidades crecientes que se muestran en la tabla 1.2, la atmósfera absorbe más radiación infrarroja, alterándose entonces el equilibrio entre la energía incidente y la energía irradiada.

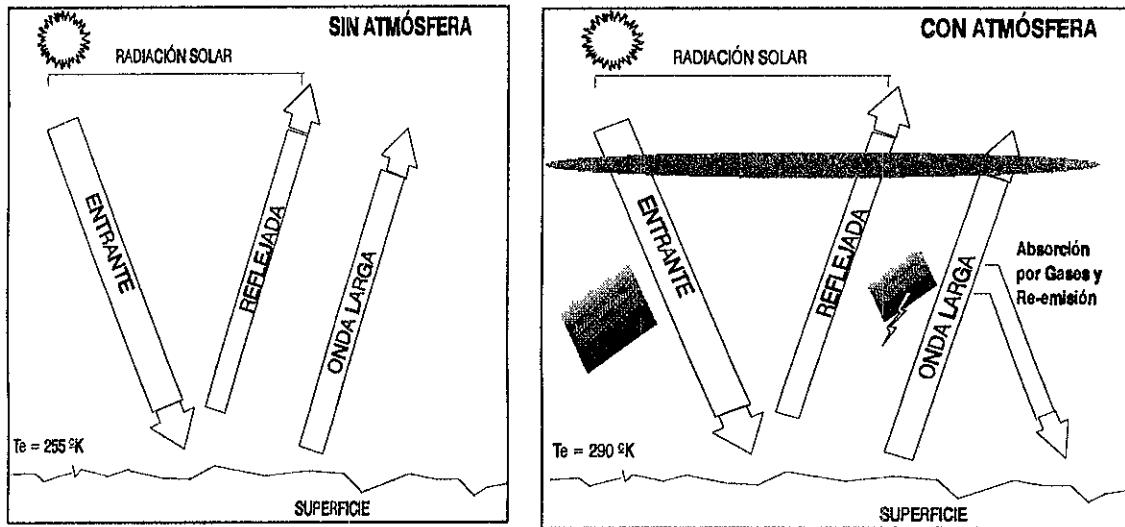


Figura 1.4. Esquema del efecto Invernadero, mostrando el balance ente la energía solar incidente, la reflejada y la emitida al exterior. En (a) un planeta sin atmósfera y en (b) un planeta con atmósfera..

Si se diera una duplicación en las concentraciones de los gases de efecto invernadero, se reduciría alrededor de un 2% la energía emitida al espacio. Es evidente que esta energía no puede acumularse sin que se presente ningún efecto, esto es, el clima tiene que adaptarse para de alguna manera deshacerse del excedente.

Un 2% más de esta energía equivale a retener el contenido energético de 3 millones de toneladas de petróleo por minuto (PNUMA, 1995). Así pues, éste

sería el excedente de energía necesario para que el sistema climático manifestara un cambio por acciones antropogénicas.

Cabe hacer notar que los experimentos numéricos que se realizan con los MCG y los demás modelos climáticos parten del supuesto de una duplicación del bióxido de carbono o haciendo la equivalencia de esta duplicación a un incremento de los gases de invernadero emitidos por acciones humanas.

La alta correlación que existe entre las concentraciones del CO₂ y los cambios en el clima puede observarse en las figuras 1.5a y 1.5b. En ellas se muestran las fluctuaciones en la temperatura y en las concentraciones de este gas en los últimos 160 000 años. Esta información se obtuvo a partir de una columna de hielo (núcleo) extraída en la Antártida. En esta columna las burbujas de aire atrapadas permitieron realizar un análisis de los componentes atmosféricos. La profundidad de la columna, por otro lado, permitió determinar la edad de las muestras obtenidas.

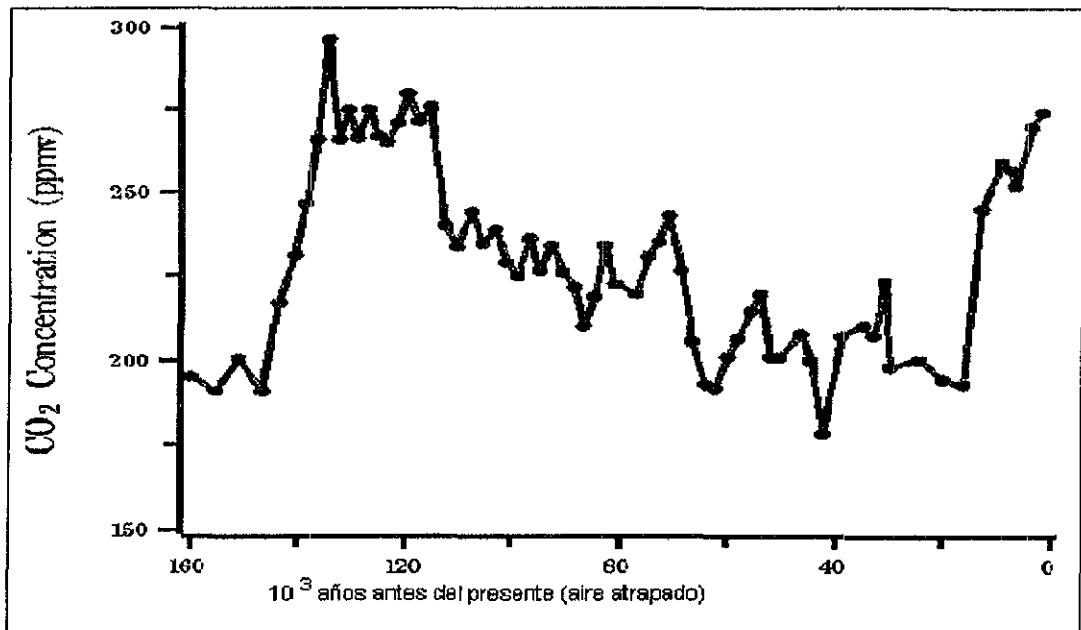


Figura 1.5a. Variaciones en las concentraciones del CO₂ obtenidas de una columna de hielo extraída en la Antártida. (Tomado de <http://www.gcrio.org.ocp98/figure3.html>)

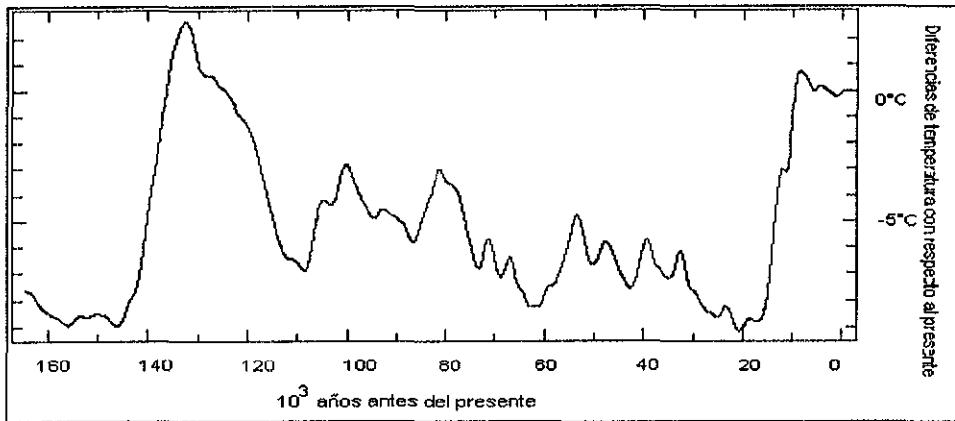


Figura 1.5b. Variaciones en la temperatura observadas a partir de una columna de hielo extraída en la Antártida. (Tomado de <http://www.gcrio.org.ocp98/figure3.html>)

1.3 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

En la mayoría del Planeta se ha observado un calentamiento gradual de la temperatura de superficie desde 1860, cuando se iniciaron los registros de esta variable. Este incremento en la temperatura superficial varía entre los 0.3 °C a los 0.6 °C. (figura 1.6). Los años más calientes han ocurrido en los últimos 17 años, fuera de un pequeño periodo de enfriamiento al inicio de la década de los 90's, debido a la erupción del volcán Pinatubo, cuyas cenizas y aerosoles bloquearon la entrada de la radiación solar.

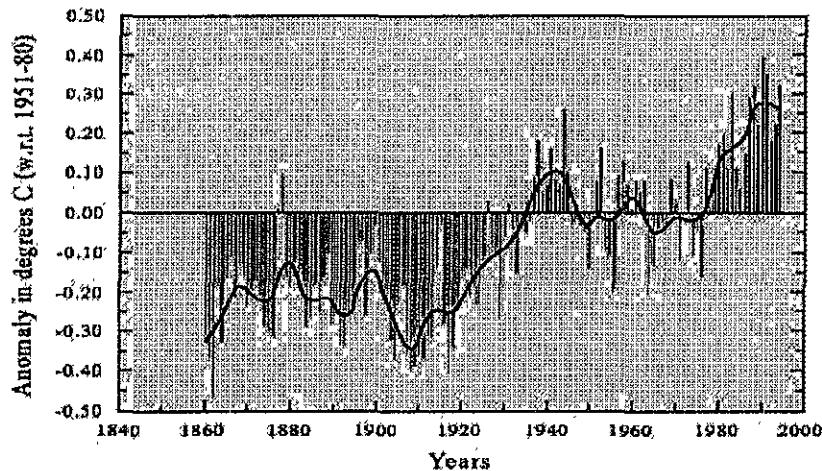


Figura 1.6. Variaciones en la Temperatura Global desde 1860, tomando como referencia los años de 1951 a 1980. (Tomado de: <http://www.ncdc.noaa.gov/gcps/papers/climchg/climate-change-update.html>).

La conclusión central de los modelos ante una duplicación del bióxido de carbono es que para fines del próximo siglo se tendría un calentamiento global con incrementos en la temperatura de alrededor de 2.5 °C.

Se prevé también, que este calentamiento será mayor en la tierra que en los océanos y que en las regiones polares se tendrán calentamientos máximos en el invierno.

Por otra parte, se han observado cambios en el ciclo hidrológico. En las latitudes altas se ha presentado un aumento en la precipitación (lluvia y nieve) durante el invierno. También se han detectado incrementos en la lluvia de verano en el sur y este de Asia. En general, se supone que existirán aumentos en la precipitación a nivel global. Sin embargo, como es de esperar, el régimen de lluvias es sumamente difícil de modelar, particularmente por el problema de la simulación de las nubes y de los efectos más regionales.

La mayoría de los modelos también pronostican: reducción de las diferencias de temperatura entre el día y la noche, menor humedad en el suelo en el sur de Europa y en la mayor parte del Norte de América, debido al aumento en la evaporación (Pearce, F., 1996).

No está muy claro si el clima será más extremo. Para algunos modelos, se presentarán condiciones del fenómeno de "El Niño" casi permanentes. Ello tendría como consecuencia sequías en ciertas regiones e inundaciones en otras. Lo que si está claro es que este fenómeno ha aumentado su frecuencia desde 1977 y se ha presentado en formas inusuales desde 1989, extendiendo su duración por varios años, como fue el caso en los años de 1990 a 1994.

Es importante recalcar que, entre más se reduzca la escala espacial, más difícil ha resultado realizar los estudios de cambio climático. Esto es inherente a los modelos empleados. Los MCG's son modelos de escala global, no están diseñados para simular a escalas regionales y, mucho menos locales. Sin embargo, en los últimos años se han perfeccionado las técnicas para correlacionar los patrones de escala global con los regionales (Magaña, 1995). Estableciendo relaciones entre el comportamiento regional y los patrones

Los escenarios de cambio climático generados mediante los Modelos de Circulación General (MCGs) suponen una duplicación en la concentración del bióxido de carbono en la atmósfera. La respuesta de los cultivos a ello es variable, pero diferentes experimentos de laboratorio han mostrado un probable efecto fisiológico benéfico ante este incremento del CO₂ (Parry, 1993). Casi la totalidad de los cultivos en el mundo son plantas del tipo C₃, las excepciones C₄ son el maíz, el mijo, el sorgo y la caña de azúcar. En los cultivos de plantas C₃, el trigo y el arroz por ejemplo, que requieren mayores concentraciones de CO₂ para iniciar la síntesis de materia orgánica, se puede esperar una respuesta positiva promedio de un 30%, tanto en la producción de biomasa como de semilla. En contraste, en los cultivos de plantas C₄, que son más eficientes en la fijación del CO₂, se calcula un efecto positivo promedio de un 6%. Por otra parte, es importante considerar que las llamadas malezas de las plantas C₄ son del tipo C₃ y viceversa.

Los experimentos controlados realizados con concentraciones de CO₂ elevadas muestran un incremento positivo pero variable en la productividad. Lo anterior, aunado a los aumentos en la temperatura, mayores en dirección a los polos, podrían propiciar un desplazamiento de las condiciones favorables para la agricultura de cereales hacia las latitudes altas en un rango de 150 a 200 km. o bien, entre 150 y 200 metros más en altura. Sin embargo, el desarrollo de los cultivos quedaría aún condicionado por las variaciones ambientales como las que se proyectan para la precipitación y la radiación solar. Otros limitantes que se deben considerar son los posibles cambios en las características de los suelos, en la disponibilidad del agua así como en la distribución de las plagas y enfermedades de las plantas (Watson et al, 1995).

El crecimiento de la planta depende de la temperatura media y de las temperaturas extremas. Así, para el maíz el rango óptimo se localiza entre los 25 a 30°C, mientras que los rangos inferior y superior se encuentran entre los 8

y 13°C y los 32 y 37 °C, respectivamente. Sin embargo, en para regiones como Tlaxcala los agrónomos emplean como temperatura mínima el valor de 6.5°C (Zárate, 1992). Las unidades de calor (UC) óptimas acumuladas desde la emergencia al inicio de la floración se calculan entre 900 y 1300, en promedio global (Watson et al; 1995) aunque este dato puede variar según la latitud. Las UC acumuladas de la floración a la madurez pueden tomar valores entre 700 y 1100.

La temperatura también afecta la viabilidad del polen, ya que para el maíz éste pierde viabilidad a temperaturas superiores a los 36°C.

La agricultura en México es vulnerable a las variaciones climáticas extremas, como son las sequías, las inundaciones y las heladas, debido a que se desarrolla fundamentalmente bajo condiciones de temporal.

El cultivo de maíz de temporal se realiza prácticamente en todo el país, aún en aquellas zonas con climas, suelos o pendientes no propicios. Contrasta con lo anterior el alto consumo de este grano como alimento básico en la mayoría de la población (Liverman, 1994), tanto rural como urbana (250 Kg. por habitante por año).

En los resultados del impacto del cambio climático en la agricultura de temporal en México, realizados en el Estudio de País: México, se obtuvo que para sitios elevados y templados, el efecto del cambio climático puede resultar benéfico al disminuir el riesgo de las heladas tempranas. Este hecho resulta ser más importante que las disminuciones proyectadas por algunos modelos en la cantidad total de lluvia durante el periodo de crecimiento de la planta.

I.5. MODELOS DE INTERACCIÓN CULTIVO - CLIMA.

La metodología para analizar los efectos del cambio climático es bastante reciente. A mediados de los años 70's surgen los primeros modelos que intentan explicar la disminución de la capa de ozono en la estratósfera. Los primeros modelos aplicados al incremento del efecto invernadero surgen en los 80's.

En la década de los 70's fue característico el uso de modelos de regresión para inferir relaciones estadísticas entre el cambio climático y sus efectos potenciales. Al final de este periodo se pretendía estimar los posibles efectos de cambios climáticos a largo plazo y sus implicaciones en los rendimientos de los cultivos así como en la producción agrícola. Un trabajo importante fue conducido por la Universidad de la Defensa Nacional en Norteamérica en respuesta a los efectos perjudiciales de una sequía persistente en el Sahel a mediados de los años 70's.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en noviembre de 1974, durante la Conferencia Alimentaria Mundial decidió establecer un sistema de información y alerta sobre la alimentación y la agricultura a nivel mundial, teniendo como objetivos principales el seguimiento de las condiciones del cultivo y el pronóstico de rendimientos, especialmente en los países en desarrollo. Así, los proyectos incluyeron el impulso de modelos agroclimáticos para la evaluación de los impactos de los factores climáticos sobre el rendimiento y manejos de los cultivos.

Otra organización involucrada en la elaboración de modelos agroclimáticos fue la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que ha producido diferentes notas técnicas que explican la estructura de diversos modelos.

Existen dos métodos generales para examinar las respuestas de los cultivos a los cambios climáticos: la medida de la aptitud de un cultivo mediante el uso de índices agroclimáticos, y la estimación de la productividad potencial al modelar la interacción cultivo - clima.

I. Índices agroclimáticos.

Estos se utilizan para caracterizar el crecimiento de un cultivo sobre la base de variables climáticas consideradas ya sea individualmente o en combinaciones. Por ejemplo, la caracterización agrotérmica del clima con base en la Temperatura Efectiva Acumulada (TEA), usualmente medida en Unidades de Calor que comprenden la suma de las temperaturas durante el periodo de crecimiento por encima de una Temperatura Base, asumida como crítica para el crecimiento del cultivo. Un índice usado frecuentemente para la caracterización de la humedad es el índice de precipitación efectiva, como el de Thornthwaite, o los índices de sequía desarrollados por Palmer.

La ventaja del uso de estos índices es que no requieren de grandes cantidades de datos detallados y pueden ser utilizados en la evaluación agroclimática potencial de grandes áreas geográficas, utilizando datos de clima de periodo largo obtenidos a través de una red de estaciones meteorológicas

II. Modelos de interacción Cultivo-Clima.

Se pueden distinguir dos tipos de modelos: Modelos empírico - estadístico y Modelos de Simulación.

A. Modelos empírico estadísticos: Se basan en la relación estadística (utilizando, por ejemplo, análisis de regresión múltiple) entre una muestra de datos de producción del cultivo y una muestra de datos climáticos. Este procedimiento frecuentemente se considera como una "caja negra" ya que no necesariamente se basan en la comprensión de las relaciones causales entre el clima y el rendimiento del cultivo.

- B. Modelos de simulación: Describen crecimiento del cultivo a lo largo de sus diferentes etapas mediante un conjunto de ecuaciones matemáticas que relacionan el desarrollo de la planta, el suelo y los procesos climáticos. Estos modelos procuran explicar los procesos del crecimiento vegetal y se consideran los mecanismos más adecuados para estimar las respuestas de los cultivos al cambio climático. Una desventaja, sin embargo, es que frecuentemente requieren de conjuntos de datos muy precisos sobre clima, suelos y manejo de los cultivos, y esto generalmente resulta en una evaluación de los impactos muy puntual difícilmente generalizable a una región. Por otro lado, también es cierto que en los países en desarrollo el acceso y la existencia de estos datos son precarios.

I.6 EL MODELO CERES - Maize

En este trabajo se utiliza un modelo de simulación para el cultivo del maíz, el Modelo CERES-Maize. Es un modelo de simulación orientado por el usuario y que proporciona información sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del maíz

Simula los efectos del genotipo, clima, propiedades del suelo y su interrelación con la dinámica del nitrógeno sobre el cultivo. El CERES-Maize fue elaborado por El Departamento de Agricultura de los Estado Unidos, El Servicio de Investigación Agrícola de Norteamérica, La Unidad de Evaluación de los Sistemas de Cultivo, El Laboratorio de Investigación de Suelos y Agua y por un equipo amplio de investigadores de diversas universidades norteamericanas.

El CERES-Maize, es un modelo de simulación que puede ser utilizado con múltiples propósitos, como son:

- La toma de decisiones sobre el manejo de cultivos interanuales.
- El análisis de riesgos multianuales del cultivo con objeto de planificar estrategias.
- El pronóstico de rendimientos.
- La definición de las necesidades de investigaciones futuras.

Los propósitos del modelo requieren que éste presente las siguientes características:

- Disponibilidad de datos climáticos, edáficos y genéticos.
- Un lenguaje de cómputo familiar y ampliamente usado.
- Un tiempo de computadora pequeño.
- Posibilidad de ser adaptado a microcomputadoras.

En la simulación del crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo el modelo considera los siguientes procesos:

- Desarrollo fenológico, especialmente la forma en que es afectado por las características genéticas del cultivo y por los factores climáticos.
- La extensión del crecimiento de hojas, tallos y raíces.
- Acumulación de biomasa, especialmente la manera en que el desarrollo fenológico afecta el crecimiento de órganos vegetativos y reproductivos.
- El balance de agua del suelo y el uso del agua por el cultivo.
- Las transformaciones del nitrógeno del suelo, y su incorporación por las diferentes partes de la planta.

El modelo está diseñado para simular los efectos del tipo de cultivo, la densidad de siembra, el clima, el agua del suelo y el nitrógeno sobre el crecimiento del cultivo en sus diferentes etapas así como su rendimiento.

Otro aspecto importante del modelo es que además de simular el desarrollo de un cultivo específico en condiciones de clima actual, se pueden introducir los resultados que los modelos de Circulación General han generado bajo condiciones de la duplicación de la concentración del bióxido de carbono en la atmósfera. También es capaz de reflejar los efectos fisiológicos que tal duplicación tendría sobre la planta.

Existen tres grande grupos de archivos para el manejo de este modelo. El primer grupo contiene la información que identifica los datos del experimento (EXP.DIR) y los datos climáticos (WTH.DIR).

Un segundo grupo provee la información que se maneja durante la simulación de un experimento e incluye datos de entrada con respecto a: coeficientes genéticos, información de clima, suelo y manejo de cultivo para todos los tratamientos planteados en un experimento (**mz2... **mz9).

El tercer grupo contiene la información de los datos observados en el campo y su comparación con los datos simulados (FILEA, FILEB). En la tabla 1.3 se desglosa la información general de cada archivo.

Tabla1.3. Archivos Principales del CERES-Maize.

ARCHIVO	TIPO	CONTENIDO
Exp. Dir	Directorio de archivos experimentales	Contiene los nombres de todos los archivos de entrada y salida para un experimento en particular

Tabla 1.3. Archivos Principales del CERES-Maize. (continuación)

ARCHIVO	TIPO	CONTENIDO
Wth.dir	Directorio de los archivos climáticos	Enlista los nombres de los archivos climáticos disponibles para el experimento
***.Wxx	Datos climáticos diarios	Localización geográfica del sitio y datos climáticos diarios (Tmax, Tmin, Prec. y Rad solar) para cada año simulado (xx)
***.mz2	Propiedades del perfil del suelo	Nombre del suelo, capas, profundidad, textura, contenido de agua, contenido de materia orgánica y compuestos nitrogenados. Características de retención y drenaje del suelo
***.mz5	Condiciones iniciales del suelo	Tipo, profundidad de las capas, pH, y compuestos nitrogenados
***.mz6	Manejo de irrigación	Eventos de irrigación, fecha, cantidad de irrigación
***.mz7	Manejo de fertilizantes	Número de aplicaciones, fecha de aplicación, profundidad, cantidad y tipos de fertilizantes
***.mz8	Condiciones experimentales	Datos sobre el manejo del cultivo: fecha de siembra, años de simulación, tipo de suelo, variedades genéticas.
***.mz9	Coeficiente genéticos	Contiene las diferentes variedades genéticas basadas en cinco coeficientes genéticos: P ₁ , P ₂ , P ₅ , G ₂ y G ₃ .

Los archivos de salida permiten validar los experimentos de la simulación al comparar los resultados obtenidos con los datos observados en el campo con respecto a fenología y rendimientos. También proporcionan información agroclimática, al calcular las unidades de calor acumuladas, la evapotranspiración y los estreses de nitrógeno y agua en cada etapa del proceso del crecimiento del cultivo.

En la figura 1.8 se muestra un esquema que ilustra las necesidades y funcionamiento del Modelo CERES-Maize para el escenario base y para los

posibles escenarios de cambio climático. También se ilustra la forma en que se puede experimentar con diversas medidas adaptativas, centrándose en las condiciones de manejo del cultivo, esto es, modificación en la fecha de siembra, aumento en la cantidad de fertilizante, uso de otras variedades, introducción de irrigación, etc.

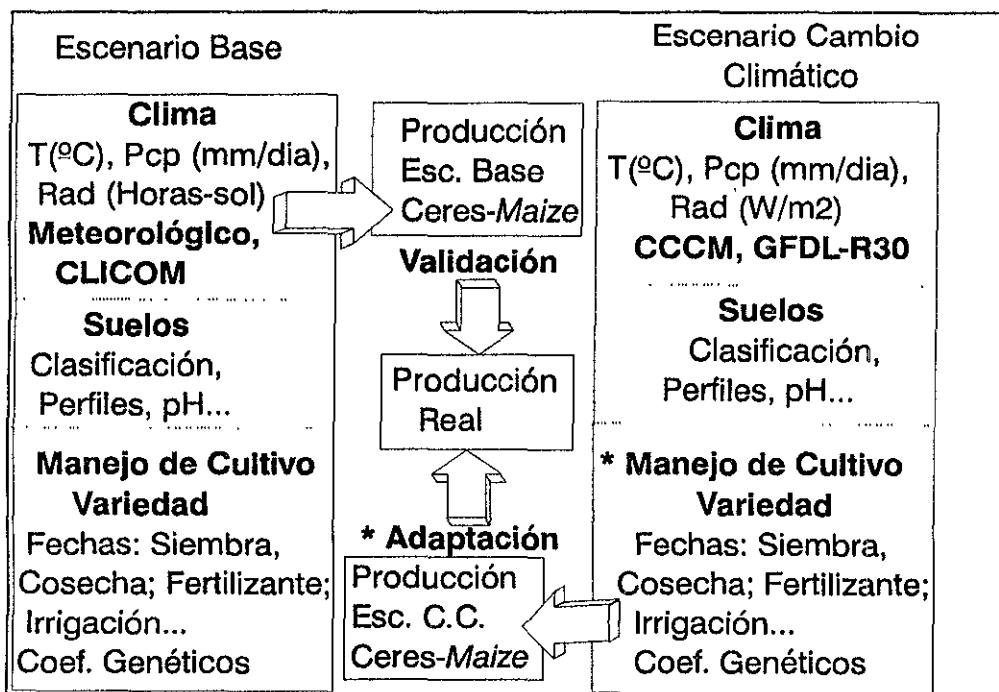


Figura 1.8. Esquema del modelo CERES - Maize.

CAPÍTULO II. PROPÓSITOS

El presente trabajo tiene como objetivo central determinar el impacto que un posible cambio climático tendría en el municipio de Apizaco del Estado de Tlaxcala.

Tlaxcala constituye un buen estudio de caso en tanto que la mayoría de la agricultura es de temporal. Esta agricultura es altamente vulnerable a los cambios climáticos. Además, teniendo Tlaxcala por su clima más aptitud para cultivos como el trigo, el cultivo predominante es el maíz, por lo que las variaciones climáticas impactan a grandes sectores de la población de ese Estado.

Para simular las variaciones climáticas se realiza primero un estudio de sensibilidad de este cultivo a cambios arbitrarios en las dos variables climáticas centrales: la temperatura y la precipitación. Por otra parte, se utilizan las salidas de los modelos atmosféricos más complejos, los Modelos de Circulación General, que simulan las condiciones de cambio climático.

Tanto en estudios anteriores para algunos sitios de México, como en la literatura referente a la agricultura a nivel global, se han obtenido resultados que establecen un efecto positivo del cambio climático. En primer lugar, por el efecto fisiológico que tendría un incremento en las concentraciones del bióxido de carbono, uno de los gases invernadero más importantes. En segundo lugar, porque para aquéllos sitios de latitudes medias que se encuentran a alturas mayores, el efecto de un incremento en la temperatura alejaría el peligro de las heladas en el cultivo y permitiría entonces la introducción de variedades de ciclo más largo.

Considerando que el llamado cinturón de los cereales se despalzaría hacia los polos, encontrar y demostrar que sitios en nuestras latitudes pueden tener aptitud para el desarrollo de cultivos como el maíz resulta ser de importancia estratégica.

Otro propósito relevante en este estudio es analizar las barreras culturales y económicas que impiden los cambios en el manejo del cultivo o aún el cambio del tipo de cultivo que se desarrolla actualmente. Para cumplir ese objetivo, además del estudio bibliográfico, se realizaron encuestas y entrevistas entre los productores para entender su percepción del cambio climático y las medidas que en la práctica ellos aplican ante los cambios en el clima que se han venido presentando, particularmente en esta última década.

Finalmente, un propósito importante en este estudio es evaluar las posibilidades que tiene la aplicación de modelos de simulación como es el CERES - Maize en países que, como el nuestro, carecen de bases de datos actualizados y confiables, necesarios para su uso.

CAPÍTULO III. ANTECEDENTES

III.1. HISTÓRICOS

Época Prehispánica.

La Historia de un Estado o Región en México puede tener diversas lecturas, dependiendo de la actividad o de los acontecimientos que se quieran resaltar. Aquí se analizarán los hechos ocurridos en el Estado de Tlaxcala que se pueden considerar relevantes para la actividad agrícola.

Siendo la historia de los antiguos tlaxcaltecas determinada por su asociación con los españoles, en el siglo XVI, la época prehispánica tiene interés en tanto que se pudieron conservar formas de propiedad y culturales que enmarcan las actividades actuales en el campo.

Los primeros indicios de la presencia humana en el territorio tlaxcalteca se remonta a 14 mil años, según los estudios hechos a una punta de proyectil encontrada en lo que hoy es Apizaco.

Aparentemente, los primeros habitantes de esta región fueron nómadas, podían producir fuego y fabricaban cestos y armas sencillas, como lanzas y dardos.

Los asentamientos humanos datan de hace 3 600 años (Síntesis, 1993), correspondientes a la cultura Tzompantepec, que ya practicaba la agricultura, además de la caza y la recolección. Se han encontrado restos de puntas de proyectil, cuchillos y hachas, además de piezas de cerámica y piedras para moler.

La domesticación de las plantas es un proceso que tardó miles de años en todas las culturas, durante los cuales los grupos humanos experimentaron con diferentes formas de cultivos para optimizar este proceso.

Las primeras plantas que se sembraron fueron de ciclo anual, que estarían dentro de los tiempos en que los grupos humanos podían permanecer en un mismo lugar. Así pues, para el caso mesoamericano, las plantas más importantes que se domesticaron fueron el maíz, el frijol y la calabaza, entre los años 7,500 a 5,000 antes de nuestra era.

