



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Posibles impactos del cambio y variabilidad
climáticos en la producción de cacahuate
(*Arachis hypogaea* L.) en el municipio de
Huaquechula, Puebla.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

MABEL SÁNCHEZ MATÍAS



Tutora: M. en C. Montserrat Gispert Cruells

Co-tutora: Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez

2006



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.

Hoja de datos del jurado

<p>1. Datos del alumno Sánchez Matías Mabel 01 244 44 5 15 02 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 09951533-3</p>
<p>2. Datos del tutor M. en C. Montserrat Gispert Cruells</p>
<p>3. Datos del co-tutor Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez</p>
<p>4. Datos del sinodal 1 Ingeniero Alejandro Ismael Monterroso Rivas</p>
<p>5. Datos del sinodal 2 M. en C. Argelia Díaz Rico</p>
<p>6. Datos del sinodal 3 Biólogo Hugo Rodríguez González</p>
<p>7. Datos del trabajo escrito Posibles impactos del cambio y variabilidad climáticos en la producción de cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i> L.) en el municipio de Huaquechula, Puebla. 144 p 2006</p>

Agradecimientos

Agradezco a la UNAM por proporcionarme una educación superior integral

A mis sinodales por la orientación académica.

Agradezco a toda mi familia (padres, hermanos, abuelos, tíos, primos, sobrinos) por haberme apoyado de todas las maneras posibles: moral, emocional, económicamente.....

A mis padres Marina Violeta Matías Vega y Jaime Sánchez Molina por haberme proporcionado una buena educación que me permitiera acceder a una carrera universitaria.

A mi abuela Lucía Vega por haber contribuido de manera fundamental en mi desarrollo personal.

A mi hermano Norman por proporcionarme de todo: cariño, fiestas, nuevos amigos, enojos y toda la gama de emociones, por ser el rebelde de la familia, por darme información relevante para este estudio....

A mi hermano Porfirio (Neto) gracias por la conversación de lo cotidiano que me ayudo tanto en esta difícil etapa.

Gracias a todas las personas que han contribuido a mi evolución personal: Alma, Susana, Luis, Aníbal, Daniela, Edgar, María Elena, Karina, Juan Carlos, Roberto y Alejandra, Kali, Ivan, Marlene, Kenia, Vanesa, Fabiola, Alexandra, Mariano, Citlali,, Marisol, Aradid, a mi amigo de los ojos de regalo (Tarito), a mis amigos geógrafos (Julián e Ismael), Marta (mi cuñada), Lene, Yunuen (mi prima consentida).....

A mis compañeros de aventura

A mis compañeros de danza

Dedicatorias

A mis padres

A mi abuelita Lucía

A mis hermanos Norman y Porfirio



Representación otomí de la semilla de cacahuete.

Por el suelo hay una compadrita
Que ya nadie se para a mirar
Por el suelo hay una mamacita
Que se muere de no respetar
Pachamama te veo tan triste
Pachamama me pongo a llorar

Esperando la última ola
Cuídate no te vayas a mojar
Esperando la última rola
Mamacita te invito a bailar

Canción: Por el suelo

INDICE GENERAL

Introducción i – iv

Capítulo 1. Cambio y variabilidad climáticos en México

1.1 Introducción	1
1.2 Fenómenos de la variabilidad climática en México relevantes para la agricultura	2
1.3 Impactos de la variabilidad climática.....	5
1.4 Cambio climático.....	9
1.5 Impactos del cambio climático.....	15
1.6 Impactos del cambio y variabilidad climática en la agricultura.....	18
1.7 La adaptación	22

Capítulo 2. Localización y características naturales de la región

2.1 Localización	24
2.2 Geología	25
2.3 Suelos	26
2.4 Clima	27
2.5 Hidrología	28
2.6 Vegetación	30
2.7 Fauna	30

Capítulo 3. Historia Regional

3.1 Panorama general de la situación mesoamericana en la zona centro.....	32
3.2 Antecedentes prehispánicos de la región	33
3.3 La conquista y la colonia.....	35
3.4 Cosmovisión	37
3.5 Contexto histórico moderno	39
3.6 Agricultura tradicional	41

Capítulo 4. Origen y situación del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.)

4.1 Origen y centro de domesticación del cacahuete	47
4.2 Situación del cacahuete	50

Capítulo 5. Características biológicas del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.)

5.1 Descripción de <i>Arachis hypogaea</i> L.	55
5.2 Fenología de <i>Arachis hypogaea</i> L.	60
5.3 Efectos ambientales sobre el cultivo	67
5.4 Fisiología de <i>Arachis hypogaea</i> L.	67
5.5 Fisiología del estrés hídrico	71
5.6 Nutrición	73
5.7 Enfermedades y plagas	74

Capítulo 6. Simulación del sistema climático y de la interacción cultivo-clima.

6.1 Modelos de cambio climático	76
6.2 Escenarios de Cambio Climático	76
6.3 Modelos de interacción cultivo-clima.....	78
6.4 El modelo agrícola CROP WAT	79

Capítulo 7. Método.

7.1 Obtención y validación de los datos meteorológicos	82
7.2 Caracterización del clima regional de acuerdo a los datos meteorológicos obtenidos.....	83
7.3 Relación entre el episodio cálido del ENSO y la precipitación de la región	84
7.4 Escenarios de