Un factor importante que la agricultura aportó para abrir la posibilidad de asentamientos humanos fue la capacidad de acumular excedentes que garantizaran la sobrevivencia del grupo en periodos de escasez.

Un incremento poblacional importante se dio 400 años después, con la llegada de nuevos habitantes, que fusionaron su cultura con la ya existente, dando lugar a la cultura Tlaltempa, extendiéndose ésta, a las regiones del centro y sur de Tlaxcala.

La población vivía en aldeas, ya que el desarrollo de la agricultura permitió que los asentamientos humanos que se encontraban dispersos, al lado de los terrenos de labor, se concentraran en dichos poblados. En esta época se utilizaban ya hornos para cocer pencas y tallos de maguey así como para fabricar cerámica de mejor calidad.

Un avance importante en la agricultura fue la creación de terrazas de cultivo y de construcción de canales para el mejor aprovechamiento del agua de lluvia. Las terrazas tenían la función de evitar el arrastre del suelo y permitir la mejor infiltración de agua. Los canales, además de mejorar la irrigación, conducían al aprovechamiento de la materia orgánica barrida de regiones más altas.

Hace 2 800 años aproximadamente, se dio la llegada de grupos provenientes del Valle de México, lo que implicó un incremento de la población que abarcó prácticamente todo el Estado de Tlaxcala. De esta fusión nació la llamada cultura Texoloc, la cual coexistió con la olmeca, asentada en regiones del Golfo de México y parte del hoy Estado de Guerrero.

En esta época se inició la técnica de procesar la penca y quiote (tallo) del maguey para elaborar textiles, con el uso de primitivos desfibradores y malacates para hilar.

Con hornos más elaborados, se fabricaron figurillas, vasijas y adornos tales como collares y orejeras. Asimismo, se construyeron plataformas y edificios ceremoniales con adobe y piedras labradas, recubriendo estas edificaciones con estuco.

Los dioses más importantes eran la diosa de la fertilidad, evidencia de lo cual es la gran cantidad de figurillas femeninas encontradas, y el dios del fuego, Huehuetéotl.

Se considera que el avance agrícola repercutió en la vida económica ya que impulsó la división sexual y social del trabajo, surgiendo la especialización por oficios como artesanos, agricultores así como sacerdotes y militares que pertenecían a la clase dominante. La mujer participaba en las actividades de la casa y se les consideraban grandes tejedoras y alfareras entre otros oficios (García-Samper, 1991).

Asociada a la agricultura se dieron avances tecnológicos en los instrumentos de labranza, como el *uictli* o la coa, característico de Mesoamérica. Se utilizó para labrar, desterronar, desazolvar canales, rascar para depositar semillas y como

palanca, para desenterrar tubérculos. La coa es un instrumento plano, recta en uno de sus extremos y curva por el otro. La madera de la que estaba hecha se endurecía por medio del fuego. Otros instrumentos que se fueron desarrollando fueron los pixcadores, los azotadores, las azadas y las hachas.

Hace aproximadamente 2 350 años, surge en Tlaxcala la cultura Tezoquipan, con gran influencia teotihuacana. Teotihuacán se había convertido ya en un gran centro cultural y con gran dominio político en toda la parte central del país, estableciendo importantes redes comerciales con lo que además extendía su influencia cultural.

Mediante esa influencia, la cultura Tezoquipan mejoró sus técnicas agrícolas e incrementó el número de canales para el control del agua de lluvia y de riego. Con lo anterior, la producción agrícola mejoró, satisfaciendo entonces a una creciente población.

Las evidencias arqueológicas señalan que los cultivos más importantes eran de temporal, siguiendo los sistemas de barbecho y roza. En ambos casos se tenía el objetivo de limpiar el terreno antes de la siembra. Resalta el hecho de que se dejaba descansar la tierra después de dos o tres ciclos anuales (García Cook, 1985, en Ramos, 1994).

En la cultura Tezoquipan se construyeron mayores centros ceremoniales, de piedra o tepetate, recubiertas de estuco blanco o rojo. Aunado a estos, la clase sacerdotal se convirtió en la clase dirigente, controlando las actividades económicas, además de las religiosas. Durante esta época se empezó a rendir culto al dios teotihuacano de la lluvia, Tláloc y se adoptó el juego de pelota en la práctica de algunos rituales (García-Samper, 1991).

Para el año 100 de nuestra era, con la decadencia del grupo Tezoquipan, los centros ceremoniales fueron abandonados y aparecieron nuevamente las aldeas dispersas que conformaron la cultura Tenanyécac para el año 200, época en que Tehotihuacán se encontraba en su apogeo. El predominio político pasó a manos de los militares, por lo que durante esta etapa se construyeron fortificaciones dominadas por caciques o señores de las diferentes aldeas. Esta situación se prolongó hasta el año 600, en que una nueva inmigración revitalizó el área.

La inmigración mencionada provino de la ciudad de Cholula, al sur del territorio tlaxcalteca y situada en el actual Estado de Puebla. Por el año 600, Cholula fue tomada por un grupo maya procedente de Campeche. Este grupo, conocido como xicalanca, ya se había apoderado anteriormente de Teotihuacán. Si bien los señores de Tenanyécac trataron de permanecer independientes, los xicalancas lograron penetrar a Tlaxcala hasta la región de Nativitas, situada en las cercanías del río Atoyac. Allí edificaron una fortificación conocida como Cacaxtla. Las edificaciones de Cacaxtla fueron decoradas en bajorrelieves y pinturas murales con colores como el rojo, el azul, el amarillo y el negro. Los personajes representados resaltan la procedencia maya de sus constructores.

Como resultado de estas fusiones, nació aproximadamente en el año 650 y en el centro del territorio tlaxcalteca, la cultura Texcálac, que se prolongó 450 años y durante la cual renacieron las grandes poblaciones. Bajo la influencia de Cacaxtla, algunos cacicazgos comenzaron a ser importantes, como los de Tepeyanco, Xaxitocan, Texcalac, Huilcapan, Tlalcocalpan, Temetzontla y Tepetípac.

Una influencia importante en todo el centro del país la ejercieron durante este periodo los toltecas. Este grupo, asentado principalmente en Tula (Hidalgo), se caracterizó por llegar a tener un gran poderío militar. Este pueblo también fue

notable por su dominio de diferentes técnicas de orfebrería y metalurgia. Éstas últimas tuvieron gran influencia en el mejoramiento de algunos instrumentos de labranza, por ejemplo, a la coa se le pudo añadir una punta metálica, lo que la hacía más resistente

Con la invasión chichimeca (procedente del norte) los últimos toltecas emigraron a Cholula, donde fueron dominados por los xicalancas.

Para el año 1292 los toltecas pudieron expulsar finalmente a los xicalancas de Cholula, para lo cual se aliaron con los chichimecas - otomíes. Pudieron entonces expandir su territorio hacia el sur de Puebla, algunas regiones de Tlaxcala y aún el norte de Oaxaca. Como pago por su ayuda, los chichimecas recibieron territorio tlaxcalteca estableciéndose en Altangatepec, Hueyotlipan, Tecóac y Xaltocan (Nava, 1991).

Además, en este periodo se formaron dos regiones culturales más: la que ocupó el territorio de Tlaxco y la que se ubicó en la zona de Calpulalpan.

Los toltecas - cholultecas fueron derrotados en 1359 por el señorío de Huejotzingo, en Puebla. Libres del dominio tolteca, los territorios centrales de Tlaxcala recibieron nuevas migraciones chichimecas, que se integraron a la población existente formando una nueva cultura. Tlaxcala entonces se organizó en señoríos. El más creciente, el de Tepetícpac, llegó a fundar el señorío de Ocotelulco. Posteriormente se fundó el señorío de Tizatlán y finalmente el de Quiahuiztlán. Si bien cada señorío tenía su territorio y gobierno, por medio de alianzas se conformó una confederación de naciones, con un especie de consejo para resolver problemas comunes. También existió una especialización de los señoríos: Tepeticpan, el mejor fortificado, era el lugar al que podían llegar todos los señores a refugiarse en caso de guerra; Ocotelulco sobresalía por su

mercado, convirtiéndose en un centro económico importante; Quiahuiztlán se caracterizó por su pueblo de artesanos.

De gran importancia para la historia tlaxcalteca fue la fundación de la ciudad de Tenochtitlán, hacia el año 1325. De origen chichimeca, este pueblo, llamado mexica, llegó a formar un gran imperio de características militaristas. Para el siglo XV los mexicas habían invadido gran parte del área mesoamericana.

Si bien los señoríos tlaxcaltecas nunca fueron totalmente dominados por los mexicas, se encontraron siempre en situación de guerra. A pesar de esta rivalidad, los mexicas influyeron fuertemente en Tlaxcala. Rasgo de lo anterior es la organización en calpulli, que determinó la forma de propiedad sobre la tierra. Ésta se repartía entre las familias de un mismo barrio, para uso común o individual. Una parte de esas tierras se trabajaba para sostener templos, gastos de guerra o para pagar tributo. Para algunos autores (Kirchhoff, 1981, en Ramos, 1994), los calpulli sólo tenían el usufructo de la tierra, sin llegar a tener posesión definitiva de ésta.

Tanto en la sociedad mexica como en los señoríos tlaxcaltecas se realizaban cultivos de temporal. En Tlaxcala se sembraban el maíz (*Zea mays* L.) como el principal producto, el frijol (*Phaseolus spp.*), la calabaza (*Cucurbita spp.*), el maguey (*Agave spp.*), el amaranto (*Amaranthus hypocondriacus*), el nopal (*Opuntia spp.*), el zapote blanco (*Casimiroa edulis* Llave & Lex.), entre otros productos. Complementaban su alimentación con la cacería, además de recoger aguamiel y pulque del maguey así como miel de abeja.

Otra actividad importante era el comercio, en el que intercambiaban el maíz y la cochinilla (*Dactylopius coccus*), para hacer tinturas, con otras regiones de las que obtenían cacao (*Theobroma bicolor*), mantas de algodón (*Gossypium*

hirsutum), chile (*Capsicum annum* L.), vainilla (*Vanilla planifolia*), plumas, tabaco (*Nicotiana tabacum*) y sal.

El tributo fue un aspecto económico que se estableció en ambas sociedades. Los tlaxcaltecas no pagaban tributo a Teotihuacán, pero si existía un pago tributario interno, entregado a los caciques en forma de alimentos o de productos elaborados por los artesanos.

A mediados del siglo XV, el rey mexica Moctezuma Ilhuicamina logró conquistar regiones cercanas a Tlaxcala, lo que motivó a los señores de Tlaxcala a edificar grandes fosos rodeando todo su territorio, guarniciones y una gran muralla.

La Era Virreinal.

Se conoce como la era virreinal al periodo comprendido entre 1535, año en que se nombró el primer virrey de la Nueva España, hasta 1821, año en que se consuma la independencia de México.

La participación de los tlaxcaltecas en la conquista de Tenochtitlán marcó la historia de esta cultura, en tanto que se estableció un vínculo con los españoles que perduró durante todo este periodo. A diferencia de otros grupos, los tlaxcaltecas gozaron de privilegios que les permitieron conservar costumbres y formas culturales indígenas, a pesar de que se dió un fuerte proceso de mestizaje.

Los tlaxcaltecas fueron empleados por los españoles para colonizar y fundar nuevas poblaciones en varias regiones del país, como San Luis Potosí, Nuevo León, Coahuila, Jalisco y Zacatecas o bien en lugares tan remotos como la Florida, en Estados Unidos o aún en Filipinas (Martínez, 1997).

En 1525 el Papa Clemente VII ordenó la fundación de la ciudad de Tlaxcala, como una distinción a la lealtad y ayuda al reino español durante la conquista. Esta ciudad quedó ubicada al suroeste de los cuatro señoríos tlaxcaltecas, que conservaron formas del gobierno indígena y sus tierras sin intromisión de la corona. Además, a sus habitantes se les concedió el derecho de portar armas y de montar a caballo. Por otra parte, se les dispensó del pago de impuestos. Antonio de Mendoza (1490-1552), primer virrey, fue quien transformó el gobierno indígena de Tlaxcala en Cabildo Indio, nombrando un gobernador elegible cada dos años entre los cuatro señores, cada uno con la misma jerarquía política.

Desde 1535 la tierra se dividió en propiedad comunal e individual, la que poseía la nobleza indígena fue reconocida como propiedad privada. A pesar de lo anterior, se inició el proceso de apropiación de la tierra a manos de españoles. Los indígenas algunas veces vendían sus tierras a los españoles o bien en ocasiones estos se casaban con las nobles indias, pasando a ser propietarios de la tierra. En cualquier caso, se inició el surgimiento de grandes haciendas, en las que la ganadería tuvo un papel económico importante.

La introducción de tecnología europea transformó a la agricultura mesoamericana. Con el empleo del arado, la yunta y la rueda, se inició el uso intensivo del suelo. La introducción de ganado permitió que las tierras poco aptas para la agricultura se volvieran fértiles con el empleo del estiércol como fertilizante.

En la agricultura hubo innovaciones que aumentaron de manera sobresaliente la producción de alimentos, por ejemplo, se introdujo el uso del arado jalado por bueyes, que hacía más eficiente la remoción de la tierra y permitía hacer los surcos de manera más rápida. Se iniciaron nuevos cultivos como el del trigo, la cebada y el haba. La práctica de los nuevos sistemas europeos se desarrolló en

detrimento de algunos de los sistemas tradicionales prehispánicos. Así, en el transcurso del tiempo la agricultura en chinampas se redujo, probablemente porque este sistema requería de una gran cantidad de fuerza de trabajo, misma que era difícil de obtener por la reubicación de la población o por las grandes epidemias que se propagaron entre la población indígena.

La ganadería permitió la cría de ganado con animales traídos de Europa, como borregos, cerdos y vacas. La carne, leche y la lana fueron productos que cambiaron la forma de alimentación y vestido.

Las haciendas ganaderas contaron con grandes extensiones de tierra para el pastoreo, pero también para la siembra de maíz y trigo. Desde la época prehispánica, se usaba el maguey para la obtención de papel, material de construcción, enseres de cocina, combustible, hilo, agujas, forrajes así como para la producción de pulque. Durante la época virreinal se establecieron haciendas pulqueras, aunque su consumo estuvo reglamentado por la Corona, en particular con el objetivo de cuidar sus intereses económicos, aplicando impuestos a su comercialización (Rendón, 1990).

La tala de árboles y extracción de resina fue otra nueva actividad económica que se estableció en este periodo. No sólo el Estado de Tlaxcala se abastecía de leña a partir de esta actividad, sino también se comerciaba con el Estado de Puebla.

Otro aspecto novedoso en la economía colonial lo constituyó la actividad textil. Los obrajes se establecieron desde 1560, existía para los indígenas un salario anual y el dueño del obraje les debía dar comida y vestido. A finales del siglo XVI uno de los más importantes obrajes fue el de Apizaco.

Así pues, durante la colonia se dieron grandes avances tecnológicos en el campo mexicano, a la par de la competencia por el uso del suelo y del agua entre ganadería, agricultura y la naciente industria textil. La deforestación también creció a ritmo acelerado.

La Revolución Mexicana y la Situación Actual.

Durante el virreinato y hasta inicio del siglo XIX, las técnicas agrícolas experimentaron escasas modificaciones. A mediados del siglo XIX se promulgaron las leyes de desamortización que sumadas a las leyes de colonización hicieron posible la expansión territorial de las haciendas, las que permitieron la introducción de modernos instrumentos y maquinaria agrícola.

El esquema productivo anterior fue resquebrajado por la revolución social de 1910. Existía entonces una alta concentración de tierras en manos de los hacendados, que constituían la oligarquía contra la que se levantarían los campesinos, principales protagonistas de la revolución. Así pues, los gobiernos emanados de la revolución fueron obligados a establecer como una de sus primeras medidas el reparto agrario. Éste se concretó con la distribución de tierras en forma de ejidos, de tal forma que cada campesino recibió un pequeña parcela que en Tlaxcala fluctúa entre 0.5 y 8 hectáreas.

La producción agrícola ejidal se vio frenada ante la ausencia de una infraestructura adecuada, a la falta de organización y de recursos económicos que permitieran su tecnificación, pero también a la ausencia de investigación y de divulgación de técnicas agrícolas acordes con las condiciones ecológicas, culturales, económicas y sociales en que se practicaba la agricultura.

En los años 50, el empleo de insumos como los fertilizantes, los herbicidas, los insecticidas y los fungicidas se expandió de manera importante. Su uso fue

incorporado por la mayoría de los campesinos en forma empírica, dependiendo de sus propios cultivos y suelos. La utilización de estos nuevos productos industriales vino a desplazar, y en algunos casos se fusionó, a las técnicas agrícolas tradicionales. Así, por ejemplo, la conservación de la fertilidad del suelo a través del suministro de materia orgánica y de rotación de cultivos ha disminuido ante el empleo de abonos químicos, que si bien incrementan la producción, repercuten en los costos y acelera el proceso erosivo del suelo, impactando en ocasiones a los cuerpos de agua cercanos o en el subsuelo por contaminación.

III.2. SISTEMAS DE CULTIVO TRADICIONALES.

Trujillo (1990) define a la agricultura tradicional como “una colección de conocimientos empíricamente generados por agricultores de muchas generaciones que se han comunicado de alguna forma, particularmente directa, entre padres e hijos”. En México existen múltiples sistemas de agricultura tradicional, y a pesar de que se presentan dificultades en la reconstrucción de las formas de cultivo indígenas por el carácter fragmentario de los documentos y a la fisonomía uniforme de sus vestigios, que hace necesaria la combinación de métodos históricos, arqueológicos y geográficos para la identificación y datado de dichos tipos de cultivos, existen trabajos que permiten generar una descripción de los mismos. (Trautmann 1991, Hernández, 1991 y Trujillo, 1990).

Trautmann (1991) elabora una descripción de los sistemas agrícolas en la Mesa Central y Tlaxcala clasificándolos en tres tipos con base en el balance hídrico de los suelos siguiendo el esquema adoptado por los agrónomos. Los tres tipos son:

1. Cultivo de temporal: en el cual el aprovechamiento de la tierra depende de la temporada de lluvias, lo que permite, en general, sólo una cosecha al año.
2. Cultivo de riego: en este tipo la falta de humedad debida a la temporada de secas se compensa por la introducción de agua a los campos a través de diversas técnicas. En este caso, se pueden obtener cuando menos dos cosechas al año.
3. Cultivo de humedad: se presenta en zonas pantanosas y la humedad de los suelos es tan abundante que se requieren métodos de drenaje permanente para poder usarlos. En este caso se pueden generar varias cosechas por año.

Cultivos de temporal.

En la sierras periféricas de la Mesa Central todavía se emplea el sistema de roza, que se caracteriza por el abandono de los campos después de un periodo de explotación de pocos años, principalmente se cultiva el maíz en el periodo de lluvias dejando los campos abandonados durante el invierno. Poco se sabe de si los indígenas conocían periodos de barbecho más largos, que consisten en la tala y quema de la vegetación existente para su posterior cultivo donde el periodo de descanso de la tierra es igual o menor al de la siembra e incluye el suministro de insumos para la conservación de la fertilidad del suelo y modificación de la fisonomía del terreno para evitar o disminuir los efectos de la erosión que permitan la regeneración del suelo.

Hay evidencias de que el cultivo de temporal se encontraba conectado a la construcción de terrazas en los cerros. Al norte de Tlaxcala, los taludes de las terrazas son frecuentemente verticales y estaban cubiertos con muros de piedras de cal y fragmentos de tepetate. En el resto del estado dominan terrazas

sin muros y con taludes de inclinación más ligera, en la mayoría de los casos, presentan un foso en el margen superior, se observan también filas de magueyes en los cerros.

Debido a la presencia de bosques sobre vestigios de terrazas es posible calcular la antigüedad de las mismas. Asimismo, el hallazgo de restos de cerámica asociadas a ellas permiten suponer a los arqueólogos que éstas fueron construidas sobre terrazas aún más antiguas. Otro rasgo que sustenta tal afirmación es la presencia de fosos sobre las terrazas más actuales, hecho que no se presenta en las más primitivas.

Según Kaerger (en Trautmann, 1991) las terrazas con fosos y magueyes son innovaciones más recientes que fueron difundidas a finales del siglo XIX y que se usaban con el objeto de impedir la erosión del suelo y para el incremento de las cosechas, pero los mapas y planos de la época colonial muestran que la técnica de plantar los bordes de las terrazas con magueyes ya era conocida.

Cultivos de riego.

Se cree que pocos lugares tenían cultivos de riego importantes que probablemente ya existían antes de la conquista como serían Temoac y Zacualpan en el suroeste del Popocatepetl en donde toda la agricultura se basaba en riego.

En la agricultura de riego se pueden encontrar tres modalidades, la más temprana incluye la construcción de canales que partían de arroyos y represas, también se perforaban jagüeyes (fosos) en las que se acumulaba el agua para el riego a mano. Otra modalidad implicaba el riego por gravedad utilizando diferentes inclinaciones en los canales y finalmente el tercer sistema de cultivos de riego implicaban la inundación de las zonas de cultivo y su posterior desagüe.

Cultivos de humedad.

En las áreas de los pueblos indígenas los cultivos de humedad están representados por las chinampas, denominación que abarca diversos tipos de cultivos que pueden distinguirse según las condiciones hidrológicas, las técnicas que se usan para ganar tierra y los métodos para explotar las parcelas.

Un primer tipo se origina en las riberas de las lagunas, dentro de un rectángulo delimitado se acumulaba tierra y lodo hasta que la superficie de la parcela surgía del agua, entonces se plantaban ahuejotes (*Salix bonplandiana* HKB) en sus márgenes para consolidar el nuevo campo de cultivo.

Un segundo tipo consiste en camellones que tienen entre 35 y 95 metros de largo por 4 metros de ancho separados de otros camellones por fosos. Como rasgo característico presentan una curvatura ligera en su superficie que rebasa en metro y medio el nivel de los fosos.

En general una unidad de chinampa de este tipo incluía entre 8 y 30 camellones, varias unidades forman a su vez complejos mayores delimitados por fosos más profundos.

En la actualidad en Tlaxcala, los principales sistemas agrícolas que se practican son: el de temporal, con tracción animal o motorizada; el de riego por gravedad, aspersión o brazo; el de terrazas; el de huertos familiares y el de humedad en barrancas. Para la producción se emplean insumos tanto modernos como de origen tradicional.

Otra característica de la agricultura tradicional es que quienes la practican tienen un íntimo conocimiento de su medio, obtenido a través de observaciones continuas de su entorno. Tal conocimiento permite que los productores intenten

pronosticar los cambios climáticos por medio del comportamiento de ciertos fenómenos u objetos como los que se muestran en la tabla 3.1. Otras observaciones que rigen las actividades agrícolas se basan en la lectura de las cabañuelas y en las diversas fases de la luna.

Tabla 3.1 Conocimiento empírico de las condiciones meteorológicas

OBSERVACIONES	FORMAS EN QUE SE MANIFIESTA	INTERPRETACIÓN
FENÓMENO		
Nubes	Oscuras esparcidas por el cielo	Lluvia
Nubes	Circulan a la Malintzi a una altura media	Lluvia
Nubes	Rojas en la tarde	Helada
Remolinos	Altos delgados en el mes de marzo	Lluvia
Nieve	En la cima de la Malitzin	Helada o Sequía
Calina	De color gris	Sequía
OTROS		
Luna	En cuarto creciente se inclina hacia el poniente y se encuentra rodeada de círculos multicolores	Lluvia
Estrellas	Titilan intensamente	Helada
Tierra	Amanece muy húmeda	Lluvia
VEGETAL		
Maguey	Segrega aguamiel más espeso y en mayor cantidad de lo normal	Lluvia
Escobilla	Arroja espuma	Helada
ANIMAL		
Gusano azotador	Busca refugio en los almiarés	Helada
Mariposa	Vuela de sur a norte	Helada
Luciérnaga	Vuela rápido en línea vertical	Sequía
Urraca	Inmigran	Lluvia
Golondrina	Vuelos en parvada a poca altura	Lluvia
Cabras, acémilas o caballos	Se alebrestan	Lluvia
Acémila o caballo	Se les eriza el pelo	Helada
Coyote	Aullido tembloroso	Viento
Coyote	Aullido firme	Lluvia
Gavilanes	Inmigran	Helada
Catarinas	Gran cantidad de ellas buscan refugio en los almiarés	Heladas
Tuza	Expulsa tierra húmeda	Lluvia
Gallo	Canta en las primeras horas de la noche	Al otro día habrá neblina

Nota: las modificaciones climáticas, según los campesinos, se realizan en un mínimo de 12 horas (Hernández-Rojas, 1991).

Los dichos populares referentes al comportamiento climático observado por los productores constituyen otra fuente de conocimiento empírico que fortalece a la cultura tradicional con respecto a los cultivos. Refranes como “lluvias de abril, granos mil” y “marzo florido, año perdido” determinan la importancia de la selección de las fechas de siembra como resultado de la modificación de los patrones de las lluvias.

Además de las prácticas anteriores en diversas comunidades campesinas de Tlaxcala se mantienen los mitos en torno a la agricultura y se realizan rituales específicos que mezclan elementos de origen prehispánico con otros provenientes del catolicismo mexicano, algunos de ellos se describen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Rituales agrícolas.

RITUAL	FECHA EN QUE SE REALIZA	FORMA EN QUE SE EFECTÚA	FINALIDAD QUE SE PERSIGUE
Bendición de semillas	2 de febrero (día de la Candelaria)	Se bendice una muestra de flores y semillas que se sembraran en el ciclo agrícola que se inicia	Una adecuada germinación y desarrollo de la planta y como consecuencia una buena cosecha
Bendición de animales	17 de enero (día dedicado a San Antonio de Padua)	Se bendice un animal de las diversas especies pecuarias que se posee	Una buena reproducción y desarrollo de los animales
Propiciamiento de lluvias	abril, mayo y junio	Se hacen procesiones portando una imagen, además se celebran misas	Que las lluvias caigan cuando es requerida por los cultivos
Control de lluvias	en temporada de lluvias	Es quemado incienso, romero y palma bendita, o con un puñal se hace un corte simbólico de las nubes	Evitar que la lluvia caiga en forma de granizo o aguacero
Cosecha	en temporada de cosecha (principalmente noviembre y diciembre)	Truenan cohetes, cantan alabanzas y queman incienso	manifestar gratitud por la cosecha obtenida

Tomado de Hernández-Rojas, 1991.

Como consideración final se debe resaltar que a pesar de la gran tradición cultural en Tlaxcala, la agricultura tradicional ha perdido competitividad ante el

avance de la agricultura de mercado y el desarrollo industrial que se ha convertido en el polo de atracción de la fuerza de trabajo rural que abandona el campo y emigra a las ciudades.

En conclusión se puede decir que:

- la agricultura en Tlaxcala es una amalgama de sistemas y técnicas modernas con sistemas y técnicas tradicionales, estas últimas son el resultado de una combinación de aspectos físicos, bióticos, culturales, económicos y sociales.
- la agricultura tradicional de las poblaciones tlaxcaltecas se caracteriza por tener un profundo conocimiento de su entorno ecológico y por el manejo integral de los recursos bióticos del microambiente en el que se desarrolla.

III.3. SITUACIÓN ACTUAL EN EL ESTADO Y EN EL SITIO DE ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ DE TEMPORAL

En el Estado de Tlaxcala, como en gran parte del territorio nacional, la producción de temporal es la predominante. De las 76,826 unidades de producción (INEGI, 1996) el 82.6% son de labor (Figura 3.1a) y 92.2% de ellas son de temporal (figura 3.2a). De manera análoga, Apizaco cuenta con 1,553 unidades de producción en el campo que representan el 2% del total del Estado de Tlaxcala. El 69% de la superficie que ocupan estas unidades son de labor, seguidas por los pastos, que ocupan el 27% (Figura 3.1b).

Estado de Tlaxcala
Superficie de Unidades de Labor

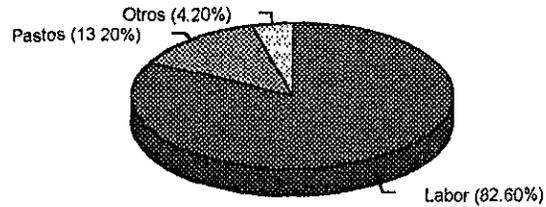


Figura 3.1a. Superficie de unidades de labor en el Estado.

Apizaco
Superficie de Unidades de Labor

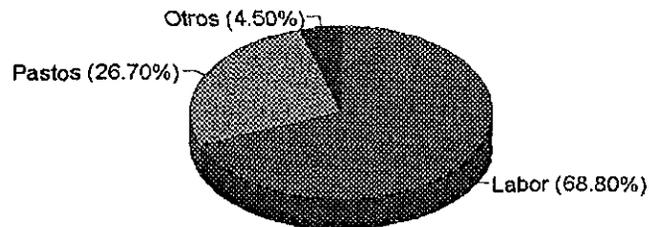


Figura 3.1b. Superficie de unidades de labor en Apizaco.

Considerando la disponibilidad de agua (Figuras 3.2), las superficies de labor son en mayor medida de temporal, ya que en el municipio, sólo el 2.3% de ellas tienen riego. Destaca también el hecho de que el 59% de la superficie dedicada a la agricultura se maneja en ejidos y comunidades agrarias y que 89% de ellas no cuentan con crédito o seguro para estas actividades.

Estado de Tlaxcala

Disponibilidad de Agua

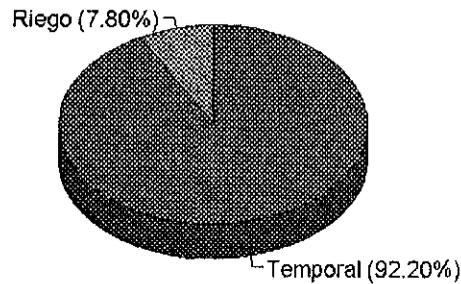


Figura 3.2a. Disponibilidad de agua en el Estado.

Apizaco

Disponibilidad de Agua

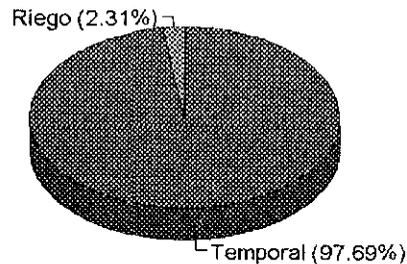


Figura 3.2b. Disponibilidad de agua en Apizaco.

Finalmente, el maíz es el cultivo predominante, tanto en el Estado como en el municipio (Figuras 3.3a y 3.3b) ya que ocupa a nivel estatal el 53% mientras que en Apizaco corresponde al 71% de la superficie dedicada a labores del campo. El trigo ocupa el 20%, la cebada el 2% y la avena forrajera el 3% de esa superficie.

Estado de Tlaxcala

Cultivos Anuales

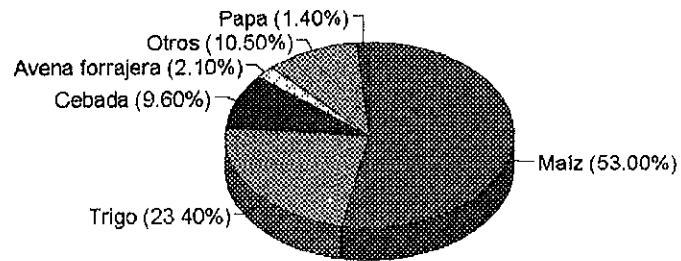


Figura 3.3a. Principales cultivos anuales en el Estado

Apizaco

Cultivos Anuales

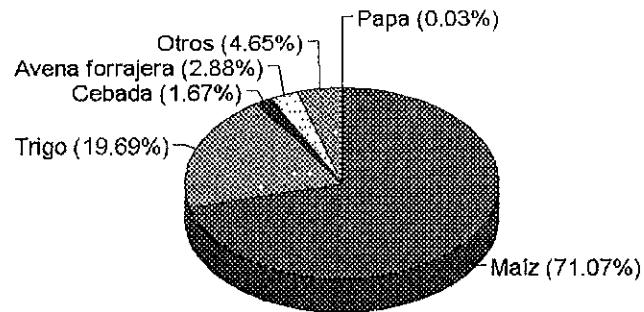


Figura 3.3b. Principales cultivos anuales en Apizaco.

CAPÍTULO IV. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTADO DE TLAXCALA Y DEL SITIO DE ESTUDIO.

IV.1. LOCALIZACIÓN.

El estado de Tlaxcala se localiza en la zona centro - oriental de la República Mexicana, entre los $97^{\circ} 37' 07''$ y los $98^{\circ} 42' 51''$ de longitud oeste, y entre los $19^{\circ} 05' 43''$ y los $19^{\circ} 44' 07''$ de latitud norte (Figura 4. 1). Está situado en las tierras altas del Eje Neovolcánico sobre la meseta de Anáhuac y todo el estado se localiza por encima de los 2000 metros de altitud. Tlaxcala es el estado más pequeño del país y cuenta con una superficie de $4\,060.923\text{ Km}^2$, sólo es mayor que el Distrito Federal.

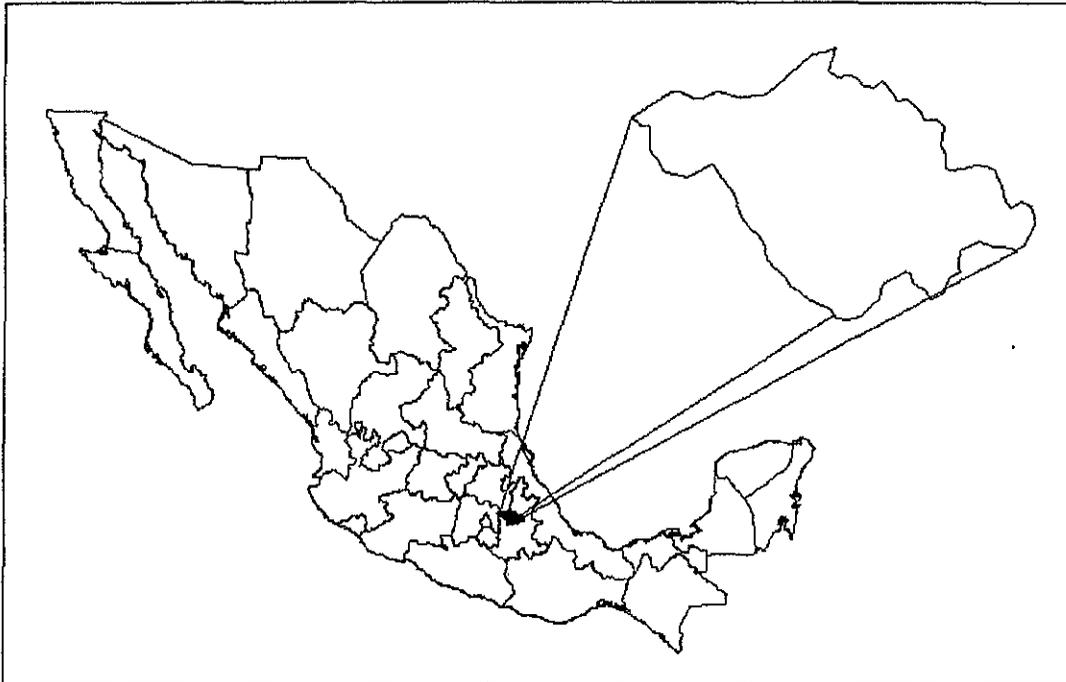


Figura 4.1. Localización del Estado de Tlaxcala en la República Mexicana.

Al poniente limita con el Estado de México y al noroeste con Hidalgo, el resto de su perímetro está rodeado por el estado de Puebla. Tlaxcala 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 Iztaccíhuatl. Sus extremos septentrional y meridional se ubican en las cumbres de dos volcanes, el Huintetépetl, al norte de Tlaxco y la Malintzin, (Malinche o Matlalcuéyetl) que domina el panorama tlaxcalteca con una altitud de 4 461 metros (INEGI, 1986)

IV.2 CLIMA.

El clima es un factor importante que influye sobre la distribución de la vegetación y sus componentes florísticos debido a que depende de una serie de elementos tales como la temperatura, la precipitación y la humedad, así como a la dirección y a la fuerza de los vientos . Otros factores a considerar, sobre todo a nivel regional serían la topografía y principalmente la altitud.

En Tlaxcala (Figura 4.2) se presentan dos tipos climáticos: el grupo de climas templados y el grupo de climas fríos (INEGI, 1986).

Se puede decir que en general, el estado posee climas templados subhúmedos con lluvias de verano. Las precipitaciones medias mensuales son más abundantes en la zona centro sur, donde oscilan entre los 600 y 1 200 mm, mientras que en las regiones noreste y oriente la cantidad de lluvia acumulada es de 500 mm anuales.

El grupo de climas templados presenta dos subgrupos: el templado (C(w)) y semifrío C(E). El primer subgrupo C(w) se presenta particularmente en los valles y llanuras, su temperatura media anual está entre 12 y 18°C, este subgrupo cubre alrededor del 84% de la superficie del estado y se presenta en tres modalidades diferentes con respecto al grado de humedad y al porcentaje de lluvia de invierno.

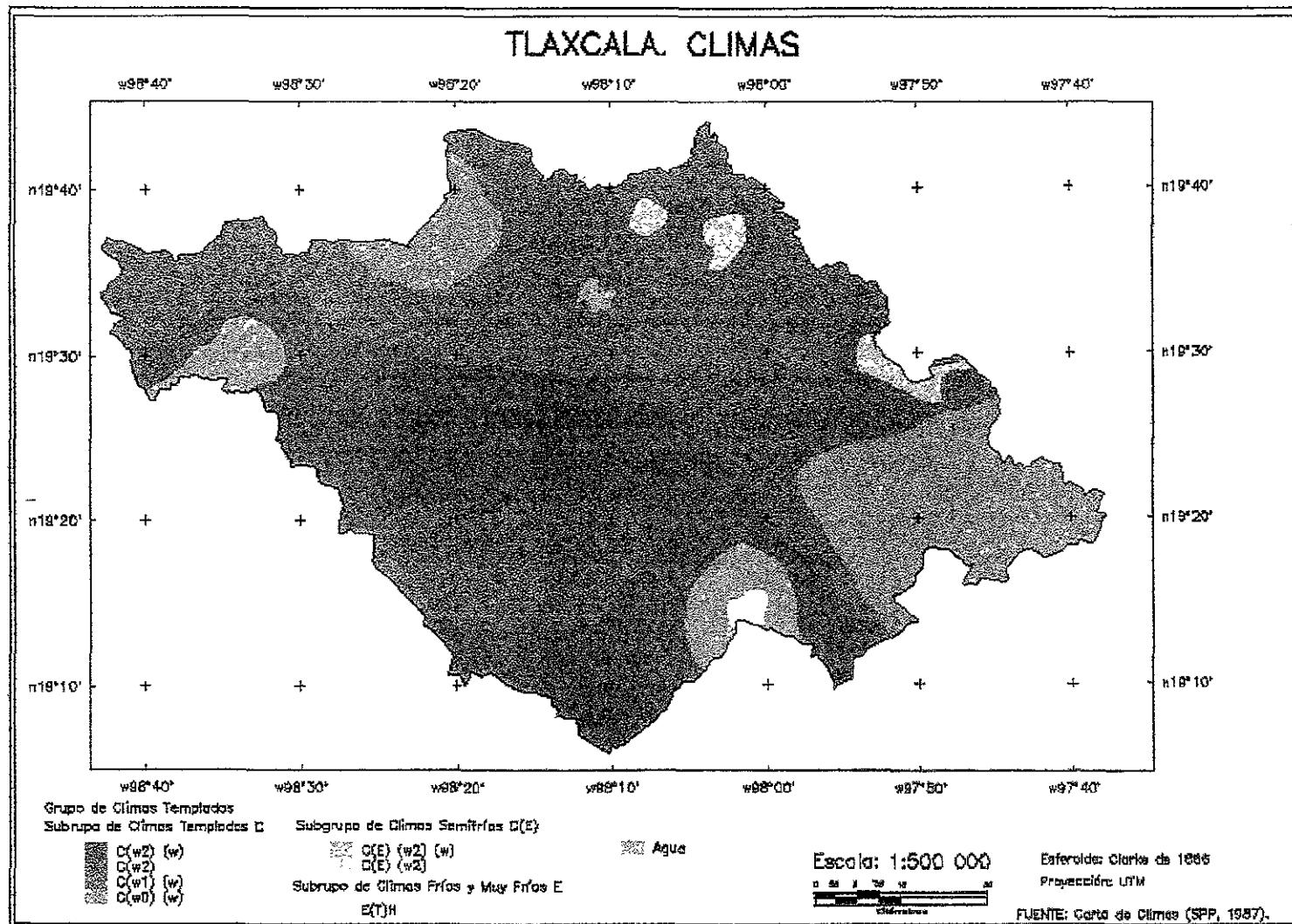


Figura 4.2. Climas de Tlaxcala, según escala y fuente que se indican. Elaborado por la Geog. Raquel Araujo.

El segundo subgrupo está caracterizado por un régimen térmico medio anual menor a 12°C, la precipitación media anual está entre 700 a 1 000 mm con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5 mm. Este subgrupo ocupa aproximadamente el 15% de la superficie estatal y se presenta en dos modalidades distintas considerando su porcentaje de lluvia invernal: climas fríos C(E) (W2) (w) y muy frío E(T)(H) el segundo tipo se caracteriza por presentar una temperatura media menor a 6.5°C y se localiza en la cumbre de la Malinche cubriendo alrededor de 1% de la superficie total del la entidad (INEGI, 1986).

IV.3 GEOLOGÍA.

En Tlaxcala predominan las rocas volcánicas como las andesitas, las riolitas, los basaltos, las tobas y las brechas volcánicas. Se encuentran además sedimentos lacustres, fluviales y fluvio-glaciares. El Estado está comprendido en su totalidad dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, por lo que su geología ha sido moldeada por la actividad volcánica la cual le ha dado al relieve un perfil característico.

Las unidades estratigráficas más antiguas del Estado son las rocas sedimentarias, en particular los depósitos clásticos formados en un ambiente continental lacustre, que de acuerdo con su litología son clasificadas como asociaciones alternantes de areniscas y limolitas y de areniscas y calizas. Es posible que estas rocas pertenezcan al Terciario Inferior ya que se encuentran cubiertas por derrames andesíticos y tobas intermedias del Terciario Superior (Mioceno).

Las riolitas y tobas ácidas, que se encuentran restringidas a unos cuantos afloramientos dentro del Estado, pertenecen al Terciario superior (Plioceno). En este mismo periodo los agentes de denudación fluviales y fluvio-glaciares

iniciaron una intensa actividad que condujo a la nivelación de un relieve activo formándose así grandes cuerpos de depósitos fluvio-glaciares (brechas sedimentarias) en las faldas de los volcanes andesíticos como la Malinche.

La actividad volcánica basáltica comenzó en el terciario Superior y alcanzó una gran intensidad en el Cuaternario (Pleistoceno) dejando distribuidas numerosas estructuras volcánicas relativamente pequeñas. Durante los últimos derrames basálticos que hubo en Tlaxcala se cerraron algunos valles y se formaron cuencas derréicas, algunas de las cuales siguen siendo rellenas por productos de denudación del relieve, esto es, por aluviones y depósitos lacustres.

Las estructuras geológicas más importantes de Tlaxcala son volcánicas, entre ellas se destaca la Malinche como uno de los seis estratos volcánicos más grandes del país. En toda la entidad se encuentran numerosas estructuras volcánicas menores de tipo basáltico. Además de los volcanes, en el Estado se presentan otras estructuras como fallas y fracturas que han contribuido a modelar el relieve del mismo (Figura 4.3) y que están íntimamente asociadas a la actividad volcánica y tectónica continental (INEGI, 1986).

IV.4. HIDROLOGÍA.

La mayor parte de Tlaxcala, 3, 051.370 Km², en sus porciones centro y sur están comprendidas dentro de la región hidrológica Río Balsas. Un área de 750.092 Km² al noroeste de la entidad es parte de la región Alto Pánuco y la región de Tuxpan - Nautla cubre 259.461 Km² del noreste del Estado.

El Río Balsas conocido también como Atoyac, Mezcala o Zacatula es uno de los más importantes del país, nace a unos 40 Km al norte de la Ciudad de Tlaxcala

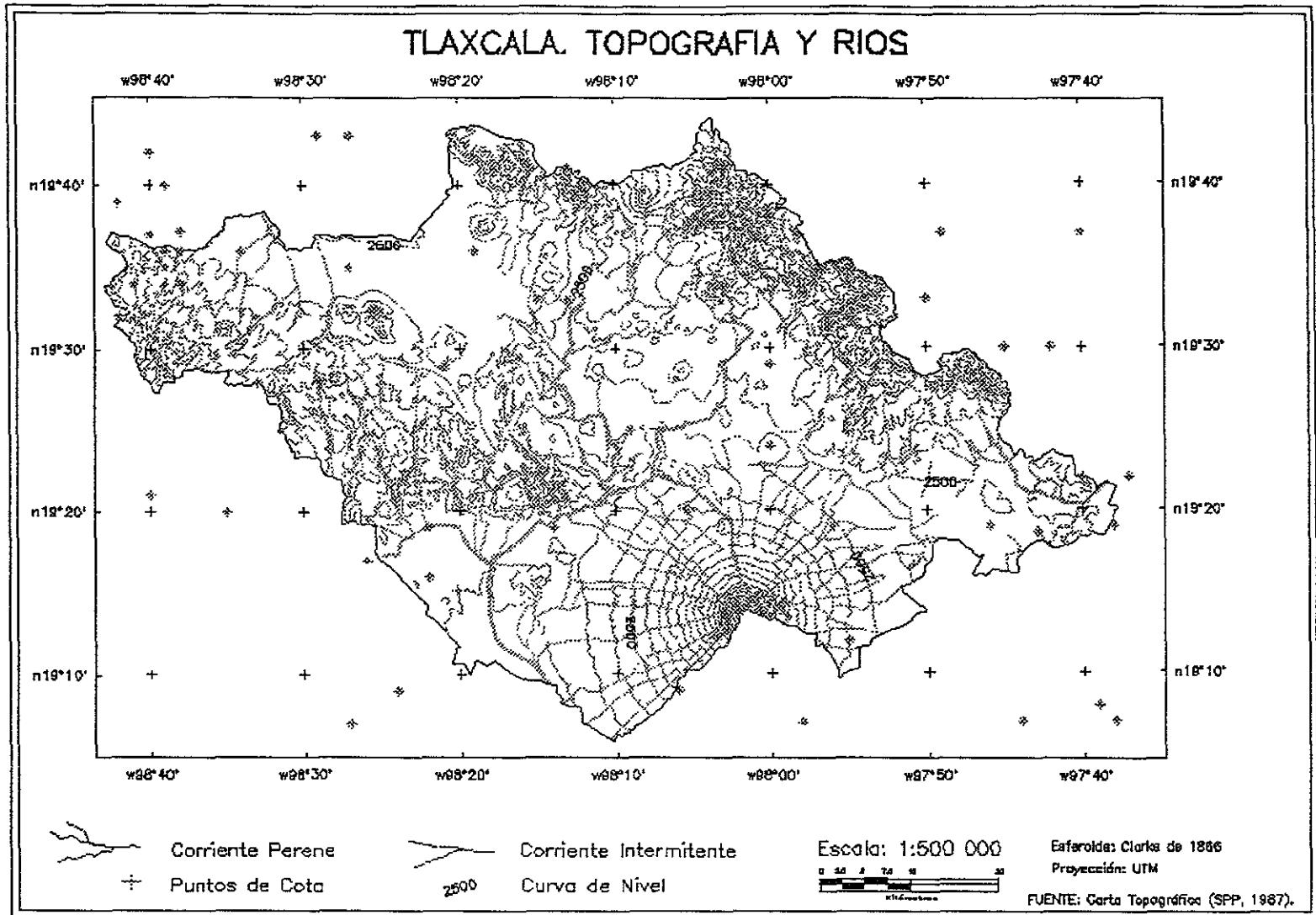


Figura 4.3. Topografía y Ríos de Tlaxcala, según escala y fuente que se indican. Elaborado por la Geog. Raquel Araujo.

en los límites del estado de Puebla. En sus orígenes se llama Río Zahuapan y al confluir con el Atoyac a 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 le llama Río Poblano, atraviesa los estados de Morelos y Guerrero recibiendo varios afluentes hasta que desemboca en el Océano Pacífico.

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 Iztaccíhuatl desde una altitud de 4 000 msnm, en los límites de los estados de México y Puebla. La corriente toma el nombre de Río Atoyac desde que se une con los Ríos Tlahuapan y Turín. En esta cuenca se localizan las ciudades de Puebla, Atlixco y Tlaxcala, ésta es la región de la cuenca más densamente poblada. Sus afluentes intermedios son el Río Atoyac-San Martín Texmelucan, el lago Totolzingo y el Río Zahuapan. Este último 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 sureste hasta la población de Atlangatepec en la que se construyó el vaso de almacenamiento de San José Atlanga. Dentro del estado de Tlaxcala, el curso del Río Zahuapan es irregular hasta que confluye con el Río Atoyac (Figura 4.3).

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. El municipio de Chiautempan contamina por sus industrias textiles, le sigue en grado de contaminación el sector de celulosa y papel ubicado en la zona de Apizaco.

Es en esta región hidrológica en la que se ubican la mayoría de los almacenamientos de Tlaxcala, destaca entre ellos 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 hectáreas, beneficia a 1 200 familias. Le siguen en importancia las presas Cárdenas y San Fernando con 3 200 000 m³ y 2 700 000 m³ de capacidad (INEGI, 1986).

IV.5. SUELOS.

El paisaje de Tlaxcala se compone de extensos llanos que se alternan con sierras y edificios volcánicos y con lomeríos formados también por rocas ígneas extrusivas. Los suelos tlaxcaltecas muestran una gran influencia del vulcanismo, muchos de ellos están constituidos en su totalidad por vidrio y arena volcánica. Los tepetates son abundantes, afloran y subyacen a los suelos someros tienen también un origen volcánico.

La variedad de tipos de suelo (Figura 4.4) se debe fundamentalmente a la constitución litológica y al clima de la zona. En la provincia predominan las rocas ígneas extrusivas básicas, aunque hay zonas con rocas ígneas extrusivas intermedias y ácidas, el clima imperante es el templado subhúmedo por lo que no existe una gran diversidad edáfica.

En las sierras del norte del Estado los suelos son de origen residual, con un desarrollo incipiente o moderado, con textura media o arenosa. En la sierra de Tlaxco dominan suelos con una profundidad menor a 10 cm (Litosoles) asociados a una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes (Feozems).

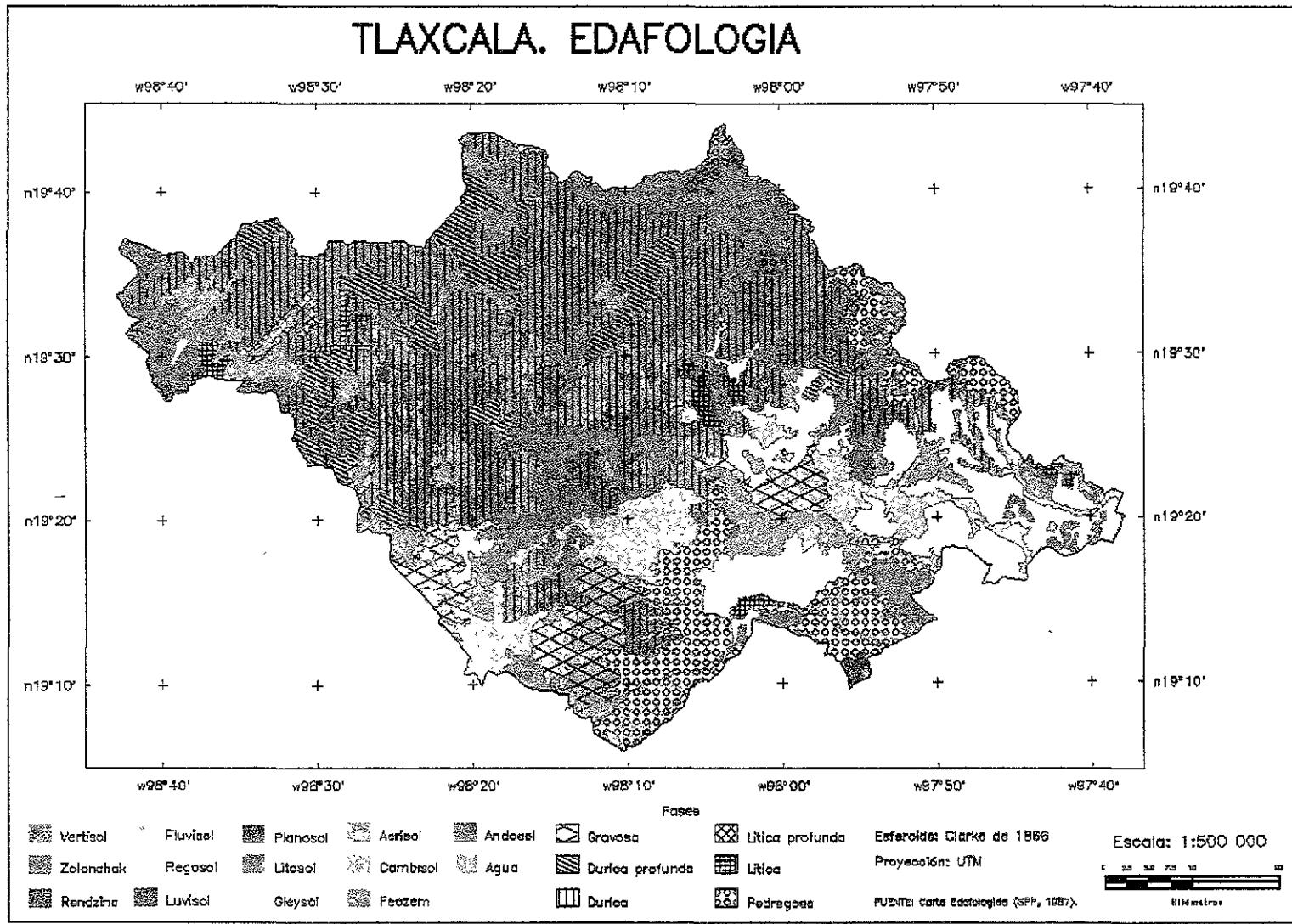


Figura 4.4. Edafología de Tlaxcala, según escala y fuente que se indican. Elaborado por la Geog. Raquel Araujo.

En el cerro Huintetépetl y en la parte norte de la sierra de Huamantla los suelos son derivados de cenizas volcánicas (Andosoles húmicos) y presentan en su superficie una capa de color oscuro o negro rica en materia orgánica, pero, ácida y pobre en nutrientes. Este tipo de suelos se presenta asociado con el Litosol y con el Regosol dístico que es un suelo infértil y ácido. En la parte central de la sierra domina el Feozem háplico, suelo moderadamente fértil y limitado por una fase dura o lítica profunda que se encuentra sólo o asociado con suelos someros como el Litosol y con suelos de textura arenosa del tipo Regosol eutríco.

Los suelos de la meseta escalonada con lomeríos , que se ubican al sur de Huamantla, son de origen residual y coluvial, entre ellos se encuentran los Cambisoles eutrícos y los Regosoles. En los lomeríos predominan los Regosoles eutrícos asociados a Litosoles o suelos oscuros como el Feozem háplico.

En las lomas y llanos de la zona centro del Estado, los suelos son de origen residual y abundan los suelos del tipo Feozem háplico asociado a Litosol, en los llanos dominan el Feozem y el Cambisol y en algunas zonas se presentan asociados a Vertisol pélico que son suelos de color gris oscuro o negro, muy arcilloso y que en épocas de sequía forman grietas anchas y profundas y cuando hay humedad son suelos pegajosos.

En la región conocida como llanos de Apan y Pie Grande prevalece la fase dúrica conocida como tepetate sobre la cual se desarrollan suelos oscuros bien desarrollados, Feozems háplicos solos o asociados a Cambisol, Litosol y Vertisol pélico.

En la Sierra de la Malinche se presentan suelos de origen residual y volcánicos, abundan los Regosoles eutrícos, calcáricos y dísticos de textura arenosa, se

encuentran con menor frecuencia Fluvisoles eutrícos asociados a Cambisoles y Litosoles. En las cercanías del volcán se presentan Andosoles mólicos aunque muy reducidos, son suelos de desarrollo moderado, derivados de cenizas volcánicas con una capa superficial oscura o negra rica en materia orgánica y nutrientes . A diferencia de esta unidad, en la Sierra Nevada dominan suelos con una capa superficial de color oscura o negra, rica en materia orgánica pero ácida y pobre en nutrientes del tipo de Andosoles y Cambisoles húmicos.

En los lomeríos ubicados en el llano de Apan y el bloque de Tlaxcala destacan los suelos de desarrollo moderado del tipo Feozem háplico solos o con asociación con Cambisoles eutrícos, Regosoles, Litosoles y Vertisoles pélicos. La meseta o bloque de Tlaxcala está constituida básicamente por suelos de textura media en los que predomina el Cambisol eutríco asociado con Regosol y Litosol, limitados por una fase dúrica, dúrica profunda o pedregosa.

En el valle de Tlaxcala-Puebla los suelos dominantes son Fluvisoles eutrícos de origen aluvial asociados con Feozems, Regosoles y Cambisoles, al sur y suroeste de esta zona se presentan suelos hidromórficos de origen lacustre denominados Gleysoles calcáridos, mólicos y vérticos que limitan el desarrollo de los cultivos de esa zona. Estos suelos se encuentran asociados con Fluvisoles eutrícos y Feozems gléyicos (INEGI, 1986).

IV.6. VEGETACIÓN.

Rzedowski (1978) define a la vegetación como “un conjunto de plantas que habitan en una región, analizado desde el punto de vista de las comunidades bióticas que forman”. El Estado de Tlaxcala queda inscrito dentro de la provincia florística denominada Provincia de la Altiplanicie que se extiende desde

Chihuahua y Coahuila hasta Jalisco, Michoacán, Estado de México, Tlaxcala y Puebla.

En el estado se han reconocido 9 tipos de vegetación definiendo como tipo de vegetación a un grupo de plantas que pueden ser reconocidas fisonómicamente como unidad y que es mas o menos estable, Con base en La Vegetación de Tlaxcala (Acosta, P, *et al.* 1991) se describen de manera sinóptica los tipos de vegetación presentes en el estado.

Bosque. Incluye tipos de vegetación arbórea con pocas especies dominantes, frecuentemente una o dos. Se localizan principalmente en zonas montañosas, templadas y frías en donde hay humedad suficiente para mantener a una comunidad arbórea.

Bosque de pino.

Se caracteriza por la dominancia de especies arbóreas pertenecientes al género *Pinus*. En Tlaxcala los bosques de pino son relativamente pobres en especies y en extensión. En la actualidad los pinares sólo se encuentran en las zonas del volcán de la Malinche, en el cerro de las Mesas, en el cerro del Peñón y en elevaciones localizadas en los municipios de Calpulalpan y Mariano Arista que limitan con Puebla y el Estado de México así como en Terrenate. El pino (*Pinus hartwegii* Lindl.) se encuentra en los bosques que forman el último nivel arbóreo de la cima de la Malinche.

Entre los 2 300 y 2 700 m de altitud los pinares se encuentran constituidos por el ocote chino (*P. leiophylla* Schl. & Cham.). Aunque en la mayoría de los casos se trata de un bosque mixto donde se encuentran el encino de hoja ancha (*Quercus rugosa* Neé), el tesmolillo (*Q. crassipes* H.& B.) y el laurelillo (*Q. laurina* H. & B.) así como algunos ejemplares de madroño (*Arbutus xalapensis* HBK.).

Otros pinares de distribución más restringida incluyen a los ocotes (*P. teocote* Schl. & Cham.) al ocote *colorado* (*P. patula* Schl. & Cham), al pino blanco (*P. pseudostrobus* Lindl.) y al pino ayacahuite (*P. ayacahuite* Ehr) se localizan en la porción norte de Tlaxco.

En el estrato arbóreo de los pinares la especie mejor representada es la amaxihuitl (*Lupinus montanus* HBK), los jarritos (*Penstemon gentianoides* HBK), la escoba de hoja ancha (*Baccharis conferta* HBK), la hediondilla (*Senecio sinuatos* HBK), la jarilla blanca (*S. cinerarioides* HBK), el cardo santo (*Cirsium ehrenbergii* Sch. Bip.), la pegarropa (*Acaena elongata* L.), en las especies de pastos amacollados se encuentra el zacatón (*Muhlenbergia macroura* (HBK) Hitch.) y el flechilla (*Stipa ichu* (Ruíz & Pavón) Kunth).

En una porción de cerros calizos situado entre Altzayanca, Santa María de las Cuevas y el Carmen se localiza el bosque de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) que se encuentra asociado a palmas de izote (*Yucca filifera* Chabaud.), sotol (*Nolina longifolia* (Schult.) Hemsl.) y nopales (*Opuntia spp*).

Bosques de Abetos u Oyameles.

Comunidad bien definida, se presenta generalmente entre los 2 800 y 3 500 msnm, sobrepasando en ocasiones estos límites, casi siempre se encuentra en suelos profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y húmedos durante casi todo el año. Su distribución se encuentra limitada a pequeñas porciones sobre las laderas de los cerros El Rey, El Peñón, Huitlapitzio y cerros aledaños a Villarreal y Emiliano Zapata así como a las Barrancas de la Malinche.

Es un bosque siembre verde, denso y alto, con dosel superior de 20 a 35 m. Es un bosque monoespecífico en su estrato arbóreo y su único componente es el oyamel o abeto (*Abies religiosa* (HBK) Cham & Schl.), a menudo se observa

sobre sus ramas a una planta parásita de tallos verdosos o amarillentos (*Arceuthobium abietis-religiosae* Heil).

El estrato arbustivo arbóreo inferior no está bien definido, se pueden encontrar individuos inmaduros de abetos así como especies que no rebasan los 5 m de altura como son el gusanillo (*Salix paradoxa* HBK.), el capulín (*Prunus serotina* Presl.). El estrato herbáceo puede estar dominado por gran cantidad de plántulas de oyamel pero se han encontrado, otras especies como son la pipa de indio (*Monotropa hypopithys* L. (Bar.)), el chicomecate o cuijалан (*Symphoricarpus microphyllus* HBK.), el gordolobo (*Senecio platanifolius* Benth.), el mirto rojo (*Salvia elegans* Vahl.), la perilla (*Pernettya ciliata* (Schlecht & Cham.) Small.) y la violeta (*Viola painteri* Rose & House).

Bosque de encino

Son comunidades características de las zonas montañosas de México, en el Estado de Tlaxcala prosperan desde los 2 200 a los 3 000 msnm sobre suelos profundos de origen volcánico o someros como los suelos de tepetate y calizos que se encuentran en la región central del Estado. Existen varios tipos de encinares que sólo difieren en la especie dominante. Fisonómicamente se caracterizan por ser de tallas intermedias, en su mayoría alcanzan alturas de 8 a 15 m.

Entre los 2 200 y 2 500 m los árboles dominantes son con frecuencia encinos (*Quercus laeta* Liebm.) y (*Q. obtusata* HBK.) y el tesmolillo (*Q. crassipes* H. & B.) que puede convivir con el pino chino (*Pinus leiophylla* Schl. & Cham.).

En algunos lugares se establecen plantas epífitas como el heno (*Tillandsia usneoides* L.), el magueicillo chico (*T. recurvata* L.) y el magueicillo grande (*Tillandsia sp.*).

A los 2 500 y 2 800 m se localizan el llamado encino de hoja grande (*Q. rugosa* Neé), el tesmolillo (*Q. crassipes* H. & B.), el madroño (*Arbutus xalapensis* HBK.), el cedro blanco (*Cupressus benthamii* Endl.) y la cucharilla (*Garrya laurifolia* Hartw.).

A altitudes entre 2 800 y 3 100 m la especie más extendida es el encino laurelillo (*Q. laurina* H. & K.) se puede encontrar asociado al encino prieto (*Q. crassifolia* H. & B.) al encino de hoja ancha (*Q. crassipes* H. & B.), al encino enano (*Q. microphylla* Neé), al madroño (*Arbutus xalapensis* HBK.), al oyamel (*Abies religiosa* (HBK.) Cham. & Schl.), así como a algunas especies de pinos. En el estrato herbáceo y arbustivo se encuentra el bacín de perro (*Happlopappus venetus* (HBK.) Blake), el chicomecate (*Symphoricarpus microphyllus* HBK.), la dalia (*Dahlia coccinea* Cav.), el zacatón (*Muhlenbergia* sp.) y el tesguate (*Ceanothus coeruleus* Lag.).

Bosque de Junípero.

Se trata de una comunidad abierta y baja que en algunas ocasiones apenas y amerita el término de bosque. Ocupa extensiones relativamente grandes sobre la llanura central de Tlaxcala, los lomeríos bajos situados entre Apizaco - Tlaxco - El Rosario, y en general sobre lugares más o menos planos localizados entre los 2 200 y 2 700 m. La especie dominante es el cedro (*Juniperus deppeana* Steud.), árboles bajos de 3 a 6 m de alto siempre verdes, los árboles tienen mucho espacio libre entre sí lo que favorece la presencia de arbustos y hierbas como el pirúl (*Schinus molle* L.), el tepozán (*Buddleia cordata* HBK.), la uña de gato (*Mimosa biuncifera* Benth.), el chicalote blanco (*Argemone platyceras* Link & Otto.), la lengua de vaca (*Reseda luteola* L.), el maguey pulquero (*Agave salmiana* (Trel.) Gentry), varias especies de nopales (*Opuntia* spp.) la gobernadora (*Brickellia veronicifolia* (HBK.) Gray), el abrojo (*Adolphia infesta* (HBK.) Meisn.), el capulín (*Prunus serotina* Cav.), el zacate lobo (*Lycurus*

pleoides HBK.) y (*Aegopogon cenchroides* Humbl. & Bonpl.), es muy común encontrar este bosque asociado a elementos propios del matorral xerófito y bosque de encino. Existe un tipo de muérdago (*Phoradendron minutifolium* Urban) que ha parasitado exclusivamente al cedro.

Matorral xerófito.

Agrupación a una comunidad que se caracteriza por poseer un gran número de formas biológicas preparadas para afrontar la aridez. Son notables los diferentes tipos de plantas suculentas, los de hoja arrosetada, plantas sin hojas, los tipos gregarios o coloniales, etc.

Esta comunidad se desarrolla entre los 2 300 y 2 700 m y se localiza en las zonas más secas del Estado en una franja de lomeríos bajos con suelo de tepetate en los municipios de El Carmen, Alzayanca, Huamantla, Terrenate, Calpulalpan y porciones del centro de Tlaxcala.

Las especies características son el maguey del cerro (*Agave horrida* Jacobi), el agave pulquero (*A. salmiana* (Tel.) Gentry), el sotol (*Nolina longifolia* (Schult.) Hemsl.), la palma de izote (*Yucca filifera* Chabaud.) la palma (*Dasyllirion acrotriche* (Schiede) Zucc.) el tapón (*Opuntia spinulifera* SD.), la pata de tlacuache (*Senecio praecox* (Cav.) DC.), el nopal de alto (*O. hyptiacantha* Web.), el nopal ardilla (*O. robusta* Wendl.), la biznaga o pitahaya (*Mammillaria magnimamma* Haw.), la salvia de bolita (*Buddleia perfoliata* HBK.), la trompetilla (*Bouvardia ternifolia* (Cav.) Schl.).

En el sector central de Tlaxcala se ubica un matorral denso y menos espinoso que el anterior, la especie dominante es el palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg.), y otros arbustos más o menos comunes son la tronadora (*Tecoma stans* (L.) HBK.) el xoxoco (*Rhus standleyi* Barkley), la pingüica (*Arctostaphylos*

discolor (Hook) DC.), la mala mujer o tabaquillo (*Wigandia urens* (Ruíz & Pavón) HBK.), la uña de gato (*Mimosa biuncifera* Benth.) el tlaxistle (*Amelanchier denticulata* (HBK.) Koch.), los globitos (*Dodonaea viscosa* L.) y en menor grado se localizan especies de las familias de los magueyes (Agavaceae) y los nopales (Cactaceae).

Pastizales.

Son comunidades secundarias que se localizan siempre sobre áreas boscosas sometidas a intensos disturbios o sobre claros originados por la tala. En el estado se distinguen dos tipos de pastizales que se localizan desde los 2 200 hasta los 4 200 msnm. El pastizal más abundante está constituido por la cañuelilla (*Buchloe dactyloides* (Nuh) Engelm.) que es una gramínea baja que tiende a formar manchones de tamaño considerable. Se encuentran asociado a este tipo de pastizal algunos pastos fasciculares (amacollados) de hasta 1 m de altura siendo las especies más importantes el zacatón de zorra (*Stipa ichu* (Ruíz & Pav.) Kunth), el zacate flechilla (*S. emines* Cav.) y el zacatón (*Muhlenbergia macroura* (HBK.) Hitch.). Es frecuente encontrar conviviendo con esta comunidad algunos árboles espaciados como sería el pirúl (*Schinus molle* L.) o cedro (*Juniperus deppeana* Steud.).

Los pastizales más grandes se encuentran entre la región de la Laguna de Atlangatepec, en la Ciudad Industrial Xicohtécatl y en Apizaco donde generalmente son utilizados como potreros para el pastoreo de toros de lidia. Ocupando claros en el medio del bosque de oyamel y pino se localiza la pradera del pasto festuca (*Festuca tolucensis* HBK.) y el zacatón (*Muhlenbergia macroura* (HBK.) Hitch.). Se extienden desde los 2 800 a 4 200 msnm.

Todos los pastizales, durante la época de secas, están sometidos a incendios inducidos por los ganaderos con el objeto de estimular y acelerar el desarrollo de nuevo follaje que es más aprovechado por el ganado.

Páramo de altura

Este tipo de vegetación ocupa un área arriba de los 4 300 msnm y representa la comunidad vegetal de la cima de la Malinche donde la insolación y los vientos son intensos.

El páramo es una comunidad exclusivamente herbácea donde se desarrollan plantas de talla baja, con porte amacollado, crespitoso o arrosetado. No hay ningún elemento arbóreo con excepción del cedrillo enano (*Juniperus monticola* Mart.) que presenta hábito rastroso.

Las gramíneas son las especies más abundantes siendo las más representativas el plantago (*Plantago tolucensis* Pilger), la grama (*Hilaria cenchroides* HBK.), la jarilla (*Senecio mairetianus* DC.), (*Draba navicola* Rose) (*Arenaria repens* Helmsl) y el cardo santo (*Cirsium nivale* (HBK.) Sch. Bip). Los musgos y los líquenes constituyen otro elemento importante.

Vegetación halófila

El pastizal salino alcanza su mayor desarrollo sobre dos valles cerrados, uno cercano a El Carmen Tequesquitla y el otro a orilla de la Laguna de Atlangatepec.

Las formas biológicas que caracterizan esta comunidad son predominantemente pastos rizomatosos y plantas herbáceas suculentas. Como especie dominante se encuentra el pasto salado (*Distichylis spicata* (L.) Greene) que cubre grandes

superficies, como especies acompañantes se presentan el quelite de puerco (*Sesuvium portulacastrum* L.), el chicle (*Asclepias ovata* Cav.) y al ojo de gallo (*Sanvitalia procumbens* Lam.).

Vegetación acuática y subacuática.

En el estado de Tlaxcala existen seis cuerpos de agua importantes: Lago de Acuitlapico, laguna de Atlangatepec, laguna de Apizaquito. Cuenca inundable de la región de Tequesquitla y las Presas de la Luna y El Sol en los que se han encontrado numerosas plantas, algunas de ellas se localizan en los seis sitios mientras que otras se restringen sólo a algunos de ellos.

Los tipos más conspicuos son los tulares (*Typha latifolia* L.) y de tule bofo (*Scirpus californicus*) que alcanzan alturas hasta de 3 m. Especies más pequeñas que se encuentran asociadas al tular son el moco de totol (*Polygonum cocineum* Muhl), zacates de mula (*Juncus effesus* L.), los berros (*Hydrocotyle ranunculoides* L.) y (*Berula erecta* (Huds.) Coville), la verdolaga de agua (*Ludwigia peploides* (HBK.) Raven) el girasol de agua (*Bidens laevis* (L.) B.J.P.), el toloache acuático (*Datura cerotocaula* Ort.) y el lirio (*Nymphoides fallax* Ornduff.).

La vegetación flotante más común es la lentejilla (*Lemna gibba* L.) que forma capas delgadas y espesas, otras especies que cubren parte de estas áreas son el lirio acuático (*Eichornea crassipes* Kunth.) y el papalacate (*Limnobium stoloniferum* Gris).

Las plantas sumergidas con flores son en general escasas pero se pueden encontrar a las colas de zorra (*Ceratophyllum dumersum* y *C. echinatum* Gray) y el alpatle (*Potamogetum pectinatus* L.).

La vegetación leñosa que bordea las corrientes de agua temporales o perennes presentan ejemplares de las siguientes especies, el sauce (*Salix bonplandiana* HBK.), el sauce llorón (*S. babilonica* L. & Ling.) también son frecuentes el fresno (*Fraxinus uhdei* (Wenz.) Ling.), el álamo (*Populus alba* L.), el tepozán (*Buddleia cordata* HBK.) y la jarilla (*Baccharis salicifolia* (Ruíz & Pavón) Pers.).

Otros tipos de vegetación.

En el estado de Tlaxcala se ha clasificado la vegetación secundaria en arvenses (vegetación o plantas que invaden los cultivos agrícolas) y ruderales (plantas o comunidades vegetales silvestres características de los alrededores de los poblados, orillas de camino, basureros, etc.). las plantas típicamente arvenses a la vez pueden comportarse como ruderales. Las especies más representativas son el bacín de perro (*Happlopapus venetus* (HBK.) Blake), el acahual (*Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.), la lengua de vaca o lengua de pájaro (*Reseda luteola* L.), el girasol (*Cosmos bipinnatus* Cav.), la hierba de San Nicolás (*Piqueria trinervia* Cav.), el gigante (*Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass.), el tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham), el quelite (*Amaranthus hybridus* L.), la rosida (*Bidens adorata* Cav.), el duraznillo (*Solanum rostratum* Dunal.), el algodoncillo (*Asclepias linaria* Cav.) y las jarillas (*Senecio salignus* DC.) y (*Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pavón) Pers.), el nabo (*Eruca sativa* Mill.), el alfilerillo (*Lopezia racemosa* Cav.), la chía (*Salvia polystachya* Ort.) y el estafiate (*Artemisa mexicana* Willd.) entre otras.

En las áreas llanas del estado que se dedican principalmente a la agricultura tanto de riego como de temporal se encuentran árboles esparcidos como el pirúl (*Schinus molle* L.), el tepozán (*Buddleia cordata* HBK.) el fresno (*Fraxinus uhdei* (Wenz.) Ling.), el aile (*Alnus acuminata* HBK.), el tejocote (*Crataegus pubescens* (HBK.) Steud.), el capulín (*Prunus serotina* Ehrh.), el zapote blanco

(*Casimiroa edulis* Llave & Lex.) y la casuarina o pinabete (*Casuarina cunninghamiana* Miq.).

IV.7. Fauna

A diferencia de la descripción de la vegetación en el estado, para la fauna no se han localizado estudios específicos de la misma. Cabe señalar que a pesar de que el Instituto Nacional de Educación para Adultos, en el libro Geografía de Tlaxcala (INEA, 1995), hace referencia a un estudio de la Fauna Silvestre del Estado de Tlaxcala elaborado por la SEDUE, no proporciona fechas de elaboración e indica que aun se encuentra sin editar. Las instituciones estatales de SEMARNAP y de Ecología del Estado no tienen información sobre este estudio.

Por tanto, para proporcionar una visión general de algunas de las especies animales localizadas en el estado se recurrió a autores como Leopold (1982), a las publicaciones del INEA (1994 y 1995) sobre la Ecología y la Geografía de Tlaxcala, así como a información relacionada a la fauna referida en otros artículos relacionados como serían los de Altieri y Trujillo (1987), Rodríguez y Bárcenas (1988) y Rodríguez y Vázquez (1987).

Se hará una descripción breve de las aves y mamíferos de caza reportados para el estado a partir de los mapas de distribución elaborados por Leopold y finalmente se establecerá una relación de otros organismos animales presentes en Tlaxcala.

Aves.

Los criterios que utiliza Leopold para la agrupación de las aves en México son:

- Condiciones de las aves residentes dando preferencia a las que anidan o viven durante todo el año en México.
- Coloca en primer término a las que se cazan con mayor proporción ya sea como deporte o como alimento.
- Omite a las especies muy pequeñas.

Las características que utiliza en la identificación de los organismos son:

- Apariencia general
- Color del plumaje
- Tamaño
- Proporción de algunas de sus partes como alas, cola, pico, tarso y patas.

Orden Anseriformes.

Familia Anatidae

Anas diazi, pato triguero. Es una ave de las mesetas templadas, no es una especie migratoria, sus hábitos alimentarios incluyen la ingesta de pequeños brotes verdes de alfalfa y tule, maíz, trigo y conchas de agua dulce junto con grandes semillas de hierbas y zacates.

Orden Galliformes

Familia Cracidae

Ortalis vetula y especies afines. Chachalaca. Prosperan mejor en matorrales y enredaderas que siguen a los desmontes del bosque tropical. Están muy bien adaptadas a existir en comunidades pobladas. En México es común incubar huevos de chachalacas con gallinas y criar a los polluelos como si fueran

domésticos. Se alimentan principalmente de frutos y se le considera una ave de caza importante.

Familia Phasianidae

Dendrortyx macroura, perdiz de cola larga y *D. barbatulus*, perdiz barbona. Son las codornices mexicanas de mayor distribución. Se les considera las más escurridizas y esquivas de las aves de caza mexicanas. Estas aves duermen en los árboles y se alimentan y pasan el día en el suelo. Se tiene poca información sobre sus hábitos alimentarios.

Colinus virginianus, codorniz común. Es probablemente la especie de caza más variable de México con respecto a su tamaño y apariencia. También es una ave de granjas agrícolas, se les localiza preferentemente a la orilla de los matorrales de hierbas alrededor de las milpas. Se le ha observado en potreros y aún en praderas arboladas pero alcanza su densidad máxima en los campos cultivados ya que es donde es más abundante su alimento.

Cyrtonyx montezumae, codorniz pinta. Vive en zonas altas templadas de pino-encino. Su hábitat óptimo lo constituyen las praderas de pino-encino con subpiso de zacatón y grupos aislados de árboles pero la especie puede tolerar una gran variedad de condiciones de cubierta vegetal desde la zona más alta donde llega la vegetación arbórea hasta la orilla de los desiertos. En las zonas centrales de México la codorniz pinta puede persistir en las zonas agrícolas cercadas con cultivos de maíz o maguey.

Orden Columbiformes

Familia Columbidae

Columba fasciata, paloma de collar. Se le considera tanto independiente como indicadora de los bosques de pino-encino junto con la codorniz pinta. Se

alimentan principalmente de frutas en verano y de bellotas en invierno. No se cazan intensivamente en México y en su mayoría se emplean como alimento.

Zenaidura macroura, huilota. También se le conoce como tórtola, es considerada como una de las especies de caza más importante. Se alimenta casi exclusivamente de semillas de plantas que levantan de la superficie del suelo. Aunque muestran preferencia por semillas pequeñas también se alimentan de granos de maíz y rara vez de bellotas. Es un ave del interior templado de México.

Zenaida asiatica, paloma de alas blancas. Junto con la huilota son las dos aves de caza más importantes. Principalmente es tropical y costera pero su distribución incluye la totalidad del país. Muchas clases de semillas y gran variedad de frutos frescos que no comen las huilotas están incluidas en su dieta, se alimentan también de la mayoría de las especies cultivadas como maíz, trigo, frijol, mijo y ajonjolí.

Mamíferos.

Las características usadas por Leopold para la identificación de los mamíferos son:

- Apariencia externa de la piel
- Caracteres del cráneo
- Cifras promedio de longitud, cabeza, cuerpo y largo de la cola que sumadas proporcionan la longitud total.
- Número y forma individual de los dientes.

Orden Marsupialia

Familia Didelphidae

Didelphis marsupialis, tlacuache. El tlacuache mexicano es un animal lento, ingenioso, perezoso y de hábitos raros. Es principalmente nocturno. Los tlacuaches ocupan madrigueras en árboles huecos, montones de piedras, rocas, debajo de los tocones o construcciones y aún pueden utilizar hoyos en el suelo que hayan sido cavados por otros animales con tal de que estén secos. Son animales omnívoros y probablemente la mayor parte de su dieta esté constituida por insectos y otros invertebrados. Diversos frutos y bayas componen parte de su dieta. Los nativos de diversas partes de México le confieren propiedades medicinales al tlacuache, particularmente a la grasa de su cola.

Orden Edentata

Familia Dasypodidae

Dasypus novemcinctus, armadillo. Son animales que comen insectos que habitan el suelo, sus principales atributos son su coraza y su habilidad para cazar. Son abundantes en regiones algo secas y de climas tibios con suelos suaves. Viven en madrigueras subterráneas. Debido al buen sabor de la carne el animal es cazado en toda su área de distribución.

Orden Lagomorpha

Familia Leporidae

Lepus callotis, liebre torda. Habita en su mayor parte en zonas semiáridas con vegetación superficial medianamente densas. Se localiza también en bosques de pino-encino pero habita entre el pasto y la maleza de los valles abiertos no en el bosque propiamente dicho. Sus enemigos naturales son los coyotes, zorras y el gato montés. En México se cazan las liebres principalmente como fuente de alimento. Su alimentación preferida son los retoños de las plantas y las yemas de diversos arbustos y árboles.

Sylvilagus floridanus, conejo. También llamado conejo del este. Predomina en la zona de pino-encino pero dependen de una determinada cantidad de cubierta constituida por zacate o malezas. Debido a que un intenso sobrepastoreo deja generalmente el terreno desnudo se dice que la población de conejos está en relación casi inversa con la población de ganado.

Orden Rodentia

Familia Sciuridae

Sciurus aureogaster y especies afines como *S. nelsoni*, ardillas grises. Se encuentran principalmente en bosques tropicales que abarcan desde el bosque espinoso semiárido hasta el bosque húmedo lluvioso, pueden invadir las mesetas templadas *S. aureogaster* es una especie tropical que generalmente vive por debajo de los 1300 metros de altura pero se le ha identificado en bosques de pino-encino con altitud superior a 2600 metros sobre el nivel del mar. A las ardillas grises se les han atribuido perjuicios económicos ya que eventualmente roban elotes de las milpas así como nueces y frutos de los árboles frutales cultivados.

Sciurus oculatus, ardilla rojiza. La mayoría viven en los bosques de las montañas templadas principalmente en bosques de pino-encino, en general son más calmadas que las ardillas grises. Viven en árboles huecos o construyen nidos en las puntas de los árboles, Sus hábitos alimentarios incluyen las bellotas y otras nueces a falta de estas viven a expensas de frutos y semillas de diversas clases de plantas, de algunos insectos y otros alimentos animales.

Orden Carnívora

Familia Canidae.

Canis latrans, coyote. De los carnívoros mexicanos es el que se observa con mayor frecuencia. Es una especie que ha resultado beneficiada con la expansión de la población humana. Originalmente los coyotes eran escasos en las planicies, desiertos y zonas arbustivas áridas en donde ha aumentado su frecuencia. La tala y el desmonte de los bosques mexicanos han ampliado su área de distribución original.

Urocyon cinereoargenteus, zorra gris. Es el carnívoro más numerosos y ampliamente distribuido en México. Es el único miembro de los cánidos que es realmente afecto a trepar en los árboles. Comen principalmente de noche, la parte principal de su dieta la constituyen pequeños mamíferos desde un ratón hasta liebres, pero se pueden considerar omnívoros ya que su alimentación incluye frutos, bayas, insectos, reptiles, anfibios, aves y huevos.

Familia Procyonidae

Bassariscus astutus, cacomixtle. Se presenta en medios tan diferentes como el desierto árido y trópicos secos hasta la zona de pino-encino. En los lugares donde no se localizan árboles pueden alojarse en rocas, peñas y aún en las casas. Los organismos adultos son de hábitos normalmente solitarios y principalmente carnívoros aunque en ocasiones pueden alimentarse de productos vegetales. En México se han ganado una mala reputación ya que principalmente se les atribuye el robo de pollos caseros. En ocasiones los organismos jóvenes pueden ser domesticados e incorporados como mascotas.

Procyon lotor, mapache. Es uno de los pocos mamíferos que se localizan en casi todo el territorio nacional. Son omnívoros, se alimentan de cangrejos de tierra, ranas, caracoles, pequeños mariscos, insectos acuáticos y ocasionalmente peces, también comen toda clase de frutos carnosos como uvas, cerezas, manzanas, chirimoyas, mangos entre otras. Su dieta es tan

variada que puede incluir nueces, bellotas, huevos, así como aves y pequeños mamíferos.

Nasua narica, tejón. Son animales muy activos al amanecer y al anochecer, son omnívoros y pueden comer frutos, bayas, nueces, brotes de vegetación tierna, insectos, caracoles y lagartijas, pequeños mamíferos y carroña. Como animal de caza y productor de piel en México se le considera como un animal con poca importancia.

Familia Mustelidae.

Mustela frenata, comadreja. Es un activo y ágil depredador que en general se considera benéfico puesto que se alimenta fundamentalmente de roedores y los daños que ocasiona a las poblaciones de caza menor son imperceptibles. Las madrigueras de las comadrejas son generalmente subterráneas pero también se les puede localizar en rocas y en troncos huecos.

Mephitis macroura, zorrillo listado. La característica más conocida de estos animales es que el par de glándulas olorosas características de los mustélidos están muy desarrolladas en los zorrillos. Son animales normalmente solitarios y omnívoros, entre las preferencias de su dieta se encuentran insectos y otros invertebrados, tienen inclinación a comer huevos y ocasionalmente pueden capturar aves mutiladas. Ocupan una gran variedad de hábitats lo que se refleja en su amplia distribución.

Spilogale augustifrons, zorrillo manchado. Es menos abundante que las otras especies, son mejores trepadores que los anteriores y su dieta es muy similar a *M. macroura*. Aunque su piel fina y suave es de menor valor que la del zorrillo listado.

Conepatus mesoleucus, zorrillo de espalda blanca. No son tan frecuentes en México. Son de hábitos más nocturnos que el listado y son estrictamente insectívoros pudiéndose alimentar de escarabajos, chapulines, diversas larvas y gusanos. Sus hábitos son solitarios.

Familia Felidae

Lynx rufus, gato montés. Es un depredador natural que se ha acomodado muy bien a las condiciones de las tierras colonizadas. En la zona centro de México existen con menor abundancia. Son principalmente nocturnos, tienen un área de caza más o menos fija de varios kilómetros de diámetro, subsisten básicamente de roedores y conejos eventualmente pueden comer codornices. No es perjudicial para el ganado doméstico.

Orden Artiodactyla.

Familia Tayassuidae

Pecari tajacu, jabalí de collar. Es un animal gregario que tiende a vivir en manadas o grupos. Presentan una glándula grande y abultada en la línea media del lomo a 20 cm por delante de la cola que emite un olor penetrante cuando el animal está asustado o enojado. Son omnívoros, su dieta se compone de plantas y productos vegetales, una gran variedad de frutos, raíces, bulbos, bellotas, frutos de pino y manzanitas en las mesetas de pino encino. La caza comercial se efectúa tanto para la obtención de alimento como por sus cueros que se convierten en finas pieles.

Familia Cervidae.

Odocoileus virginianus, venado de cola blanca. Es probablemente el animal de caza más importante en México. A pesar de que sus áreas de distribución son muy amplias, se localiza principalmente en los bosques de pino-encino. Aunque comen temporalmente pasto verde y hierbas, son predominantemente animales

ramoneadores. En ciertas épocas del año incursionan en los cultivos que se localizan lejanos a las granjas causando fuertes daños a las cosechas preferentemente de maíz, col, chile, calabaza y melones.

De los estudios de Rodríguez y Bárcenas así como de Rodríguez y Vázquez con respecto a la introducción de cultivos de organismos acuáticos en la Presa de Atlangatepec se pueden identificar los siguientes organismos: ajolote (*Ambystoma tigrinum velasci* Duges), rana (*Rana montezumae*), charal (*Chirostoma jordani*), carpa israel (*Ciprinus carpio specularis*) y al acocil (*Cambarellus montezumae*).

Entre la fauna asociada a los Cultivos, Altieri y Trujillo señalan al frailecillo (*Macroductylos* sp.) que constituye una plaga común de los cultivos de maíz. A la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), y a artrópodos del follaje representados por diversos tipos de escarabajos correspondientes a las especies *Hippodamia convergens*, *H. koebeli*, *Coccinella nugatoria* y *Scymnus* sp., varios hemípteros de los géneros *Orious* y *Nabis*, moscas de las familias Syrphidae y Lycosidae así como arañas de las familias Lycosidae, Argiopidae, Tetragnatidae, Salticidae y Thomisidae que con frecuencia se encuentran en las plantas.

IV.8. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE APIZACO Y MATLALHOCAN.

Ubicación.

El municipio de Apizaco (Figura 4.5) queda ubicado entre los 19° 29' y los 19° 22', latitud norte y entre los 98° 04' y los 98° 11', longitud oeste (INEGI, 1993). Su superficie representa el 1.18% del total del Estado. La cabecera municipal es Apizaco, ubicado en los 19° 25' y 98° 08', a una altura de 2420 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Clima.

El clima de Apizaco, según la clasificación de Köppen es C(w2)(w), esto es, templado subhúmedo, con lluvias de verano y con menos del 5% de la precipitación en invierno.

El municipio cuenta con una estación meteorológica (No. 29 - 023), misma que recaba los datos diarios de temperatura (observada, máxima, mínima), precipitación y observaciones de cubierta nubosa, días con granizo, con niebla o con tormenta. La temperatura media anual oscila entre los 12° y 14 °C. En los meses de diciembre a enero se presentan los valores menores de temperatura; los máximos son alcanzados de abril a junio. Dos eventos importantes para la agricultura son las granizadas y las heladas. La frecuencia de las primeras es de 14 a 16 días y la correspondiente a las heladas es de 60 a 80 días (SPPa, 1987), siendo ésta de las mayores de todo el Estado.

Hidrología

El municipio corresponde a la región del Balsas (RH - 18), encontrándose en la cuenca del Río Atoyac, subcuenca del río Zahuapan. Las corrientes de agua más importantes para Apizaco son, además del Zahuapan, los ríos Atenco, Texcalac, San Cosme y Sambrano. Existe además un cuerpo de agua, El Ojito, perteneciente a la misma región hidrológica (INEGI, 1993).

Suelos.

Apizaco tiene en general suelos tipo Cambisol eutrico y Litosol, en los 30 cm. superficiales tiene una clase textural media dúrica (SPPb, 1987). En Matlalhocan predominan los suelos tipo Litosol y Cambisol eutrico, así como Fluvisol y Fluvisol eutrico.

Fisiografía.

El municipio de Apizaco corresponde a la provincia del Eje Neovolcánico. En general Apizaco se encuentra en llanuras de piso rocoso con lomeríos, mientras que Matlalhocan corresponde a las lomerías con colinas redondeadas con llanuras (SPPc, .1987)

Geología.

Apizaco geológicamente ha sido clasificado como compuesto por rocas ígneas extrusivas del cuaternario, con suelos aluviales. La diferencia en Matlalhocan es que sus suelos corresponden a brecha volcánica básica (SPPd, .1987).

Uso del Suelo.

En la parte central del municipio se desarrolla agricultura de riego, mientras que en Matlalhocan la agricultura es básicamente de temporal (SPPe, 1987). Según la carta de posibilidades de uso agrícola (SPPf, 1987), Apizaco corresponde al régimen de humedad disponible subhúmedo, teniendo terrenos aptos para la agricultura mecanizada continua y/o agricultura de tracción animal. Considerando sus posibilidades de desarrollo de los cultivos y de labranza, su aptitud es media. En cuanto a la posibilidad de riego, sólo en algunas porciones del municipio se tiene aptitud media, ya que en buena parte de él no hay aptitud para el riego, considerando la profundidad del agua en el subsuelo.

En cuanto a la competencia por el uso del suelo, el municipio en general no tiene terrenos con aptitud para la explotación forestal, aunque Matlalhocan tendría terrenos aptos para el desarrollo de uso forestal para consumo doméstico (SPPg, 1987). Con respecto a las posibilidades de uso pecuario (SPPh, 1987), aunque el municipio centra su actividad del campo en la

producción de granos, se considera que puede tener condiciones aptas para el desarrollo de especies forrajeras, necesario para el establecimiento de pastizales cultivados, potencial que se incrementa si se incluye la capacidad de desplazamiento de las áreas de pastoreo. Sin embargo, su aptitud es baja si se toma en cuenta la condición de la vegetación natural aprovechable.

CAPÍTULO V. METODO

En la aplicación del modelo CERES-Maize para la simulación de la producción del maíz de temporal bajo escenarios de cambio climático se siguen los lineamientos metodológicos propuestos por el Country Study Management Team y la Environmental Protection Agency (Rosenszweig e Iglesias, 1994), mismos que se utilizaron para la evaluación de los impactos del cambio climático en la producción de maíz de temporal para algunas regiones de México, en el Estudio de País México (Conde *et al*, 1996). Para este trabajo, además de los lineamientos anteriores se introducen otros elementos de análisis agroecológico que enriquecen el estudio.

La simulación del desarrollo del maíz de temporal en Apizaco requiere de la concentración de datos climáticos, fenológicos, de rendimiento, de manejo del cultivo y de suelos precisos. Para ello se revisaron diferentes fuentes y se procesaron los datos en los archivos de entrada del modelo de acuerdo a los formatos indicados en el Reporte Técnico No 5 del IBSNAT (1986). A continuación se reseña los tipos de fuentes y el procesamiento específico de cada conjunto de datos.

V.1. DATOS CLIMÁTICOS.

Los datos diarios de temperaturas máxima (Tmax) y mínima (Tmin) y de precipitación (P) se obtuvieron a partir de la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional para un periodo de años comprendido entre 1961 a 1995. Dicha base de datos presenta años incompletos , por lo que fue necesario generar los datos faltantes con la introducción de "ruido blanco" mediante un método estadístico, desarrollado por Víctor Magaña y Cecilia Conde del Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Los datos de la radiación solar (Rad) de Apizaco se procesaron a partir de la concentración de datos de días nublados, medio nublados y despejados de la estación de Apizaco y se convirtieron a MJ/m² mediante el programa RADIAC elaborado por Adalberto Tejeda de la Universidad Veracruzana. De esta manera, una vez que se tuvo la base de datos completa, se procedió a establecer la climatología de Apizaco a partir de la cual se generaron los coeficientes genéticos de las variedades de maíz que se explican más adelante así como, el establecimiento de la estación de crecimiento para el cultivo del Maíz en Apizaco.

Con los datos anteriores se construyeron los archivos climáticos requeridos por el programa (Wth.dir)

V.2. ESTACIÓN DE CRECIMIENTO

Uno de los parámetros más importantes en la evaluación de los recursos agroclimáticos es la determinación de la estación de crecimiento disponible para el desarrollo de los cultivos. La estación de crecimiento está básicamente determinada por la disponibilidad de agua y temperatura favorables para el desarrollo del cultivo.

La estación de crecimiento se basa en un modelo simple del balance de humedad y su comparación con la precipitación y la evapotranspiración potencial (ETP). (Villalpando, 1984)

Para determinar las fechas probables de las etapas se grafican la precipitación, la evapotranspiración (ET) la evapotranspiración potencia (ETP), 1/2 de ETP , la temperatura mínima, la temperatura base (Tb) y la precipitación al 80 % de probabilidad durante el curso del año (se considera el año climatológico).

Se determinan 4 etapas en la estación de crecimiento:

1. Inicio del periodo de crecimiento. Se obtiene cuando la precipitación es mayor a un medio de la evapotranspiración potencial, es decir cuando $P > 0.5 \text{ ETP}$. El valor de 0.5 ETP considera las necesidades de agua para la germinación de los cultivos. El inicio de la estación de crecimiento también puede ser determinado con el inicio de la estación de lluvias, en específico cuando la lluvia recibida para un periodo corto es mayor o igual a 25 mm
2. Periodo húmedo. La estación de crecimiento normal se define cuando existe un periodo húmedo que es el intervalo de tiempo en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial (ETP). Cuando se establece el periodo húmedo, no solamente se satisfacen las demandas de la evapotranspiración de los cultivos sino también el déficit de humedad en el perfil del suelo.
3. Terminación de la estación de lluvias. La estación de lluvias termina cuando $P = 0.5 \text{ ETP}$
4. Terminación del periodo de crecimiento. Depende de la cantidad de humedad almacenada en el suelo al finalizar la estación de lluvias. El tiempo de duración de esta reserva de agua depende de la profundidad y las características físicas del suelo, y del patrón del desarrollo radical del cultivo entre otros factores.

Al obtener la estación de crecimiento climatológica, se establecen los límites de fechas de siembras para los cultivos en el escenario base y su modificación en escenarios de cambio climático con los cuales se pueden establecer las fechas de siembra límites necesarias para el planteamiento de medidas adaptativas en el manejo del cultivo.

V.3. SUELOS.

Se seleccionaron dos sitios de estudio en la Localidad de San Bartolo Matlalohcan en las inmediaciones de la estación climatológica, uno de ellos dentro de las parcelas donde el INIFAP participará en estudios subsecuentes del proyecto de Variabilidad Climática y Agricultura. Se tomaron muestras del perfil de los suelos para su análisis.

Para la construcción del archivo de suelos se corrió un programa que generaba las variables requeridas por el modelo (Límites superior e inferior de agua, capacidad de drenaje por cada capa del suelo, contenido de agua y niveles de saturación, etc.) el análisis de suelos fue elaborado por el Departamento de Suelos de la Escuela de Agrobiología de la Universidad de Tlaxcala y los datos requeridos para dicho análisis fueron:

- Clasificación
- Pendiente
- Color
- Permeabilidad
- Drenaje
- Grosor
- Horizontes
- Porcentaje de arcilla
- Porcentaje de Limo
- Porcentaje de arena
- Fracción gruesa
- Contenido de carbono orgánico
- Densidad aparente
- pH en agua

- Cantidad de raíces
- Compuestos nitrogenados

Con los resultados del análisis se generaron dos archivos de suelo para la localidad. (api.mz2 y api.mz5)

V.4. MANEJO DE SIEMBRA

Para establecer las diferentes variedades así como las características del manejo del cultivo se recabó información de los tipos de maíz de temporal utilizados en la región con respecto a:

- Fecha de siembra
- Densidad de siembra
- Distancia entre los surcos
- Semillas por mata
- Aplicación de fertilizante (número de eventos, tipo de fertilizante, cantidad y fechas de aplicación)
- Inicio de floración masculina
- Inicio de floración femenina
- Final de floración
- Madurez fisiológica
- Rendimiento

Los datos anteriores se recabaron para las variedades híbridas con la información proporcionada por el Ingeniero Ismael Rojas (comunicación personal) del INIFAP-Tlaxcala a partir de datos experimentales de campo y a partir del análisis de los paquetes tecnológicos para producción de maíz de temporal distribuidos por INIFAP-Produce para el estado de Tlaxcala. Para las

variedades criollas se diseñó y aplicó una encuesta a 21 productores de la zona (Tabla 5.1). La información anterior se incorporó a los archivos de condiciones experimentales (api.mz8) y al archivo de aplicación de fertilizante (api.mz7)

Tabla 5.1 Encuesta aplicada a los productores.

ENCUESTA NO _____
FECHA _____

NOMBRE DEL ENCUESTADOR: _____

1. DATOS GENERALES

1.1 LOCALIDAD _____ MUNICIPIO: APIZACO _____ NANACAMILPA _____ NATIVITAS _____ TERRENATE _____		1.2 DISTRITO DE RIEGO: _____ 1.3 NOMBRE DEL EJIDO _____	OBSERVACIONES
1.4 NOMBRE _____ EDAD _____ AÑOS SEXO F _____ M _____ ORIGINARIO DE: TLAXCALA _____ OTRO _____	1.5. LA PARCELA ES: PROPIA _____ EJIDO _____ RENTA _____ OTRO _____		

2. DATOS DE MANEJO DE SIEMBRA

2.1 CULTIVOS: TIPO Y CICLO MAIZ _____ P-V O-I FRIJOL _____ P-V O-I CALABAZA _____ P-V O-I HABA _____ P-V O-I OTROS _____ P-V O-I		2.2 REGIMEN DE HUMEDAD: TEMPORAL _____ RIEGO _____ TEMPORAL _____ RIEGO _____ TEMPORAL _____ RIEGO _____ TEMPORAL _____ RIEGO _____ TEMPORAL _____ RIEGO _____		
2.3 SUPERFICIE SEMBRADA _____ ha 2.4 SUPERFICIE COSECHADA _____ ha		2.5 PRODUCCIÓN _____ Kg 2.6 RENDIMIENTO _____ Kg/ha		
2.7 FECHA DE SIEMBRA (MAIZ) VARIEDAD 1 _____ VARIEDAD 2 _____ VARIEDAD 3 _____		2.7 ¿POR QUÉ SELECCIONA LA VARIEDAD* VARIEDAD 1 _____ VARIEDAD 2 _____ VARIEDAD 3 _____		
2.9 DISTRIBUCIÓN DISTANCIA ENTRE SURCOS _____ DISTANCIA ENTRE MATAS _____ SEMILLAS POR MATAS _____		2.10 MÉTODO DE SIEMBRA: MANUAL _____ MECÁNICO _____		

* Deben anotarse para cada variedad siguiendo un orden decreciente en importancia

3. DATOS SOBRE TIPOS Y APLICACIONES DE FERTILIZANTES

3.1 No. Y ETAPA DE APLICACIÓN	3.2 FECHA	3.3 TIPO	3.4 CANTIDAD Y PROPORCIÓN	
_____ SIEMBRA	_____	O T U S	_____	
_____ ESCARDA	_____	O T U S	_____	
_____ LABRA	_____	O T U S	_____	
_____ SEGUNDA	_____	O T U S	_____	

O = orgánico, T = triple, U = urea, S = sulfato

4. DATOS FENOLÓGICOS PARA EL MAÍZ

Deben anotarse para cada variedad

¿A CUANTOS DÍAS DE LA SIEMBRA? (O ¿EN QUÉ FECHA?)	VARIEDAD 1	VARIEDAD 2	VARIEDAD 3
4.1 BROTA LA PLÁNTULA	_____	_____	_____
4.2 APARECE LA ESPIGA	_____	_____	_____
4.3 APARECE EL JILOTE	_____	_____	_____
4.4 LA MAYORÍA DE LAS PLANTAS TIENEN JILOTE	_____	_____	_____
4.5 SE DESPUNTA	_____	_____	_____
4.6 SE COSECHA	_____	_____	_____
DATOS DE LA MAZORCA	_____	_____	_____
4.7 No. DE HILERAS	_____	_____	_____
4.8 No. DE GRANOS	_____	_____	_____
4.9 TAMAÑO DE LAS PLANTAS ADULTAS	_____	_____	_____

5. DATOS CLIMÁTICOS

5.1 LLUVIA	INICIO _____ FIN _____
5.2 IRREGULARIDAD EN LA LLUVIA PARA ESTE AÑO	SI _____ NO _____ ATRASO _____ ADELANTO _____
5.3 ¿QUÉ OBSERVA USTED PARA SABER CUÁNDO VAN A EMPEZAR LAS LLUVIAS?	ASESORÍA TÉCNICA _____ ALGÚN FENÓMENO ¿CUÁL? _____
5.4 ¿DE QUÉ DIRECCIÓN LE LLEGAN LAS LLUVIAS?	N S E W NE SE NW SW

5.5 ¿CÓMO AFECTA LA SEQUÍA AL CULTIVO?	POR RETRASO EN LA SIEMBRA _____ POR CANÍCULA MÁS SEVERA _____ OTROS _____
5.6 CANÍCULA	INICIO _____ FIN _____ EFECTOS: BENÉFICOS _____ DAÑINOS _____

5.7 ¿QUÉ EVENTO CLIMÁTICO AFECTA MÁS AL CULTIVO Y EN QUÉ PERIODO?	EVENTO	ETAPA DEL CULTIVO
	RETRASO EN LA LLUVIA _____	_____
	HELADAS _____	_____
	GRANIZADAS _____	_____
	OTROS _____	_____

5.8 MEDIDAS ADAPTATIVAS	EVENTO	ETAPA DEL CULTIVO	MEDIDA
	RETRASO EN LAS LLUVIAS	INICIO _____ MEDIA _____ FINAL _____	_____ _____ _____
		INICIO _____	_____

HELADAS	MEDIA _____ FINAL _____	_____	_____
GRANIZADA	INICIO _____ MEDIA _____ FINAL _____	_____	_____
OTROS	INICIO _____ MEDIA _____ FINAL _____	_____	_____

5.9 ¿RECUERDA ALGÚN AÑO EN ESPECIAL EN QUE FUÉ MUY SEVERO EL DAÑO POR:	SEQUIA _____ HELADA _____ GRANIZADA _____ OTRO _____	_____
--	---	-------

5.10 CON BASE EN SU APRECIACIÓN DEL CLIMA PARA ESTE AÑO ¿QUÉ PRODUCCIÓN ESPERA?	AUMENTO _____ DISMINUCIÓN _____ IGUAL _____	¿POR QUÉ? _____ _____ _____
5.11 ¿EN LOS ÚLTIMOS AÑOS HA CAMBIADO SU PRODUCCIÓN?	AUMENTO _____ DISMINUCIÓN _____ IGUAL _____	¿POR QUÉ? _____ _____ _____

V.5. COEFICIENTES GENÉTICOS.

El modelo utiliza cinco coeficiente que resumen diferentes aspectos del desarrollo de un genotipo particular y que se explican en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Coeficientes genéticos para el maíz

Aspecto del desarrollo	Coeficiente	Rango	Significado biológico
Fase juvenil	P_1	100 - 400	Periodo de tiempo, expresado en unidades de calor, desde la emergencia de la semilla hasta 5 días antes de la floración masculina
Fotoperiodismo	P_2	0 - 4	Extensión en la cual el desarrollo, expresado en días, es retrasado para cada hora de incremento en el fotoperiodo por encima del fotoperiodo más grande que beneficia el desarrollo en su tasa máxima (que corresponde a 12.5 horas)

Tabla 5.2. Coeficientes genéticos para el maíz (continuación)

Aspecto del desarrollo	Coeficiente	Rango	Significado biológico
Duración de llenado de grano	P_5	600 - 1000	Unidades de calor por encima de una temperatura base desde la aparición de los estigmas hasta la madurez
Aspecto del crecimiento			
Número de granos	G_2	750 - 850	Número de granos por mazorca
Peso del grano	G_3	5.0 - 12.0	Tasa de crecimiento potencial de granos expresada en mg/grano por día

Con base en los datos proporcionados por INIFAP-Tlaxcala y los obtenidos en las encuestas de los productores. Se pudieron calcular los coeficientes P_1 , P_5 y G_2 para las variedades propuestas. Para el coeficiente P_2 se utilizó el valor para variedades tropicales sugerido por Jones y Kiriny (1986). El coeficiente G_3 se obtuvo al efectuar pruebas de ensayo y error al correr el programa hasta encontrar el valor que se ajustase a la fenología y rendimiento de cada variedad.

Cálculo de las unidades de calor.

Para determinar el valor de los coeficientes P_1 y P_5 para las diferentes variedades se estimaron las Unidades de Calor Acumuladas para cada variedad de la siguiente manera.

Las unidades de calor se calculan a partir de la temperatura media y una temperatura base específica para cada tipo de cultivo. Para el maíz en general, la temperatura base es de 10°C en el periodo que comprende de la germinación a la emergencia y de 8°C en las demás etapas. Sin embargo, para el caso de Tlaxcala, por recomendación del INIFAP-Tlaxcala y a partir de los estudios realizados por Ortiz y Pájaro reportados en el trabajo Zárate (1992) se

considera que el valor de 6.5°C es la temperatura base para todos los periodos de desarrollo, a partir de la emergencia.

Si las temperaturas media y máxima se encuentran entre la temperatura base y 34°C las unidades de calor se calculan de la siguiente manera:

$$UC = T \text{ media} - T_{\text{base}}$$

Si la temperatura media es menor que la temperatura base o si la temperatura máxima es mayor a los 34°C, se deben calcular 8 valores de interpolación de la temperatura, utilizando un factor de corrección de 3 horas de la temperatura como sigue

$$\text{Temperatura de Interpolación} = T_{\text{min}} + \text{Factor de corrección (I)} \times (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})$$

$$\text{Factor de corrección (I)} = 0.931 + 0.114 \times I - 0.0703 \times I^2 + 0.0053 \times I^3$$

donde I = 1 a 8

Para cada temperatura de interpolación se calcula un valor de 3 horas de Unidades de calor.

Si la temperatura de interpolación se encuentra entre la temperatura base y 34°C, la Unidades de calor se calculan como sigue:

$$UC = \text{Temperatura de interpolación} - T_{\text{base}}$$

Por lo tanto, los valores de P_1 y P_5 son:

P_1 = Suma de unidades de calor de la emergencia hasta 5 días antes al inicio de la floración masculina

P_5 = Suma de la unidades de calor de la floración femenina a la madurez

Para el cálculo de G_3 se multiplica el número de hileras que presenta la mazorca por el número de grano de una hilera de la mazorca en una muestra de mazorcas de cada variedad.

V.6. EXPERIMENTOS DE SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN CON EL ESCENARIO BASE Y SIMULACIÓN CON ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Una vez obtenidos los archivos de entrada que requiere el modelo se corrieron dos experimentos de simulación, uno para el sitio 1 y otro para el sitio 2 tanto con variedades criollas como con la variedad híbrida recomendada por INIFAP. para un periodo comprendido de 1960 a 1990.

Para la validación del experimento de simulación se contrastaron los promedios de rendimiento de los años simulados con los promedios de rendimientos reportados para la zona en el periodo comprendido entre 1986 y 1995.

También se utilizó para esta validación la comparación entre los tiempos en que ocurren las diferentes etapas fenológicas en el experimento simulado y las que se presentan en el campo.

Con el escenario base, calibrado y validado, se pueden introducir al programa las modificaciones climáticas necesarias para simular las condiciones de cambio climático. Se consideró necesario utilizar dos posibles escenarios de cambio: escenarios incrementales y escenarios contruoidos a partir de dos modelos de circulación general que se describe a continuación.

1. Escenarios incrementales.

Se generan para realizar pruebas de sensibilidad en los que se incorporan incrementos arbitrarios en la temperatura y la precipitación lo que nos permite evaluar la sensibilidad del cultivo a eventos extremos como serían sequías o inundaciones. Las simulaciones efectuadas con escenarios incrementales son los siguientes:

- a) + 2°C
- b) + 4°C
- c) - 20% en la precipitación
- d) + 20 % en la precipitación
- e) + 2°C y + 20% en la precipitación
- f) +2°C y - 20 % en la precipitación
- g) +4°C y + 20 % en la precipitación
- h) +4°C y - 20% en la precipitación

2. Modelos de Circulación General.

Se incorporan las proyecciones de dos modelos de circulación bajo condiciones de duplicación de CO₂ atmosférico y se corren los experimentos en dos condiciones: sin considerar los efectos fisiológicos que tendrían sobre la planta la duplicación del CO₂ y considerando que tal duplicación tendría un efecto fertilizante sobre la planta. Debido a que el maíz es una planta C⁴, el incremento de la concentración atmosférica del CO₂ no tendría efectos considerables sobre este tipo de cultivo. Se establece que el aumento en la capacidad fotosintética de la planta sería de un 6% (Rosenzweig *et al*, 1993), por lo tanto, para la simulación de los escenarios con modelos de circulación se plantean los siguientes tratamientos:

- a) GFDL-R30 sin considerar efectos fisiológicos de la duplicación del CO₂
- b) GFDL-R30 y efectos fisiológicos de la duplicación del CO₂

- c) CCCM sin considerar efectos fisiológicos de la duplicación del CO₂
- d) CCCM y efectos fisiológicos de la duplicación del CO₂

V.7. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN.

El análisis de las modificaciones que se generan tanto en rendimientos como en la estación de crecimiento conduce al planteamiento de medidas adaptativas que mitiguen las pérdidas causadas a la producción por el cambio climático, o bien que permitan optimizar las condiciones favorables que se presenten ante dicho cambio. Para lo anterior, se introducen cambios en el manejo del cultivo que pueden incluir los siguientes aspectos:

- Modificación en fechas de siembra
- Modificación en la aplicación de fertilizantes
- Inclusión de eventos de irrigación
- Modificación de variedades genéticas.

En la modificación de las variables se corren experimentos que pueden cambiar sólo en uno de los aspectos listados o bien en combinaciones de los mismos y sólo se conservan aquellos cambios que reproduzcan el rendimiento simulado en el escenario base o que mejor se aproxime a él.

Ya que se establecen las medidas adaptativas posibles, se procede a evaluar la respuesta que los productores puedan tener a la aplicación de tales medidas con el fin de establecer cuales serían las barreras económicas o culturales que los productores pudieran anteponer a las medidas sugeridas

CAPÍTULO VI. RESULTADOS

La exposición de los resultados del trabajo se hace siguiendo el orden presentado en el capítulo anterior. Al final del capítulo se integra el panorama general del impacto del cambio climático en los rendimientos del maíz en Apizaco.

VI.1. DATOS CLIMÁTICOS.

La climatología de Apizaco se muestra en la figura 6.1 y los promedios mensuales de Temperatura, máxima y mínima así como la precipitación acumulada mensual se ilustran en la tabla 6.1.

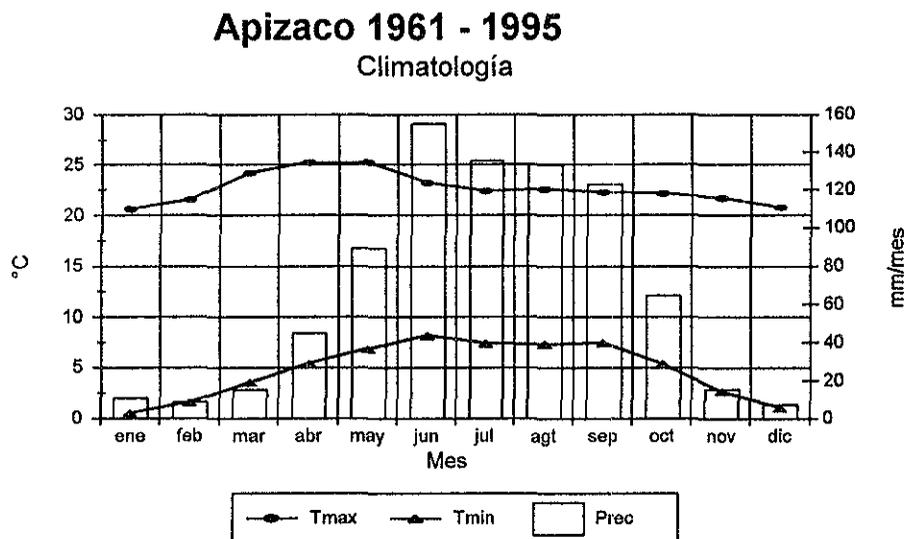


Figura 6.1. Climatología de Apizaco.

Como puede observarse en la gráfica, el principal factor que limita el desarrollo del cultivo es la temperatura mínima, ya que la temperatura base establecida de 6.5°C sólo se rebasa de mayo a septiembre, lo cual limita la estación de crecimiento. Sin embargo, estos datos sólo expresan las medias mensuales

siendo posible encontrar en abril temperaturas mínimas diarias superiores a 6.5°C.

La temperatura máxima y la precipitación se encuentran dentro de los niveles óptimos para el desarrollo del maíz, por lo que estos factores no impiden el buen desarrollo del cultivo. Hay que resaltar que en la climatología, la manifestación de eventos extremos como heladas o inundaciones no se observan puesto que los promedios de 35 años encubren tales fenómenos.

Tabla 6.1 Promedios mensuales de temperaturas y precipitación acumulada mensual para Apizaco (1961-1995)

	Tmax	Tmin	Prec.
	°C	°C	mm/mes
ene	20.6	0.5	10.4
feb	21.5	1.5	8.6
mar	24.1	3.5	14.9
abr	25.2	5.4	44.5
may	25.2	6.8	89.3
jun	23.1	8.1	155.3
jul	22.3	7.4	135.4
agt	22.5	7.3	133.1
sep	22.2	7.4	122.6
oct	22.1	5.3	64.5
nov	21.7	2.6	15.3
dic	20.7	1.1	7.4

En las últimas décadas, se comienzan a manifestar cambios en el clima global. Tlaxcala no es la excepción. Al analizar los datos mensuales decadales (figuras 6.2 y 6.3) se observa una tendencia hacia el calentamiento, sobre todo en los meses de invierno, con un incremento aproximado de 2°C de las décadas de los sesentas a los noventas. Para la temperatura mínima, el incremento respectivo es de aproximadamente 1°C, tanto en verano como en invierno.

Apizaco 1961 - 1995

Temperatura Máxima

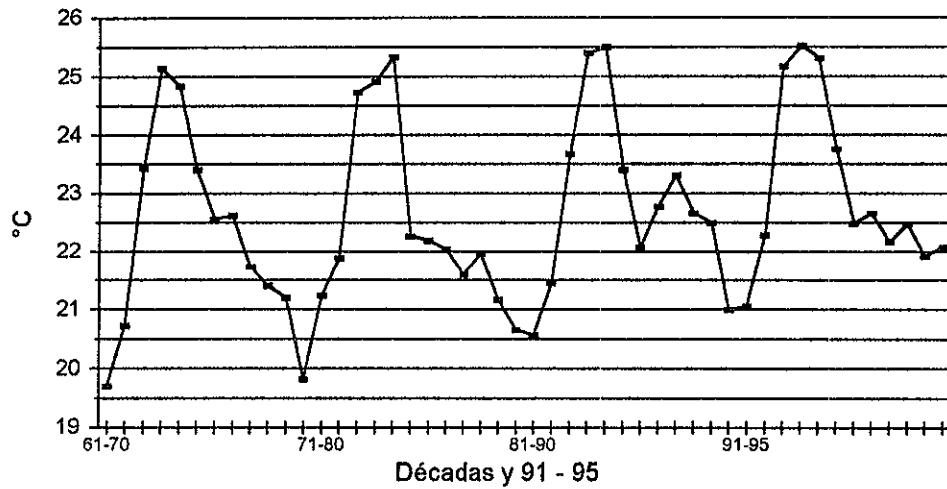


Figura 6.2. Tendencias en las temperaturas máximas.

Apizaco 1961 - 1995

Temperatura mínima

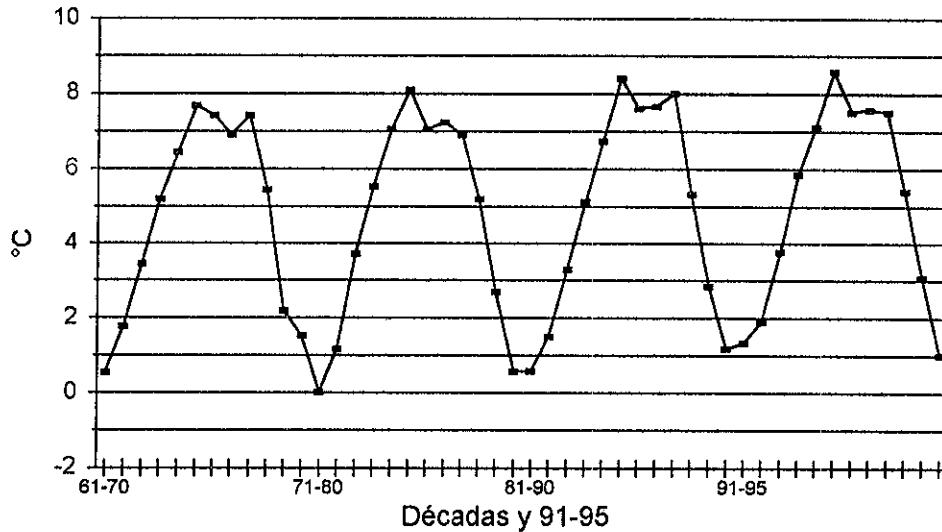


Figura 6.3. Tendencias en las temperaturas mínimas.

Con respecto a la precipitación también es posible notar una ligera tendencia al incremento (figura 6.4), aunque para el quinquenio 1991 - 1995, se presenta un cambio en los regímenes de la precipitación. En particular, el fenómeno de la canícula se acentúa, coincidiendo con la ocurrencia de un evento de Niño prolongado. Se le llama canícula a un periodo de disminución en las lluvias de verano asociado a un aumento en la temperatura máxima durante los meses de julio y agosto.

Apizacc 1961 - 1995 Precipitación

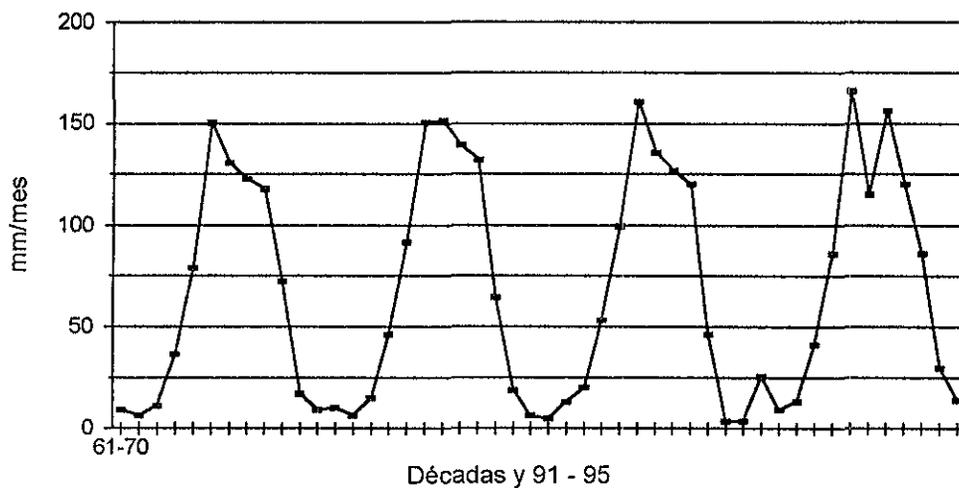


Figura 6.4. Tendencias en la precipitación.

Por otra parte, los agricultores de temporal del estado sostienen que "si la canícula viene con agua", sí se dará la cosecha porque habrá suficientes lluvias de verano. Es posible que la tradición oral expresada en los refranes refleje un conocimiento empírico de las condiciones climatológicas óptimas para las labores del campo.

Los resultados de las encuestas efectuadas a los indican que éstos se perciben el cambio en los patrones de las lluvias. Para un 57.14% de los productores dicho patrón se adelanta mientras que para el 28.57% se retrasa, el resto de los

productores no manifiesta ninguna observación al respecto (figura 6.5). La mayoría de los campesinos manifiesta que el evento climático que mayor impacto tiene en los cultivos son las heladas (figura 6.6) seguido por el granizo y sólo uno identifica a la sequía.

Resultados de las encuestas
Modificación del patrón de lluvias

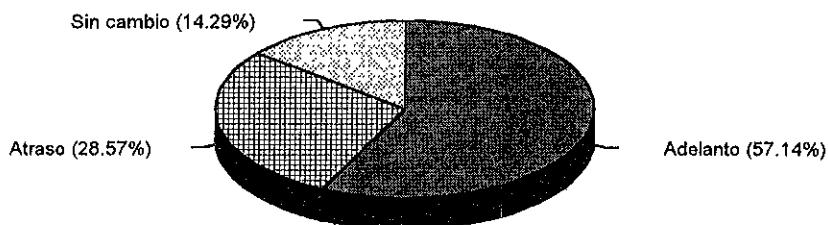


Figura 6.5. Percepción de los productores del cambio en el patrón de lluvias.

Resultados de las encuestas
Evento climático con mayor impacto

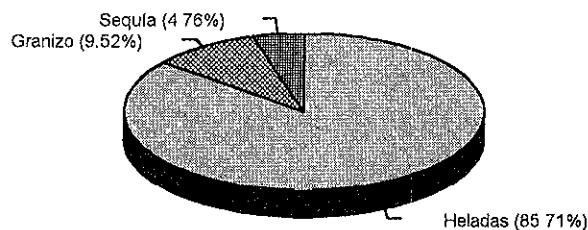


Figura 6.6. Eventos climáticos con mayor impacto según los productores.

Una vez obtenida la climatología se generaron 30 archivos de entrada para el programa CERES-Maize que corresponden a cada año simulado (Api00112.w61 a Api00112.w90), que corresponden al escenario climático base. Un segmento de la información contenida en un archivo se muestra en la tabla 6.2

Tabla 6.2. Archivo API00112.w61

		APIZ	19.25	-98.09	12.00	.00		
APIZ	61	1	11.45	18.0	2.0	.0	.00	
APIZ	61	2	11.45	21.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	3	11.45	20.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	4	11.45	21.0	2.0	.0	.00	
APIZ	61	5	11.45	21.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	6	11.45	22.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	7	11.45	21.0	2.0	.0	.00	
APIZ	61	8	11.45	21.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	9	11.45	20.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	10	11.45	21.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	11	11.45	21.0	2.0	.0	.00	
APIZ	61	12	11.45	19.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	13	11.45	17.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	14	11.45	19.0	1.0	.0	.00	
APIZ	61	15	11.45	20.0	1.0	.0	.00	

La primera línea indica el código del sitio, la latitud, longitud y el factor de conversión de la radiación solar

Las siguientes líneas, corresponden cada una a los días julianos y expresan los siguientes parámetros:

- Código del sitio.
- Año.
- Día juliano.
- Radiación solar total diaria (MJ/m²).
- Temperatura máxima observada (°C).
- Temperatura mínima observada (°C).
- Precipitación total (mm/día).

De manera similar, se generaron archivos de condiciones de cambio climático: Api20112.w61 a Api20112.w90 que incorporan las variaciones simuladas con el modelo GFDL - R30 y los archivos Api30112.w61 a Api30112.w90 para el caso del modelo CCCM.

Los resultados de las simulaciones para el caso de Apizaco se muestran en la tabla 6.3. Los dos modelos proyectan incrementos en las temperaturas máximas y mínimas entre 1.5 y 3 °C. La precipitación muestra un comportamiento diferente, ya que en promedio el GFDL-R30 aumenta un 20% anual mientras que el CCCM la disminuye en un 10% aproximadamente.

Tabla 6.3. Promedios mensuales de temperaturas y precipitación acumulada mensual según los escenarios de cambio climático.

	Modelo GFDL-R30			Modelo CCCM		
	Tmax °C	Tmin °C	Prec. mm/mes	Tmax °C	Tmin °C	Prec. mm/mes
ene	23.0	2.9	17.0	21.9	1.9	8.6
feb	24.4	4.4	7.2	23.2	3.2	6.6
mar	27.1	6.6	18.9	25.8	5.2	11.6
abr	28.2	8.4	45.9	27.9	8.1	61.9
may	27.3	8.9	96.4	27.5	9.1	100.9
jun	25.8	10.8	220.5	24.7	9.7	118.0
jul	24.8	9.9	154.4	24.2	9.3	96.1
agt	25.1	9.9	179.7	24.8	9.6	142.4
sep	24.9	10.2	164.2	24.5	9.8	78.4
oct	24.6	7.9	69.6	25.0	8.2	72.9
nov	24.3	5.2	17.6	23.9	4.8	15.3
dic	23.9	4.3	8.6	22.3	2.6	5.9

En la figura 6.7 se comparan las condiciones climatológicas con las que proponen los modelos para el caso de la temperatura mínima. Se observa que el incremento en ésta implicaría un alargamiento de la estación de crecimiento del maíz ya que para ambos modelos la temperatura base (6.5 °C) se rebasa de marzo a octubre, mientras que en la climatología este periodo sólo se observa de mayo a septiembre. Esto sería indicativo de una disminución en la probabilidad de heladas que siniestran a este cultivo en esta región.

Escenarios Base y de Cambio Climático

Temperatura mínima

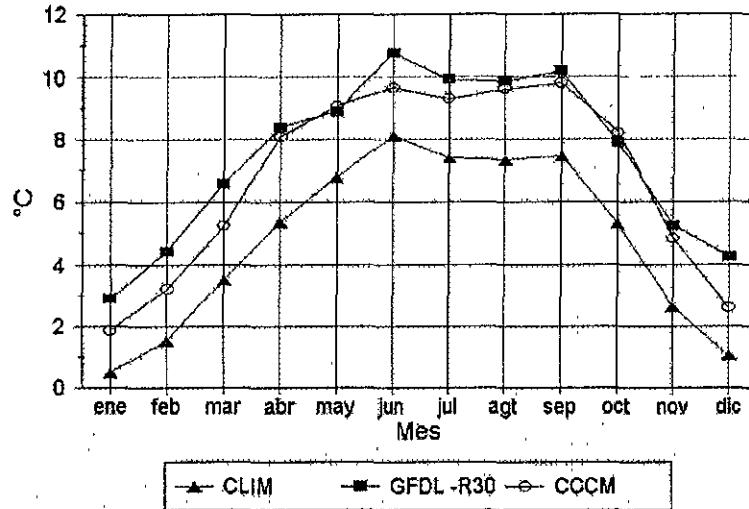


Figura 6.7. Comparación entre la temperatura mínima para el escenario base (clim) y los de cambio climático (GFDL - R30 y CCCM).

Para la precipitación, se observa que los dos modelos simulan una canícula más pronunciada en el mes de julio. Las diferencias de signo en los dos modelos se acentúan más en los meses de verano.

Escenarios Base y de Cambio Climático

Precipitación

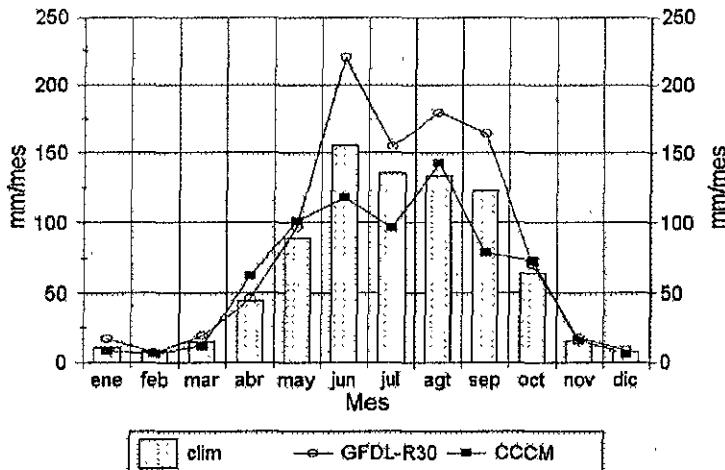


Figura 6.8. Comparación entre la precipitación para el escenario base (clim) y los de cambio climático (GFDL - R30 y CCCM).

VI.2. ESTACIÓN DE CRECIMIENTO.

Para la determinación de la estación de crecimiento se utilizaron los resultados del equipo de trabajo del Departamento del Clima de la Escuela de Agrobiología de la Universidad de Tlaxcala desarrollados por José Jiménez, Maricela Hernández y Saturnino Orozco, La figura 6.9 muestra el periodo de crecimiento para el maíz calculado a partir de los promedios de los datos climáticos para Apizaco de 1961 a 1997. A partir de la misma figura se determinaron las fechas de inicio y fin, tanto de las lluvias como del periodo húmedo ilustradas en las tablas 6.4 y 6.5.

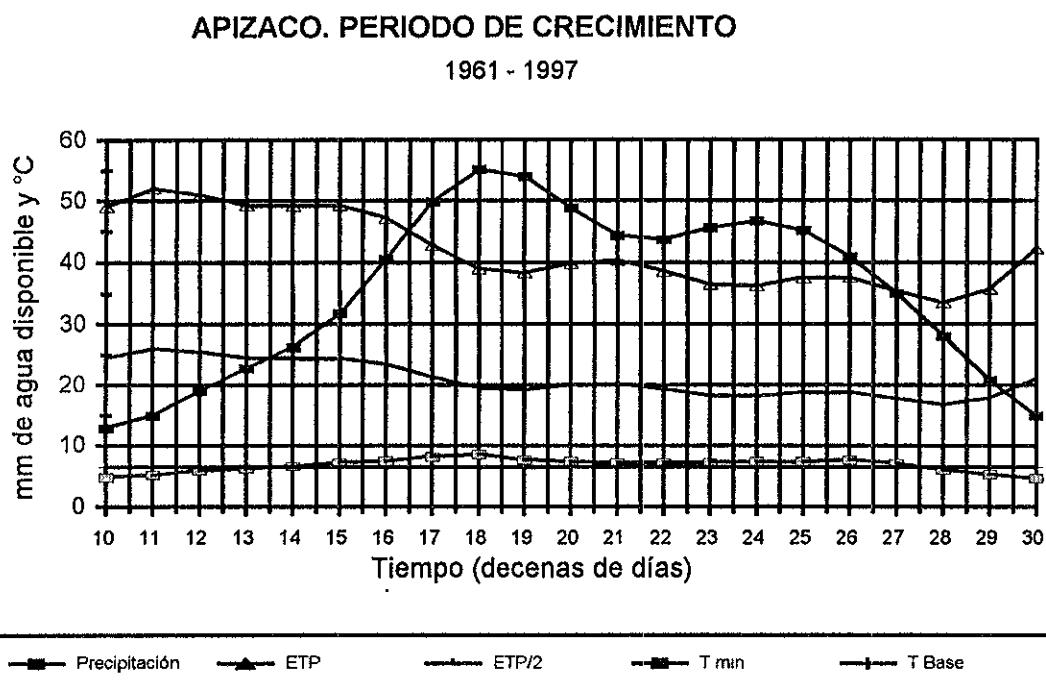


Figura 6.9. Periodo de crecimiento para el maíz en Apizaco. (Jiménez, J, y Hernández, M., 1997)

Tabla 6.4. Inicio, término y duración de la temporada de lluvias.

Estación	Inicio	Término	No. de días
APIZACO	4 de mayo	20 de octubre	170

Tabla 6.5. Inicio, término y duración del periodo húmedo.

Estación	Inicio	Término	No. de días
APIZACO	16 de junio	4 de octubre	121

Como puede observarse de las tablas, la duración del periodo de crecimiento indica que el tipo de variedad que debe emplearse es intermedio, aunque hay productores que siembran maíces tardíos.

VI.3. SUELOS.

El análisis de suelos de dos sitios seleccionados en San Bartolo Matlalohcan, fue desarrollado por Andrea Vera Reyes y Gustavo Flores García del Departamento de Suelos de la Escuela de Agrobiología de la Universidad de Tlaxcala.

Para el Sitio 1 se elaboró la siguiente descripción:

Uso	Agrícola
Clasificación	Fluvisol eútrico (Clasificación FAO)
Pendiente	0 a 5 %
Horizonte Bp (0 a 40 cm)	Color café grisáceo, muy oscuro (10 YR 3/2), Textura franco arenosa (CA). Arena (43 a 80%). Arcilla (0 a 50%). Limo (0 a 50%). Contenido bajo de materia orgánica (menor al 2%). pH muy ligeramente alcalino (7.05). La fracción gruesa menor a 2 mm representa el 33.9%. La densidad aparente es de 1.16 g/cm ³ . Presenta una densidad de raíces muy alta. La topografía es irregular. No hay una reacción visible a la presencia de carbonatos. El drenaje es bueno y la permeabilidad es muy rápida
Horizonte Bt (40 a 70 cm)	Color café negro (10 YR 2/1), Textura franco arcillo-arenosa (RA). Arena (45 a 65%). Arcilla (35 a 45%). Limo (0 a 20%). Contenido bajo de materia orgánica (menor al 2%). pH ligeramente alcalino (7.18). La fracción gruesa menor a 2 mm

	representa el 54.5%. La densidad aparente es de 1.19 g/cm ³ . Presenta una densidad de raíces alta. No hay una reacción visible a la presencia de carbonatos. El drenaje es bueno y la permeabilidad es muy rápida.
Horizonte Cw (70 a 90 cm)	Color café oscuro (7.5 YR 3/2), Textura franco arcillosa (CR). Arena (20 a 45%). Arcilla (27 a 40%). Limo (15 a 53%). Contenido bajo de materia orgánica (menor al 1%). pH muy ligeramente alcalino (7.06). La fracción gruesa menor a 2 mm representa el 58%. La densidad aparente es de 1.22 g/cm ³ . Presenta una densidad de raíces alta. No hay una reacción visible a la presencia de carbonatos. El drenaje es moderado y la permeabilidad es muy rápida
Horizonte C (90 a 110 cm)	Color café - café oscuro (7.5 YR 4/4), Textura franco arcillo-limosa (RL). Arena (0 a 20%). Arcilla (40 a 60%). Limo (40 a 60%). Contenido bajo de materia orgánica (menor al 1%). pH muy ligeramente alcalino (7.12). La fracción gruesa menor a 2 mm representa el 82.9%. La densidad aparente es de 1.5 g/cm ³ . Densidad de raíces nula. No hay una reacción visible a la presencia de carbonatos. El drenaje es deficiente y la permeabilidad es muy rápida.

Para el Sitio 2 se obtuvo la siguiente descripción:

Uso	Agrícola
Clasificación	Fluvisol (Clasificación FAO)
Pendiente	0 a 5 %
Horizonte B (0 a 25 cm)	Color café grisáceo, muy oscuro (10 YR 3/2), Textura franco arenosa (CA). Arena (43 a 80%). Arcilla (0 a 20%). Limo (0 a 50%). Contenido bajo de materia orgánica (menor al 2%). pH muy ligeramente ácido (6.53). La fracción gruesa menor a 2 mm representa el 69%. La densidad aparente es de 1.48 g/cm ³ . Presenta una densidad de raíces alta. La topografía es irregular. No hay una reacción visible a la presencia de carbonatos. El drenaje es deficiente y la permeabilidad es lenta
Horizonte C (25 a 60 cm)	Color café fuerte (7.5 YR 5/6), Textura franco arcillo-arenosa (CRA). Arena (45 a 80%). Arcilla

(23 a 35%). Limo (0 a 28%). Contenido bajo de materia orgánica (menor al 2%). pH muy ligeramente alcalino (7.32). La fracción gruesa menor a 2 mm representa el 71.3%. La densidad aparente es de 1.49 g/cm³. Densidad de raíces nula.. No hay una reacción visible a la presencia de carbonatos. El drenaje es muy deficiente y la permeabilidad es nula.

Con la información anterior se generaron los archivo de suelos que se ilustran en las tablas 6.6 y 6.7.

Tabla 6.6. Archivo de suelo para el sitio 1.

FLUVISOL EÚTRICO MATLALOHCAN P1

0.15	8.80	0.60	76.00	8.8	2.1	1.0	32e-03	104.7	6.67	0.04	1.000
5	0.061	0.153	0.328	0.153	1.000	1.16	2.00	0.0	0.0	7.1	0.0
11	0.061	0.153	0.328	0.153	1.000	1.16	2.00	0.0	0.0	7.1	0.0
11	0.061	0.153	0.328	0.153	1.000	1.16	2.00	0.0	0.0	7.1	0.0
13	0.061	0.153	0.328	0.153	1.000	1.16	2.00	0.0	0.0	7.1	0.0
15	0.030	0.098	0.313	0.098	0.750	1.19	2.00	0.0	0.0	7.2	0.0
15	0.030	0.098	0.313	0.098	0.750	1.19	2.00	0.0	0.0	7.2	0.0
20	0.108	0.179	0.375	0.179	0.750	1.22	0.50	0.0	0.0	7.1	0.0
20	0.070	0.106	0.384	0.106	0.000	1.50	0.50	0.0	0.0	7.1	0.0

Tabla 6.7. Archivo de suelo para el sitio 2.

FLUVISOL MATLALOHCAN P2

0.14	20.68	0.05	76.00	8.8	2.1	1.0	13e-03	111.5	6.67	0.04	1.00
5	0.034	0.085	0.328	0.085	0.750	1.48	2.00	0.0	0.0	6.5	0.0
10	0.034	0.085	0.328	0.085	0.750	1.48	2.00	0.0	0.0	6.5	0.0
10	0.034	0.085	0.328	0.085	0.750	1.48	2.00	0.0	0.0	6.5	0.0
11	0.046	0.092	0.330	0.092	0.000	1.49	1.00	0.0	0.0	7.3	0.0
11	0.046	0.092	0.330	0.092	0.000	1.49	1.00	0.0	0.0	7.3	0.0
13	0.046	0.092	0.330	0.092	0.000	1.49	1.00	0.0	0.0	7.3	0.0

En los archivos anteriores la primera línea corresponde a la clasificación del suelo.

En la segunda línea los datos que se generaron son:

- Albedo del suelo (sin unidades)
- Límite superior de evaporación del suelo (mm)
- Constante de drenado de agua del suelo (fracción de drenado por día)
- Número en la curva de escurrimiento para el cálculo del escurrimiento diario.
- Temperatura ambiente promedio anual (°C)
- Amplitud anual en las medias mensuales de temperatura (°C)
- Factor que reduce la tasa constante para la mineralización del humus del suelo debido a la protección química o física de la materia orgánica (default = 1)
- Coeficiente 1 en solución en estado estable del flujo radial en la captación de las raíces (cm^3/cm de raíz por día) (default = 0.00267).
- Coeficiente 2 en solución en estado estable del flujo radial en la captación de las raíces (cm^3/cm de raíz por día) (default = 58).
- Coeficiente 3 en solución en estado estable del flujo radial en la captación de las raíces (cm^3/cm de raíz por día) (default = 6.68).
- Toma de agua máxima por unidad de longitud de las raíces (cm^3/cm de raíz por día) (default = 0.03).
- Toma máxima de agua por unidad de longitud de raíz por día (cm^3/cm de raíz por día) (default = 0.03)
- Variable para reducir la fotosíntesis aparente atribuida a la fertilidad del suelo (default = 1.00)

A partir de la tercera línea, los datos expresados en el archivo corresponden a:

- Grosor de la capa L del suelo (cm)
- Límite inferior del agua extractable del suelo, en la capa L por la planta (cm^3/cm^3).
- Límite superior de drenaje del contenido de agua del suelo por la capa L (cm^3/cm^3).

- Contenido de agua saturada para la capa L (cm^3/cm^3).
- Contenido de agua para la capa L (cm^3/cm^3).
- Factor de peso para la profundidad del suelo en la capa L que determina el crecimiento de nuevas raíces y su distribución (sin unidades).
- Densidad aparente del suelo en la capa L (g/cm^3).
- Concentración de carbono orgánico en el suelo en la capa L (%).
- Contenido de amoníaco en la capa L (mg de N elemental/kg de suelo).
- Contenido de nitrato en la capa L (mg de N elemental/kg de suelo).
- pH en la capa de suelo L

Los archivos de suelo producidos se incorporaron al archivo general de suelos para México en el archivo SPROFILE. mz2.

VI.4. MANEJO DE SIEMBRA.

Se obtuvo información de tres fuentes para el manejo de siembra:

- resultados de las encuestas efectuadas a los productores
- paquete tecnológico del cultivo del maíz bajo temporal en áreas de media productividad en el estado de Tlaxcala elaborado por el INIFAP
- información proporcionada por Enrique Ramón (comunicación personal), Gerente de Desarrollo Rural, Tlaxcala A.C.

Con base en la información recabada se puede observar en la figura 6.10, que los productores de Apizaco utilizan en su mayoría (un 57 % de los encuestados) variedades criollas, de ciclo intermedio y largo. Las fechas de siembra oscilan entre el 7 y 26 de abril, con ciclos de duración que van de 136 a 200 días. Según las encuestas el rendimiento promedio de 1.9 ton/ha, valor muy cercano

al rendimiento promedio del municipio para los años 1984 a 1994 que es de 2 ton/ha.



Figura 6.10. Relación entre el número de productores y las variedades empleadas.

La fertilización incluye la aplicación de 300 kg/ha de diferentes fertilizantes, principalmente urea y superfosfato de calcio triple, aunque algunos productores emplean fertilizante orgánico. La figura 6.11 ilustra los tipos de fertilizante empleados así como el porcentaje de productores que utiliza cada tipo. Cabe aclarar que aunque la mayoría (95.2%) informa que aplica fertilizante químico a sus cultivos, esta respuesta puede estar influenciada por el hecho de que participan en programas de apoyo al campo que los condicionan al manejo de siembra propuesto por los paquetes tecnológicos, por lo que no necesariamente corresponde a la realidad.

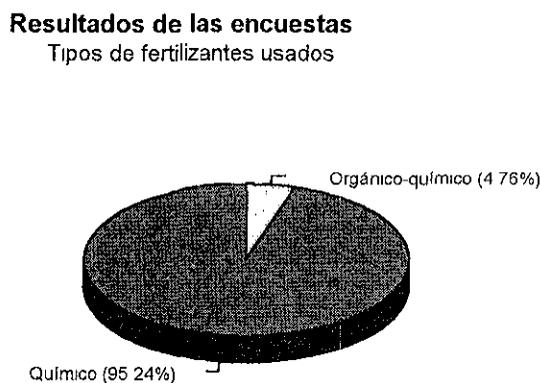


Figura 6.11 Relación entre el número de productores y tipos de fertilizante aplicado.

La primera aplicación de fertilizante se efectúa en la siembra o en la escarda (de 20 a 30 días después de la siembra, la siguiente aplicación se incorpora en la segunda labor que corresponde a 45 días después de la siembra. Es interesante notar que la relación entre cantidad de fertilizante y el rendimiento del cultivo presenta un comportamiento opuesto. La figura 6.12 ilustra lo anterior así como al número de productores que aplican los diferentes tratamientos. La mayoría de las personas que contestaron la encuesta (57.8%) incorporan en promedio 304 kg de fertilizante a sus siembras y obtienen un rendimiento promedio de 1.9 ton/ha.

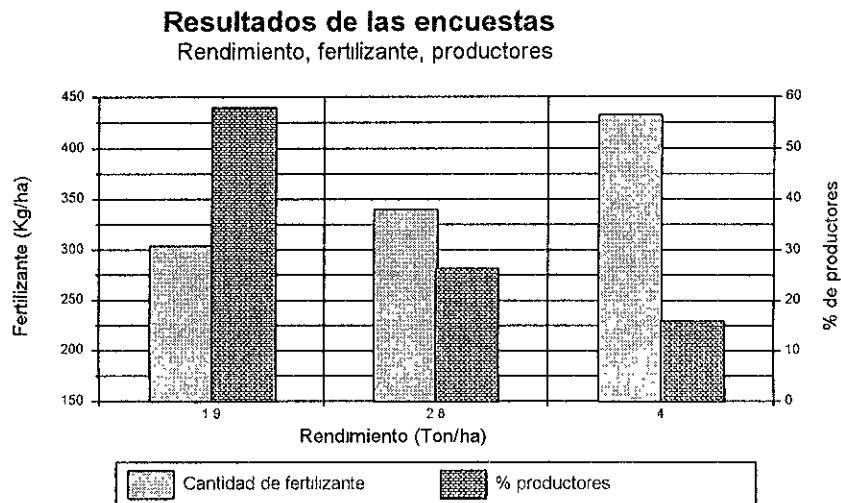


Figura 6.12. Relación entre el número de productores y cantidad de fertilizante aplicado con respecto al rendimiento obtenido

Con los datos obtenidos se elaboraron los archivos de condiciones experimentales para la simulación que se resumen en la tabla 6.8.

VI.5. COEFICIENTES GENÉTICOS.

Se calcularon los coeficientes genéticos para una variedad de ciclo largo y se calibraron con el modelo de tal manera que reprodujese el rendimiento y la fenología, estos datos se encuentran en la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Condiciones experimentales

Evento	Datos en archivos			
Fecha de siembra	Día juliano 105 (15 de abril)			
Profundidad de siembra	5 cm			
Plantas por m ²	5			
Distancia entre los surcos	85 cm			
Suelo	Fluvisol eutrico Matlahocan P1 Fluvisol Matlahocan P2			
Rango de años	1961 -1990 (30 años)			
Variedad genética	Apizaco (calibrada)			
Coeficientes genéticos	P ₁ = 180 P ₂ = 0.50 p ₅ = 550 G ₂ = 432 G ₃ = 5.5			
Fertilizantes	Evento	Día	Cantidad Kg	Tipo
	1	135 escarda	200	Urea
	2	150 labra	100	Urea

VI.6. EXPERIMENTOS DE SIMULACIÓN.

Con base en la información contenida en la tabla 6.8, se corrió el modelo para el escenario base para dos sitios de Apizaco, el primer sitio con el suelo Fluvisol eutrico Matlahocan, indicado como sitio 1, el sitio 2 con un tipo de suelo Fluvisol Matlahocan. Se obtuvo un rendimiento de 2.05 ton/ha para el sitio 1 y de 1.96 ton/ha, los resultados de esta simulaciones se encuentran en la tabla 6.9 y 6.10.

Ya calibrado el modelo se elaboraron las simulaciones para los diferentes escenarios de sensibilidad y de cambio climático, los resultados se muestran en las tablas 6.9a y 6.9b así como en las figuras 6.13 a 6.16.

Tabla 6.9a. Resultados de las simulaciones para el sitio 1 en los diferentes escenarios.

ESCENARIO	Rendimiento (Ton/ha)	Diferencia (%)	Precipitación (mm)	Diferencia (%)	Estación de crecimiento (días)	Diferencia (%)
BASE	2.05		647.07		161.23	
S1 (T+2°C)	2.29	11.57	541.73	-16.28	135.13	-16.19
S2 (T+4°C)	2.18	6.52	441.63	-31.75	113.00	-29.91
S3 (P+20%)	2.06	0.49	776.70	20.03	161.50	0.17
S4 (P-20%)	2.02	-1.68	516.37	-20.20	160.67	-0.35
S5(T+2°C y P+20%)	2.30	12.42	650.23	0.49	135.40	-16.02
S6 (T+2°C y P -20%)	2.22	8.26	431.63	-33.29	134.30	-16.70
S7 (T+4°C y P+20%)	2.19	6.68	529.93	-18.10	113.00	-29.91
S8 (T+4°C y P -20%)	2.11	3.00	352.20	-45.57	112.40	-30.29
GFDL-R30	2.27	10.61	649.47	0.37	129.33	-19.78
GFDL-R30(EF)	2.38	16.24	649.47	0.37	129.33	-19.78
CCCM	2.25	9.86	484.93	-25.06	134.30	-16.70
CCCM(EF)	2.48	21.18	486.93	-24.75	135.40	-16.02

Tabla 6.9b. Resultados de las simulaciones para el sitio 2 en los diferentes escenarios.

ESCENARIO	Rendimiento (Ton/ha)	Diferencia (%)	Precipitación (mm)	Diferencia (%)	Estación de crecimiento (días)	Diferencia (%)
BASE	1.97		647.27		161.47	
S1 (T+2°C)	2.20	11.90	541.93	-16.27	135.37	-16.17
S2 (T+4°C)	2.06	4.50	441.63	-31.77	113.00	-30.02
S3 (P+20%)	1.71	-13.43	744.30	14.99	156.13	-3.31
S4 (P-20%)	1.90	-3.69	515.07	-20.42	159.77	-1.05
S5(T+2°C y P+20%)	2.17	10.39	650.40	0.48	135.60	-16.02
S6 (T+2°C y P -20%)	2.10	6.59	431.73	-33.30	134.27	-16.85
S7 (T+4°C y P+20%)	1.99	1.09	529.93	-18.13	113.00	-30.02
S8 (T+4°C y P -20%)	1.91	-2.81	351.20	-45.74	111.97	-30.66
GFDL-R30	2.17	10.16	649.47	0.34	129.33	-19.90
GFDL-R30(EF)	2.28	15.67	649.47	0.34	129.33	-19.90
CCCM	2.05	4.22	481.47	-25.62	133.30	-17.45
CCCM(EF)	2.34	18.73	487.00	-24.76	135.57	-16.04

Como se observa de los análisis de sensibilidad (escenarios S1 a S8), para el sitio 1 en el escenario S4 (P-20%) se presenta un decremento en los rendimientos, esto nos permite suponer que una baja en la precipitación será un factor limitante en suelos con una mayor capacidad de drenaje (figuras 6.13 y 6.14).

A partir del análisis de los resultados, se puede afirmar que el efecto de los cambios climáticos simulados tienen un impacto positivo, aunque el incremento que se obtiene en los rendimientos es muy reducido. Así pues, el factor climático más importante es la temperatura, ya que un incremento en ella seguramente restringiría la presencia de heladas tempranas, que son el evento más temido por los productores del Estado (figura 6.6).

Cabe resaltar que las predicciones de los dos modelos con respecto a la precipitación son contrarias, ya que mientras el modelo GFDL-R30 no pronostica un decremento en la precipitación, en el modelo canadiense se observa un decremento mayor al 20% para algunos meses.

La figura 6.15 muestra los incrementos en los rendimientos en los escenarios de cambio climático, más notorio cuando se da el efecto fertilizante que proporciona el aumento en la concentración atmosférica del CO₂, particularmente para el caso del modelo canadiense que mejora el rendimiento en un 20%.

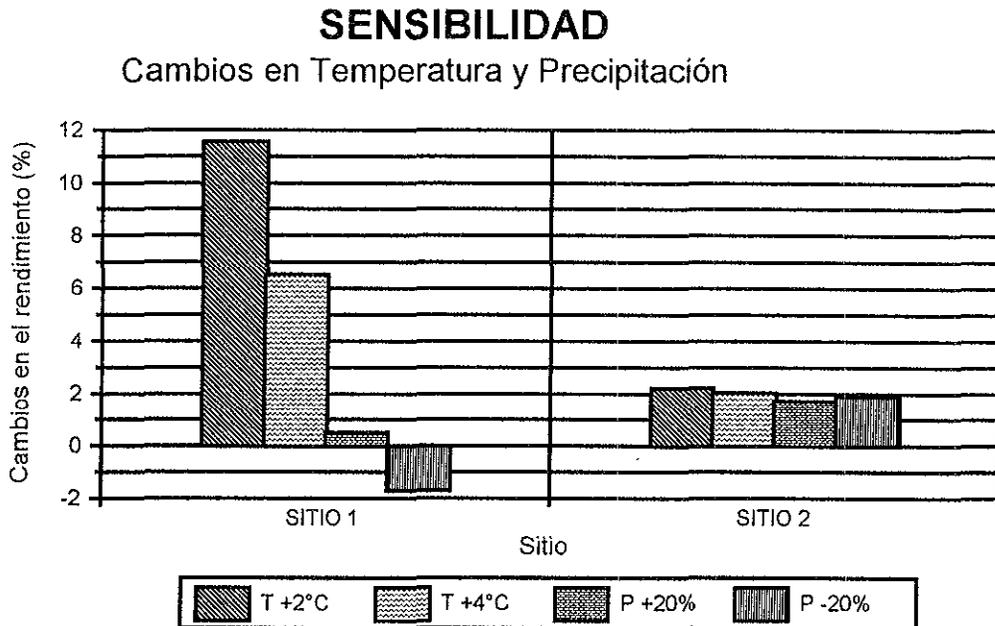


Figura 6.13. Diferencia porcentual en el rendimiento simulados para 4 escenarios de sensibilidad

SENSIBILIDAD

Cambios en Temperatura + Precipitación

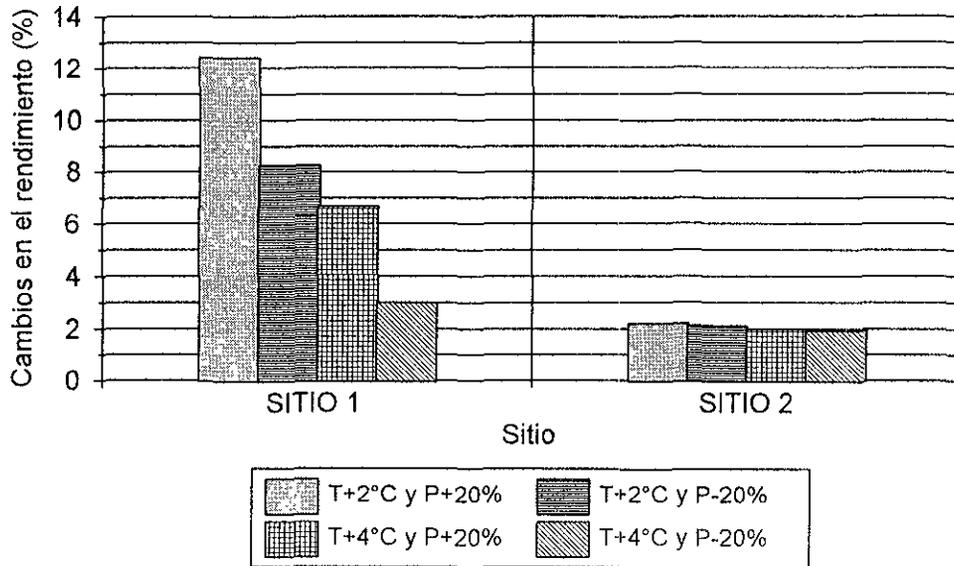


Figura 6.14. Diferencia porcentual en el rendimiento simulados para 4 escenarios de sensibilidad

El efecto con mayor impacto se presenta en la duración de estación de crecimiento, representado en la figura 6.16, ya que con los escenarios de cambio climático se reduce el periodo de crecimiento para la variedad planteada, lo cual indica que el cultivo alcanza su madurez fisiológica en un tiempo menor y, por tanto, sería posible introducir otro tipo de variedades de ciclo vegetativas más largo y con una fase de llenado de grano mayor que aumentase los rendimientos sin necesidad de usar medidas que eleven el costo del cultivo. Lo anterior es consistente con los resultados mostrados para las variaciones en la temperatura mínima (figura 6.8).

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Rendimiento simulado

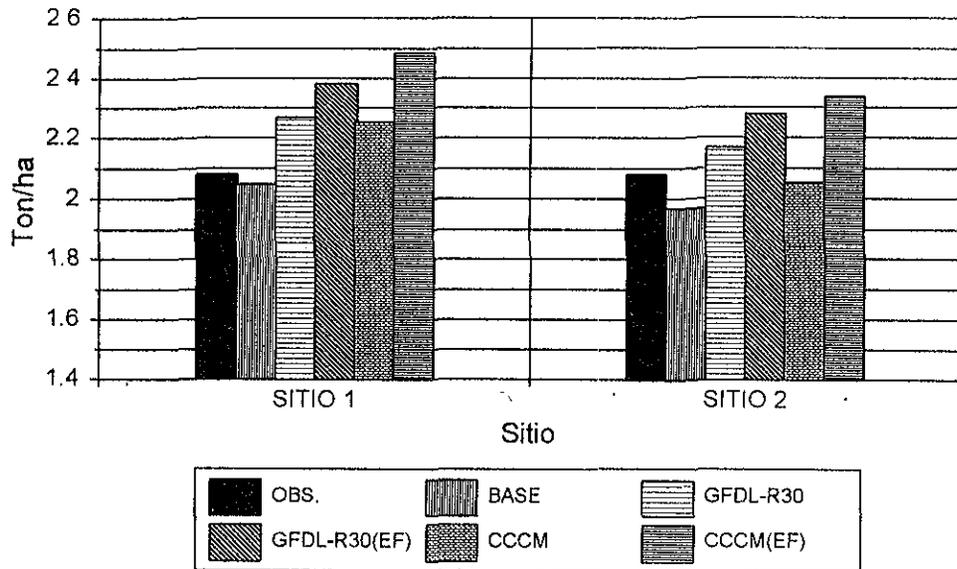


Figura 6.15. Rendimientos simulados para los diferentes escenarios de cambio climático

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Duración de la estación de crecimiento

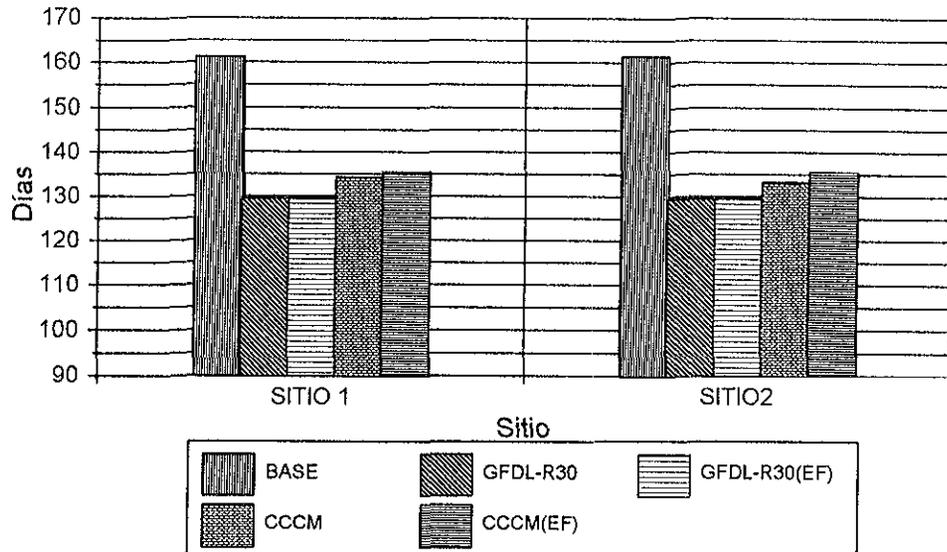


Figura 6.16. Duración de la estación de crecimiento para los diferentes escenarios de cambio climático

VI.7. ADAPTACIÓN.

A pesar que el impacto de un cambio climático en la localidad de Apizaco no representa un decremento en el rendimiento, se introdujo una medida de adaptación, que no implicara un costo excesivo, con el objeto de determinar si sería posible mejorar los rendimientos bajo esas condiciones favorables.

Debido a que el principal impacto del cambio climático se manifiesta en la duración del periodo de crecimiento se propone como única adaptación la utilización de variedades de ciclo largo e intermedio.

Se probaron diferentes variedades con los dos modelos y en los dos sitios de estudio. En las tablas 6.10 y 6.11 se muestran las variedades que tuvieron mejor respuesta bajo condiciones de cambio climático.

Para el sitio 1 resultó que la variedad calibrada para la localidad de Coatepec, Ver. (Conde, *et al*, 1997) proporcionaría un incremento en los rendimientos de hasta el 44%. Para el sitio 2, se usaron dos variedades, una para cada modelo: la de Coatepec, para el modelo GFDL - R30 y la variedad calibrada para Atlacomulco, Edo. Mex., para el modelo CCCM. Este último caso se puede explicar si se observa que, para el modelo CCCM, a partir de septiembre la planta puede presentar estrés de agua, preferentemente en suelos someros como los del sitio 2. Los resultados se ilustran en las figuras 6.17 y 6.18.

Tabla 6.10 Resultados de los experimentos de adaptación para el Sitio 1.

ESCENARIO	Variedad	Rendimiento (Ton/ha)	Incremento (%)	Estación de crecimiento (días)
BASE	Apizaco	2.05		
GFDL-R-30	Coatepec	2.76	34.46	169
GFDL-R30(EF)	Coatepec	2.95	43.82	170
CCCM	Coatepec	2.49	21.40	173
CCCM (EF)	Coatepec	2.80	36.36	177

Tabla 6.11 Resultados de los experimentos de adaptación para el Sitio 2.

ESCENARIO	Variedad	Rendimiento (Ton/ha)	Incremento (%)	Estación de crecimiento (días)
BASE	Apizaco	2.05		
GFDL-R-30	Coatepec	2.50	22.12	169
GFDL-R30(EF)	Coatepec	2.55	24.18	170
CCCM	Atacomulco	2.31	12.61	150
CCCM (EF)	Atacomulco	2.59	26.14	151

ADAPTACIÓN SITIO 1

Variedad de semilla de ciclo largo

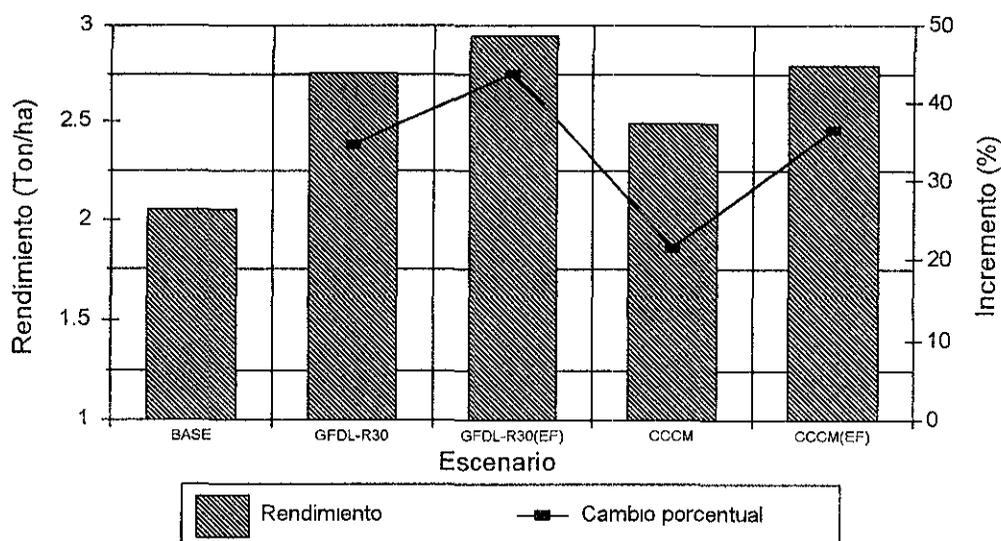


Figura 6.17. Cambios en los rendimientos del Sitio 1 al utilizar semilla de ciclo largo

ADAPTACIÓN SITIO 2

Variedades de ciclo largo e intermedio

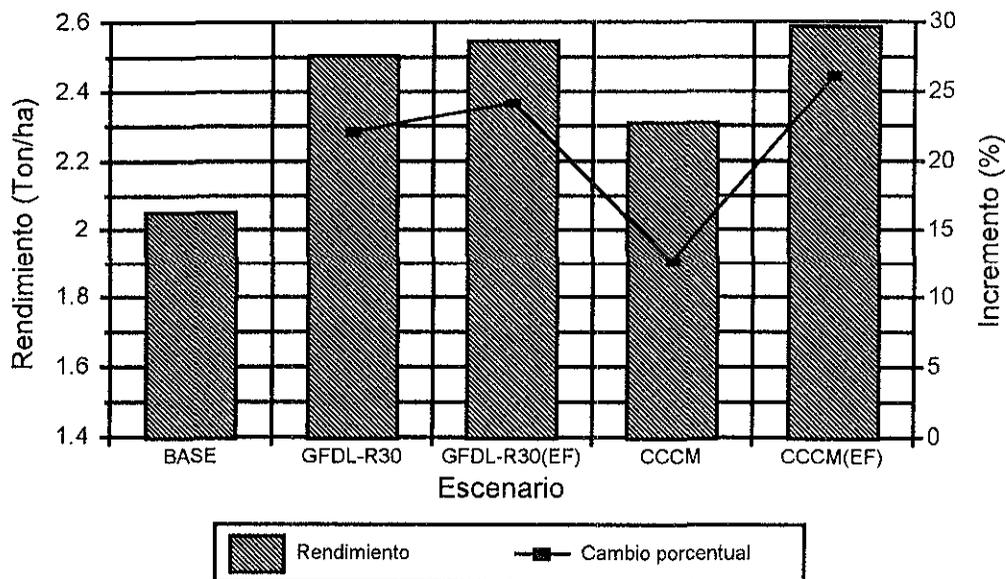


Figura 6.18. Cambios en los rendimientos del Sitio 2 al utilizar semillas de ciclo largo e intermedio

El beneficio obtenido al modificar la variedad utilizada en las simulaciones se ilustra en la figura 6.19 donde se muestra la diferencia porcentual en los rendimientos del maíz bajo condiciones de cambio climático sin adaptación y con la adaptación propuesta.

Es interesante resaltar que el cambio climático ya conlleva un beneficio en los rendimientos sin necesidad de introducir una modificación al manejo de la siembra. Sin embargo, al cambiar la variedad de semilla por una de ciclo largo, se observa un incremento entre el 20 y el 45% en los rendimientos con respecto al escenario base.

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Resultados de la medida de adaptación

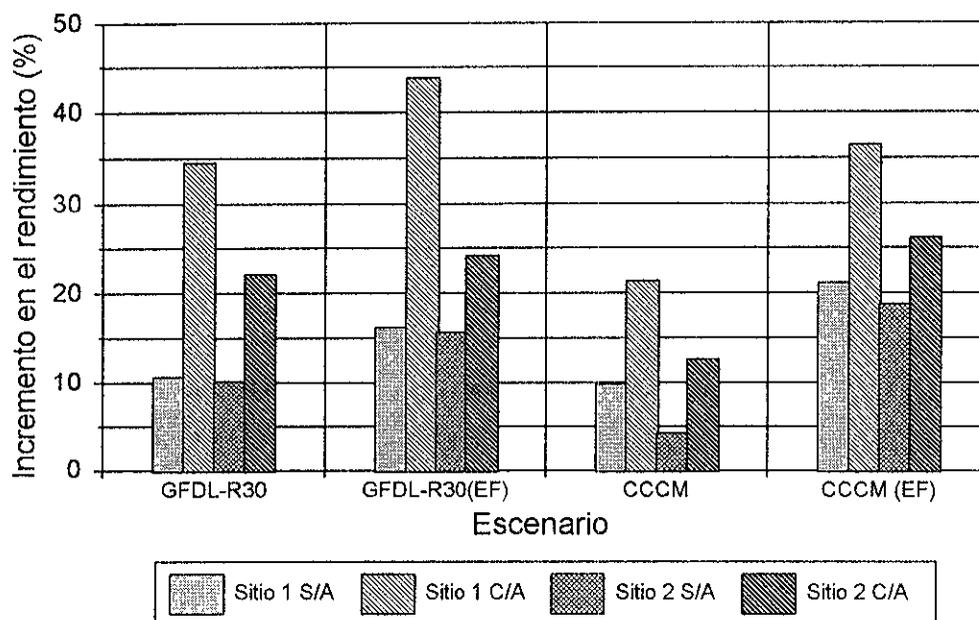


Figura 6.19. Cambios en los rendimientos como resultado de la medida de adaptación.

Otro aspecto que resulta interesante discutir es el efecto que un mismo cambio climático tiene sobre diferentes sitios de la localidad. Es claro que el suelo del sitio 1 resulta más apto para el cultivo que el suelo del sitio 2 para las mismas condiciones climáticas, particularmente por las características de profundidad y drenaje.

El modelo se aplica al estudio puntual, por lo que el tipo de suelo puede reflejar diferencias considerables al simular los cambios en el rendimiento bajo efectos climáticos. En la figura 6.20 se manifiesta muy claramente lo anterior, ya que al analizar el beneficio de la medida adaptativa aplicada, es notorio que el incremento en el rendimiento es significativo para el sitio 1, en donde se obtienen incrementos hasta del 25%, que aunado al el efecto fertilizante del incremento del CO₂ puede representar hasta un 44% más en el rendimiento actual.

Para el sitio 2, los beneficios apenas alcanzan un 15%, en el mejor de los casos, que al sumarlo al incremento debido al aumento en la concentración del CO₂, puede llegar a ser hasta un 26% superior al rendimiento actual.

CAMBIO DE VARIEDAD

Efecto en el rendimiento

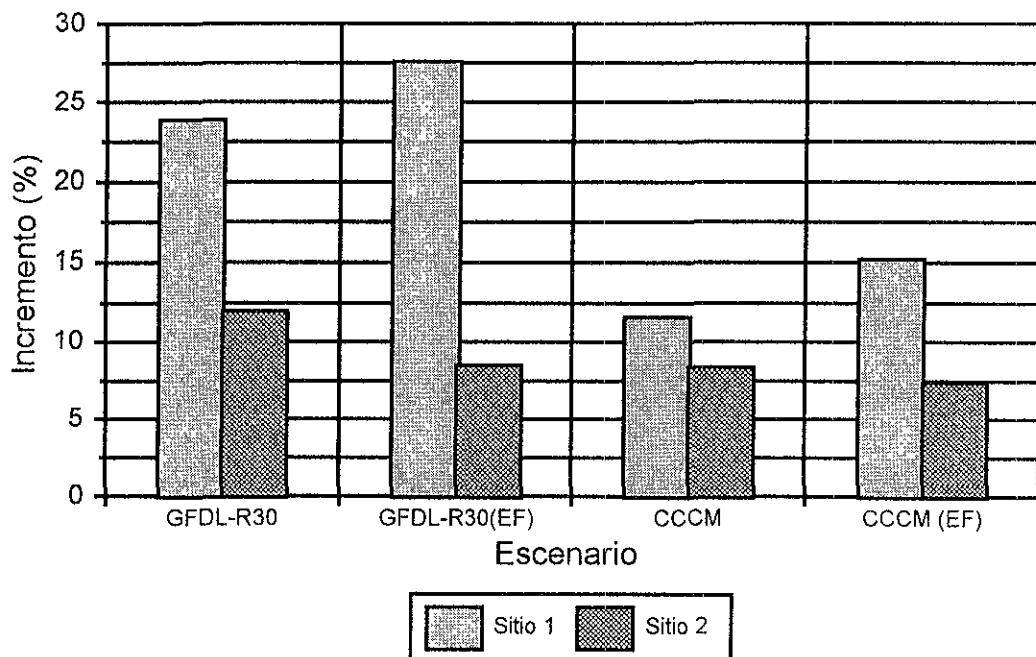


Figura 6.20. Incremento en los rendimientos simulados de cambio climático por la modificación de la variedad de semilla

En resumen, los resultados más relevantes de este trabajo son:

1. Del análisis del comportamiento decadal de las temperaturas máximas y mínimas, se observa una tendencia al calentamiento,
2. De acuerdo a los datos recabados en el campo, el fenómeno climático que mayor impacto negativo tiene en el cultivo del maíz, es la presencia de heladas durante el ciclo de esta planta,

3. Debido a que los escenarios de cambio climático pronostican incrementos en la temperatura, se supone una disminución en la frecuencia de heladas, lo que se ve reflejado en los cambios positivos en los rendimientos para los sitios estudiados,
4. En condiciones de cambio climático se espera un aumento en la estación de crecimiento, lo que permitirá utilizar variedades de maíz de ciclo largo con una fase de llenado de grano mayor. Esto repercutiría positivamente en los rendimientos, sin necesidad de emplear mayores insumos.
5. La respuesta ante el cambio climático y a la medida adaptativa propuesta es diferencial, dependiendo del tipo de suelo.

CAPÍTULO VII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

VII.1. Condición actual de la producción agrícola y de maíz en México.

La producción agropecuaria es de gran importancia para cualquier país pues es el medio por el cual se abastece de alimentos a una población. Una inadecuada producción de alimentos conlleva a grandes problemas de desabasto y obliga al país a importar alimentos, motivo por el cual es importante asegurar niveles crecientes de producción, principalmente de productos agrícolas.

Las tendencias actuales de la política agraria han derivado en una reducción de la capacidad productiva del campo mexicano (Calva-Téllez, 1997), la producción agrícola en 1995 resultó ser un 16.5% inferior a la de 1981. En kilogramos *per capita* la producción de los 8 principales granos: maíz, frijol, trigo, arroz, soya, cártamo, ajonjolí y sorgo, se redujo en un 32.4% con respecto a la de 1981 (figura 7.1) lo cual se refleja en las importaciones de alimentos que aumentaron de 1,790 millones de dólares de 1982 a 7,274.4 millones de dólares para 1994 y a 8, 271.4 para 1996. El maíz no escapa a esta tendencia y esta información se puede observar en la tabla 7.1 y en la figura 7.2.

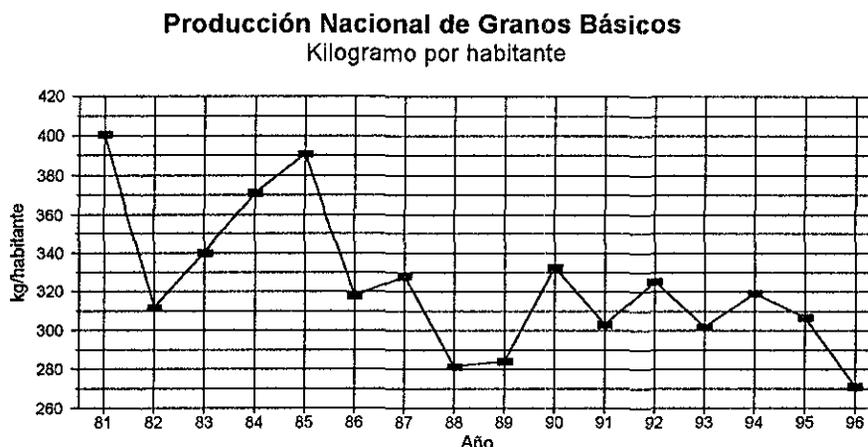


Figura 7.1. Tendencia de la producción nacional de granos básicos (Calva-Tellez, 1997).

Tabla 7.1 Valor del maíz importado.

Año	Valor del grano importado (miles de dólares)
1988	393,819
1989	440,944
1990	435,346
1991	178,529
1992	183,311
1993	66,738
1994	369,183
1995	373,041
1996	1,062,068

Importación de maíz

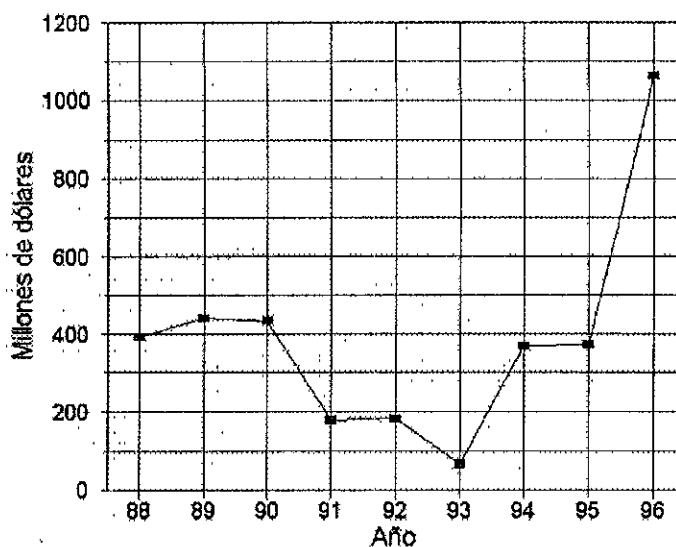


Figura 7.2. Tendencia en la Importación de maíz. (Calva-Tellez, 1997).

La razón de lo anterior, según Calva-Tellez (1997), fue en primer lugar la apertura comercial generada durante el sexenio de 1989-1994 combinada con la política del "peso fuerte a ultranza" lo que provocó un abrupto descenso de los precios reales de los productos agropecuarios.

Entre 1981 y 1994, la producción de maíz perdió el 37.6% del poder adquisitivo en los últimos meses de 1995 y los primeros de 1996. La devaluación del peso de 1994 y el alza de los precios internacionales de los granos dieron un respiro a los productores rurales ya que el maíz llegó a cotizarse hasta \$1,850 por tonelada pero finalmente los precios internacionales regresaron a su nivel habitual llevando a la baja los precios nacionales. Entre noviembre de 1996 y enero de 1997 se registró el mayor deterioro con una disminución del 53.9% con respecto a los precios observados en 1991.

Otro aspecto a considerar fue el desplome del intercambio agropecuario que condujo a un repliegue de las acciones estatales de fomento rural. La inversión pública en este rubro disminuyó entre 1981 y 1996 afectando la expansión de la infraestructura así como el mantenimiento a la ya existente.

El tercer elemento ha sido la insuficiencia y carestía del crédito agrícola, de tal manera que se ha observado una reducción a los créditos asignados de 19193 millones de nuevos pesos en 1981 a 9922.2 millones de nuevos pesos en 1996 que afectaron principalmente a los campesinos más necesitados.

Al deterioro de la política agraria deben aunarse los efectos siniestros de algunos eventos climáticos extremos como serían las sequías y las inundaciones que se han producido durante los últimos años. La SAGAR (1998), ha declarado que la precipitación acumulada a nivel nacional del primero de enero al 30 de abril de 1998 es un 40% menor a la media histórica para este periodo. La falta de lluvias en abril y la primera quincena de mayo se traduce en el retraso del inicio de las siembras en los valles altos, lo cual incide principalmente en la región centro del país que abarca los estados de México, Puebla, Hidalgo, Guanajuato, Tlaxcala, Morelos y Querétaro.

Para el caso del maíz se estima una disminución de la producción en el ciclo primavera-verano que estaría en el rango de 1 a 2 millones de toneladas que representan el 14% del volumen programado de 14.7 millones de toneladas para este ciclo.

Es claro que cualquier alternativa para la modificación de los patrones de cultivo tiene que considerar dos aspectos claves: la rentabilidad del cultivo y los riesgos generados por los eventos climáticos siniestros.

VII.2. Propuestas para la recuperación del campo.

Actualmente hay diversas propuestas para la recuperación del campo, las principales se pueden clasificar en tres tipos.

- Propuestas institucionales.
- Propuestas generadas por economistas
- Propuestas de agricultura tradicional y agroecológicas.

1 Propuestas institucionales.

Podemos incluir dos tipos, las generadas por los tomadores de decisiones en la política gubernamental (SAGAR, Comisión Nacional del Agua, etc.) y las presentadas por investigadores directamente vinculados a las actividades del campo, INIFAP por ejemplo. Las primeras generalmente corresponden a programas de apoyo y programas emergentes.

La SAGAR, en mayo de 1998, presentó las acciones a desarrollar para mitigar y prevenir el impacto de las condiciones climáticas que básicamente constan de dos puntos:

- Aplicación de medidas emergentes que a corto plazo mitiguen los efectos en el ingreso y la actividad de los productores y
- Medidas de carácter estructural que en el mediano plazo reduzcan riesgos y fortalezcan la capacidad del sector para enfrentar contingencias futuras.

A partir de marzo de 1997, en que se registran condiciones climáticas adversas, el Gobierno Federal y los Gobiernos de los Estados establecieron *el Programa Emergente para Fenómenos Meteorológicos* en los cuales se otorgan apoyos para:

- Generación de jornales
- Semillas para resiembra
- Mejoras en los predios
- Conservación de suelos
- Poda y rehabilitación de frutales y cafetos
- Rehabilitación de infraestructura
- Suplementación alimentaria para ganado
- Construcción de bordes y aguajes.

Los programas de apoyo se orientan a productores con escasa dotación de tierra y con pequeños hatos ganaderos.

A nivel estructural se propone desarrollar actividades que contemplen:

- La reconversión de cultivos con base en las características agroecológicas de los Distritos de Desarrollo Rural.
- La elaboración de escenarios posibles de condiciones climatológicas y las opciones de cultivos para ellos.

- Reducir los limitantes a la reconversión de cultivos tales como disponibilidad de semilla y maquinaria.
- Promover del uso de tecnologías adecuadas a la conservación de los suelos, retención de humedad y cambio de las variedades de ciclo corto.

INIFAP Tlaxcala ha producido varios trípticos y folletos de información a los productores en donde se evalúa la aptitud del estado a los diferentes cultivos (Legorreta, 1998). De la superficie de labor en el Estado, el 90% de la producción se encuentra bajo condiciones de temporal durante el ciclo primavera-verano, de ella más de 120 mil hectáreas son de maíz, más de 70 mil de trigo y cebada y 10 mil de frijol, haba y el resto de los cultivos.

A partir de los mapas de aptitud de los cultivos se concluye que para el maíz de temporal sólo alrededor de 23 mil hectáreas serían clasificadas como de buen potencial productivo, mientras que para los cultivos de trigo y cebada más de 50 mil y 60 mil hectáreas, respectivamente, se consideran aptas. En el caso del frijol, 21 mil hectáreas estarían en condiciones aptas. La tabla 7.2 resume las características de cada cultivo.

Tabla 7.2. Características de los principales cultivos en Tlaxcala.

CULTIVO	REQUERIMIENTO DE AGUA (MM ACUMULADOS)	PROFUNDIDAD DEL SUELOS	PENDIENTE DEL SUELO	FECHA DE SIEMBRA	DURACIÓN DEL CICLO	HECTÁREAS CON ALTO POTENCIAL PRODUCTIVO
Maíz	600	profundos (mayores a 1 metro)	menores al 4% para labranza tradicional y hasta el 6% para labranza de conservación	Antes del 30 de abril	160-200	23 000
Cebada	450	Poco profundos (menores a 40 cm)	de 0 a 8%	30 de junio	120-130	60 000

Tabla 7.2. Características de los principales cultivos en Tlaxcala (continuación).

CULTIVO	REQUERIMIENTO DE AGUA (MM ACUMULADOS)	PROFUNDIDAD DEL SUELOS	PENDIENTE DEL SUELO	FECHA DE SIEMBRA	DURACIÓN DEL CICLO	HECTÁREAS CON ALTO POTENCIAL PRODUCTIVO
Trigo	600	Poco profundos (menores a 40 cm)	de 0 ,a 8%	20 de mayo a 5 de junio	114-129	50 000
Frijol	450 a 500	sin dato	sin dato	hasta 30 de junio	100-135	21 000

De los mapas de aptitud para el estado de Tlaxcala se desprende que los cultivos de trigo y cebada presentan mejores características para el clima del estado (Figura 7.3). INIFAP también ha producido paquetes tecnológicos para los diferentes tipos de cultivos.

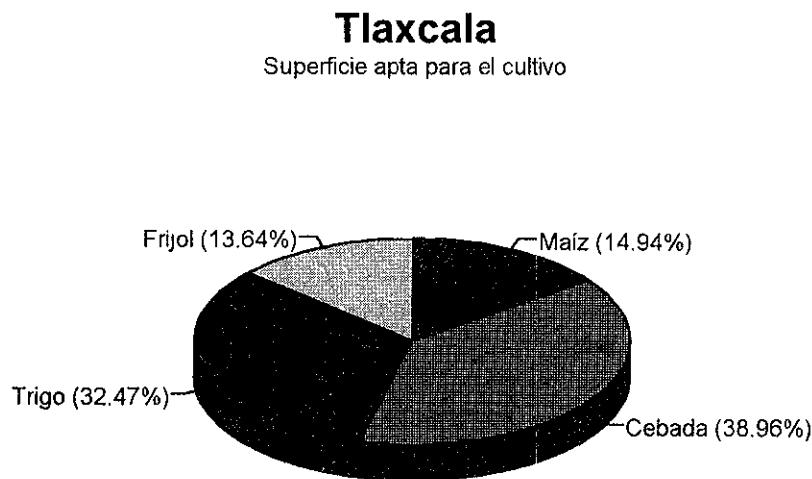


Figura 7.3. Superficie potencialmente apta para los cultivos (INIFAP-Tlaxcala)

Cabe señalar que las propuestas tecnológicas no se han podido implantar debido a la renuencia de los productores al cambio de cultivo. Esta negativa

tiene bases culturales y económicas que las respaldan ya que los agricultores al seguir sembrando maíz aseguran, por lo menos, la subsistencia además de que no tienen certeza de que si cambian de cultivo a trigo y cebada exista mercado para sus productos.

2 Propuestas generadas por los economistas.

Calva Téllez (1997) propone un programa de 5 puntos para superar el desastre agrícola, que son:

- Reincorporación al cultivo de las tierras laborables que en la actualidad se encuentran ociosas por incosteabilidad de las siembras y la falta de capital de trabajo.
- La ampliación de la frontera agrícola, incorporando las hectáreas dedicadas a la ganadería extensiva o encubiertas con monte bajo, susceptibles de incorporarse al cultivo.
- La rehabilitación de las infraestructura previamente construida.
- La construcción de nuevas obras de irrigación.
- La elevación de los rendimientos por unidad de superficie.

Con respecto a los rendimientos de los cultivos propone:

- Desarrollo de la investigación científica que genere variedades mejoradas, insumos mejores y nuevas prácticas agrícolas de almacenamiento, etc.
- La reproducción, en escala comercial y volúmenes adecuados, de los elementos materiales de las nuevas tecnologías (semillas mejoradas, fertilizantes, etc.).
- Difusión o divulgación de los nuevos paquetes tecnológicos por región y producto.
- Adopción de nuevas tecnologías por los agricultores.

A pesar de que las propuestas anteriores presentan grandes similitudes con las institucionales, Calva señala que las evidencias empíricas así como las investigaciones económicas agrícolas indican que la concentración de tierra en grandes unidades de producción no necesariamente elevan la producción y eficiencia agrícola, además de que no son congruentes con la situación de México. Por ello, sostiene que un modelo de desarrollo agropecuario fundado en una política de fomento que promueva la aceleración del cambio tecnológico sobre una estructura de pequeñas granjas familiares, sería mas factible a la realidad de México.

3 Propuestas de agricultura tradicional y agroecológicas.

Un tercer tipo de propuesta a la producción agrícola es la que se basa en los sistemas de agricultura tradicional. Trujillo (1990) establece las ventajas del tricultivo tradicional sobre el monocultivo, bajo condiciones siniestras en Tlaxcala. En su trabajo demuestra que el tricultivo de maíz, haba y calabaza presenta mejor respuesta productiva que el monocultivo del maíz bajo condiciones de heladas y sequías severas.

Altieri y Trujillo (1987) elaboran un estudio agroecológico de la producción de maíz en Tlaxcala en el que se incorporan las funciones de los árboles, magueyes, maleza y fauna acompañante a la producción del maíz, así como las ventajas de los diferentes tipos de rotación de cultivos empleados por los productores de Tlaxcala. A pesar de que su trabajo no incluye los efectos de la variabilidad climática, destaca las ventajas del uso de los sistemas tradicionales e identifica el beneficio de las especies acompañantes de los cultivos en otros aspectos diferentes a los de la obtención de altos rendimientos. Por ejemplo, la tabla 7.3 muestra diferentes plantas no cultivadas que son utilizadas por los agricultores de Tlaxcala. Algunas de ellas son especies cultivadas en áreas específicas pero rara vez exceden una décima de hectárea.

Tabla 7.3. Plantas no cultivadas usadas por los productores en Tlaxcala

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Usos
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> ¹	Alegría	Ingrediente en la elaboración de dulces
<i>Amaranthus hybridus</i>	Quelite	Forraje ²
<i>Argemone mexicana</i>	Chicalote	Remedio para los ojos e infecciones de la piel
<i>Aristida divaricata</i>	Hierba de la virgen (pasto)	Medicinal
<i>Artemisa absinthius</i>	Ajenjo	Digestivo, Mata parásitos intestinales
<i>Bidens pilosa</i>	Rosilla	Forraje
<i>Brassica campestris</i>	Colza	Alimento para pájaros. Fuente de aceite industrial
<i>Cedronella mexicana</i>	Toronjil	Digestivo
<i>Chenopodium ambrosioides</i> ³	Epazote	Saborizante, remedio para parásitos intestinales
<i>Chenopodium graveolans</i> ⁴	Epazote zorrillo	Para parásitos intestinales. Diurético
<i>Cyperus</i> sp.	Tule y Coquillo	Tejido de petates y canastas
<i>Encelia mexicana</i>	Acahual	Forraje
<i>Hedeoma piperita</i>	Yerbabuena	Desórdenes intestinales, bronquitis. Antiespasmódico
<i>Heterotheca inuloides</i>	Árnica	Ayuda a la circulación sanguínea. Recupera a los músculos de contusiones
<i>Ipomoea stans</i>	Cacaxtlapa	Alivia dolores estomacales y menstruales Sedante
<i>Marrubium vulgare</i>	Marrubia	Aperitivo, remedio para la diarrea, bronquitis e inflamación hepática
<i>Matricaria parthenium</i>	Manzanilla	Aperitivo, antiespasmódico
<i>Opuntia</i> spp.	Nopal	Frutos y hojas comestibles
<i>Origanum vulgare</i>	Orégano	Condimento, antiséptico
<i>Ruta graveolens</i>	Ruda	Para dolores hepáticos e intestinales. Para el control de piojos
<i>Solanum mozinianum</i>	Tlanochtle	Bayas usadas para consumo humano y con propósitos ceremoniales
<i>Thymus vulgaris</i>	Tomillo	Cura la gastroenteritis. Antiséptico

¹ Planta que se puede cultivar en áreas que no exceden 0.1 ha. (Altieri y Trujillo, 1987).

² Planta que se utiliza también como alimento.

³ *Teloxys ambrosioides*.

⁴ *Teloxys graveolans*.

Si bien los rendimientos generados por los estudios de Altieri y Trujillo no se expresan en toneladas por hectárea, lo cual hace difícil su interpretación y su comparación con otros trabajos, las conclusiones a las que llega deben tomarse en cuenta para elaborar futuras líneas de investigación.

Altieri y Trujillo proponen que se debe conservar:

- La tendencia de los productores a manejar policultivos y sistemas de propósitos múltiples tanto a pequeña escala como a gran escala.
- El uso racional de las colinas y las pendientes al través de sistemas de terrazas permanentes, especialmente con la incorporación de bordes de *Agave spp.*
- El mantenimiento de la diversidad genética de los campos, que no sólo reducen la amenaza de la pérdida de los cultivos, sino que constituyen depósitos *in situ* de germoplasma.
- La diversidad de técnicas de manejo de los recursos (terrazas, chinampas, etc.) y la apropiación de sistemas que resuelvan los barreras ambientales de sitios específicos.

VII.3. Principales limitaciones del trabajo

A pesar de que los resultados obtenidos con el modelo de simulación no reflejan un impacto negativo en la producción de maíz de temporal en Apizaco, Tlaxcala, estos no se pueden dar por concluyentes debido a múltiples obstáculos generados en la aplicación del método, las interrogantes con mayor significado que faltan por resolver podrían resumirse en:

1. Adecuación del modelo Ceres-Maize a las condiciones específicas de México, con respecto a:

- a) Modificación de la temperatura base. El modelo en la actualidad sólo se puede correr al considerar la temperatura base en 8°C, mientras que la temperatura base para Tlaxcala se calcula entre 6.5 y 7°C. Este aspecto esperamos que pronto pueda ser corregido puesto que ya se está trabajando en ello.
 - b) No simula de manera adecuada las variedades mexicanas. Actualmente, se tiene que calibrar el modelo con base en la reproducción de la fenología y el rendimiento más que a partir de los coeficientes genéticos determinados para ellas.
 - c) La incapacidad del modelo para simular las condiciones de rotación de cultivos, por lo que sólo se simulan condiciones de monocultivo.
 - d) El modelo no considera el efecto de las plagas y por tanto no puede introducir el impacto del cambio climático en el desarrollo de las mismas.
2. Falta de experiencia en el diseño y aplicación de las encuestas con respecto a que:
- a) Se diseñaron preguntas demasiado específicas con respecto al manejo de siembra que limitaron la información que podrían proporcionar los productores.
 - b) No se utilizó el lenguaje apropiado para la tenencia de la tierra lo cual llevó a no poder interpretar los datos obtenidos.
 - c) Fue demasiado ambiciosa con la cantidad de información que se quería recabar, lo cual condujo a que la información climática resultara demasiado limitada debido al tiempo que se requería para registrar cada encuesta.

Aún con las carencias señaladas, es posible afirmar que los resultados obtenidos son congruentes con las investigaciones anteriores, (Parry, 1993; Resenzweig et al, 1993; Liverman, 1994; Conde, 1997) y reafirman la

consideración que en México, para localidades con altitudes elevadas, el cambio climático no tendría impactos negativos sino que inclusive podría tener efectos positivos.

Sin embargo y a pesar de estos resultados, el panorama en el campo mexicano no es optimista, ya no sólo en condiciones de cambio climático futuras sino en la actualidad, y en este trabajo se considera que éste es el punto principal a discutir dado que la respuesta de la medida adaptativa no podría ser solución ni siquiera en los tiempos actuales.

VII.4. Conclusiones

La producción de maíz en Tlaxcala depende fuertemente del clima. Los bajos rendimientos, la gran superficie sembrada y, en comparación, la reducida superficie cosechada son indicativos de que este cultivo no se desarrolla en la actualidad ni exclusiva ni fundamentalmente para su comercialización.

La producción para el autoconsumo, altamente vulnerable a los eventos climáticos extremos (sequías, heladas, inundaciones, etc.) y al posible cambio climático, se realiza empleando semillas locales, adaptadas a las condiciones y patrones culturales, aunque existe cada vez más la tendencia a ser sustituidas por semillas híbridas con aplicación de fertilizantes químicos.

Emplear el Modelo CERES - Maize en los estudios de este cultivo es importante en tanto que permite simular los rendimientos actuales y los proyectados ante un calentamiento global. Incluye también el estudio detallado de las diferentes

etapas de desarrollo del maíz, permitiendo entonces calcular las carencias de nitrógeno o de agua que se presenten en él.

Sin embargo, la complejidad y en ocasiones carencia de datos referentes al clima, los suelos, la fenología y los rendimientos históricos de los sitios en estudio, obliga a hacer generalizaciones en detrimento de los resultados obtenidos. También las semillas locales difícilmente pueden ser modeladas por el CERES - Maize.

Una conclusión importante de este trabajo es que el cambio climático no necesariamente tendría un impacto negativo en el cultivo de maíz, particularmente para las regiones altas, vulnerables a las heladas, como es el caso de Apizaco. Sin embargo, este resultado tendría que ser analizado en el marco de los estudios de erosión del suelo y de la posible propagación de plagas ante el cambio climático.

La medida adaptativa que se sugiere permitiría el incremento en los rendimientos del maíz de temporal, buscando que esta medida fuera económicamente viable. Sin embargo, esto último podría ser revertido si se retiraran los subsidios al cultivo de maíz en el país. Lo anterior es indicativo de que las condiciones y producción del campo podrían ser más fuertemente impactadas por los cambios en la política económica aplicada que a un posible cambio climático. En cualquier caso, un calentamiento global futuro, resalta la urgencia de diseñar estrategias mucho más coherentes que las existentes en la política agraria actual que permitieran, tanto aumentar la rentabilidad en el campo, como la incorporación de aquéllas prácticas tradicionales que no empobrecen a los ecosistemas de la región.

En estudios posteriores sería necesario enriquecer las bases de datos requeridas para el funcionamiento óptimo del modelo tanto para maíz como para otros cultivos como el frijol y el trigo y, en especial, que simulara el desarrollo de policultivos. Por otra parte, y para enmarcar los resultados que se obtienen, también sería necesario incluir como factores importantes en el análisis las tendencias históricas de la producción real, las proyecciones de la política agraria en México y, fundamentalmente, las adaptaciones que durante las variaciones climáticas extremas históricamente han aplicado los productores afectados.

Los estudios como el que aquí se presenta, resaltan la necesidad de análisis multidisciplinarios, de tal manera que las propuestas que se generen tengan un enfoque integral. Sólo con esta perspectiva es posible incorporar las prácticas tradicionales que transforman menos agresivamente al medio con las ventajas tecnológicas que ofrecen los avances en las investigaciones agrícolas y ecológicas. Lo anterior permitiría crear un sistema productivo eficiente en el campo, que no se enfrentara ni al ecosistema ni a la cultura tradicional, esto es, se tendría un sistema sustentable.

Aunque un posible calentamiento global futuro pudiera suponerse muy lejano, lo cierto es que estudios como el presente parten de un principio de precautoriedad, esto es, en el remoto caso de que no se diera un cambio climático, las medidas para mitigar o adaptar dicho cambio son en sí positivas, consistentes con el mejoramiento del entorno humano y su bienestar.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Pérez, R., *et al.* 1991. *La Vegetación del Estado de Tlaxcala, México.* Jardín Botánico Tizatlán. Gobierno del Estado de Tlaxcala. 31 pp.
- Adem, J. 1982. Simulation of annual cycle of climate with a thermodynamic numerical model. *Geof Int.* 21(3):229-247.
- Adem, J. 1992. *Estimación del Cambio Climático Global.* *Ciencia.* 43:9-11.
- Altieri, M. A.; Trujillo, J. 1987. The Agroecology of Corn Production in Tlaxcala, México. *Human Ecology.* 15(2):189-220.
- Asociación Periodística Síntesis. 1993. *Historia Mínima de Tlaxcala.* México. 87 pp.
- Calva-Tellez, J. L., 1997. *Crisis Agrícola en México: 1982-1996. Diagnóstico y propuesta de solución.* Reporte de Investigación No. 38. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 16 pp.
- Conde, C., 1996. *Escenarios básicos y regionales. Memorias del Segundo Taller del Estudio de País: México.* Cuernavaca, Mor. 101-111 p.
- Conde, C. et al. 1997. Vulnerability of Rainfed Maize Crops in Mexico to Climate Change. *Climate Research.* 9(1):17-23.
- Delgadillo-Macías, J. (ed.). 1996. *Desastres Naturales. Aspectos Sociales para su Prevención y Tratamiento en México.* UNAM. México. 203-208 p.
- García-Samper, M. A., 1991. Los otomies-matlames del Norte de Tlaxcala, S. XVI. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 4o. y 5o. Simposios Internacionales de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1988. Octubre de 1989.* Gobierno del Estado de Tlaxcala. 168-176 p.
- Gay, C., Menchaca, L., Conde, C. 1991. El Efecto Invernadero y México. *Ciencias.* 22:3-10.
- Henderson-Sellers, A., McGuffie, K. 1991. *Introducción a los Modelos Climáticos.* Ediciones. Ed. Omega. Barcelona.

- Hernández-Rojas, F. C., 1991. Sistemas y Técnicas Agrícolas Tradicionales en Tlaxcala. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 4o. y 5o. Simposios Internacionales de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1988. Octubre de 1989.* Gobierno del Estado de Tlaxcala. 289-295 p.
- Houghton, J. T., B. A. Callander, S. K. Varney (eds.) 1992. *Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assesment.* Cambridge University Press. 24 pp.
- IBSNAT Proje.1986. *Technical Report 5. Documentation for IBSNAT Crop Model Input and Output Files. Version 1.0.*Dept Agron. Soil Sci. College of Trop. Agr. And Human Resources. Univ. Hawaii. 53 pp.
- INEGI. 1986. *Síntesis Geográfica de Tlaxcala.* México. 91 pp.
- INEGI. 1993. *Apizaco. Estado de Tlaxcala. Cuaderno Estadístico Municipal.* México. 99 pp.
- INEGI. 1996. *Atlas Agropecuario del Estado de Tlaxcala. VII Censo Agropecuario 1991.* México. 80 pp.
- INIFAP-Produce. *Paquete Tecnológico del Cultivo de Maiz bajo Temporal en Áreas de Media Productividad en el Estado de Tlaxcala.*
- IPCC. 1997. Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC: Houghton, T., Meira-Filho, L.G., Griggs, D.J., Maskell, K.(eds). Documento preparado bajo los auspicios del Grupo de Trabajo I del IPCC: 7 - 10 p.
- Jaramillo, V.J. 1994. El Cambio Global: Interacciones de la Biota y la Atmósfera. *Ciencias.* **35**:4-14.
- Jones, C.A., R. Kiriny (eds.) 1986. *CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growht and Development.* Texas, A & M University Press. College Station, Texas. 194 pp.
- Leopold, S. A.1982. Fauna Silvestre de México. Aves y Mamíferos de Caza. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México. 127-584 p.

- Legorreta-Padilla, F. 1998. *Conversión productiva del Temporal para Tlaxcala. Opciones para reducir el impacto de Eventos climáticos en el Agro*. Tríptico de divulgación. SAGAR, AGROTLAX e INIFAP. Fundación Produce, Tlaxcala.
- Liverman, D., Dilley, M., O'Brian, K., Menchaca, L. 1994. *Possible Impacts of Climate Change on Maize Yields in Mexico*. En: *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*. Cynthia Rosenzweig and Ana Iglesias, Editors. EPA.
- Magaña, V. 1994. El Pronóstico del Tiempo para los próximos días, meses, años... *Ciencias*. **35**:15-22.
- Martínez, T. 1997. *La Diáspora Tlaxcalteca. Colonización Agrícola del Norte Mexicano*. Gobierno del Estado de Tlaxcala. 197 pp.
- McGuffie, K, A. Henderson-Sellers. 1997. *A Climate Modelling. Premier*. Second Edition. John Wiley & Sons. England. 48 - 53 p.
- Mitchell, J.F.B. 1989. The "Greenhouse" Effect and Climate Change. *Rev. of Geophys. American Geophysical Union*. 27(1): 115-139.
- Nava-Rodríguez, L. 1988. *Geografía de Tlaxcala*. Talleres Gráficos de Tlaxcala. México. 41 pp
- Nava-Rodríguez, L. 1991. *Historias Tlaxcaltecas*. Talleres Gráficos del Estado de Tlaxcala. México. 104 pp.
- Parry, M. 1993. *Climate change and the future of Agriculture*. International Journal of Environment and Pollution. Vol. 3. Nos. 1 - 3, pp. 13-30.
- Pearce, F. (Ed.). 1996. *Explaining Climate Change- A summary of IPCC Second Assessment Report (1995)*. United Kingdom. WWF-UK. 24 pp.
- PNUMA, 1995. *Para Comprender el Cambio Climático: Guía Elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas*. PNUMA/IUCC/95/1. Suiza. 20 pp.
- Ramos, Y. (Coordinadora). 1994. *Instrumentos Agrícolas Tradicionales de Tlaxcala*. INAH. México. 118 pp.

- Rendón-Garcini, R., 1990. Producción y comercialización de pulque en dos haciendas de los llanos de Apan. Segunda Mitad del Siglo XIX. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 3o. Simposio Internacional de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1987.* Gobierno del Estado de Tlaxcala. 57-66 p.
- Ritchie, J., U. Singh, D., Godwin and I. Hunt. 1989. *A User's Guide to CERES - Maize V2.10.* Michigan State University. International Fertilizer Development Center. Muscle Shoals, USA. 86 pp.
- Rodríguez-Maldonado J. J., A. L: Bárcena-Briones. 1991. Influencia de dietas regionales en el crecimiento y biomasa del acocil (*Cambarellus montezumae*) bajo condiciones controladas. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 4o. y 5o. Simposios Internacionales de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1988. Octubre de 1989.* Gobierno del Estado de Tlaxcala. 296-299 p.
- Rodríguez-Maldonado, J. J., G. Vázquez-Calva. 1991. Evaluación de dos dietas regionales en el cultivo del ajolote (*Urodela: Ambystoma tidae*) bajo condiciones semi-intensivas. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 4o. y 5o. Simposios Internacionales de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1988. Octubre de 1989.* Gobierno del Estado de Tlaxcala. 300-306 p.
- Rojas-Martínez, I. 1997. *Guía para la Producción de Maíz de Temporal en Tlaxcala.* Folleto Técnico No. 4. SAGAR, AGROTLAX, INIFAP. Fundación Produce, Tlaxcala. 9 pp.
- Rosenzweig, C. , A. Iglesias (eds). 1994. *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study.* United States Environmental Protection Agency.
- Rosenzweig, C., et al. 1993. *Climate Change and World Food Supply.* Research Report No. 3. Environmental Change Unit. University of Oxford. 28 pp.
- Rosenzweig, C., Jones, J. 1990. *Climate Change Crop Modeling Study.* Handbook. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy,

- Planning and Evaluation. U.S. Agency for International Development S&T/AGR/RNRM. 31 pp.
- Rosenzweig, C., M. L. Parry, G. Fisher, K. Frohberg. 1993. *Research Report No. 3 Climate Change and World Food Supply*. Environmental Change Unit. University of Oxford. 28 pp.
- Rosenzweig, C., M.L. Parry. 1994. Potential Impact of climate change on world food supply. *Nature*. 367(13): 133 - 138.
- SAGAR. 1998. *El Impacto del Clima en el Sector Agropecuario*. Ponencia presentada en el Taller de Prevención de Desastres. Mayo de 1998 en Lázaro Cárdenas, Michoacán. México. 14 pp.
- Schneider, S.H., Dickinson, R.E. 1974. Climate Modeling. *Rev. Geophys. and Space Phys.* Vol. 12(3): 447-493.
- SEMARNAP. 1995. *MÉXICO. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México. 149 pp.
- Smit, B., I. Burton, R. Klein. 1998. *The Science of Adaptation: A Framework for Assessment. Background Paper for the IPCC Adaptation Workshop*. San José de Costa Rica. 16 pp.
- Smith, J. 1994. *Climate Change Scenarios*. (in press)
- SPPa. 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Fenómenos Meteorológicos*. 2da. Edición. Escala 1: 500,000. México.
- SPPb. 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Suelos*. 2da. Edición. Escala 1: 250,000. México.
- SPPc. 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Regionalización Fisiográfica*. 2da. Edición. Escala 1: 250,000. México.
- SPPd. 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Geológica*. 2da. Edición. Escala 1: 250,000. México.

- SPPe. 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Vegetación y Uso Actual*. 2da. Edición. Escala 1: 250,000. México.
- SPPf. 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Posibilidades de Uso Agrícola*. 2da. Edición. Escala 1: 250,000. México.
- SPPfg 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Posibilidades de Uso Forestal*. 2da. Edición. Escala 1: 250,000. México.
- SPPh. 1987. Dirección General de Geografía del Territorio Estatal. *Carta Estatal. Posibilidades de Uso Pecuario*. 2da. Edición. Escala 1: 250,000. México.
- Trautmann, W., 1991. Los Cultivos Indígenas de Tlaxcala y la Mesa Central: Tipología y problemas de su datación. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 4o. y 5o. Simposios Internacionales de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1988. Octubre de 1989.* Gobierno del Estado de Tlaxcala. 62-65 p.
- Trujillo, J., 1990. Adaptación de sistemas tradicionales de producción de maíz a las condiciones "siniestranes" de Tlaxcala. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 3o.. Simposio Internacional de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1987.* Gobierno del Estado de Tlaxcala. 67-69 p.
- Villalpando J.F.,1984. *Metodología de Investigación en Agroclimatología*. Notas del Curso de Orientación para Aspirantes a Investigadores del INIP, INIF, e INIA. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss (eds). 1995. *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific - Technical Analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 427 - 467.

Zarate-Temoltzi, F. 1992. *Evaluación del Potencial Productivo del Maíz, frijol, Trigo y Cebada en el Estado de Tlaxcala, de acuerdo al enfoque FAO/UNESCO de Zonas Agroecológicas*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29, Tlaxcala. 209 pp.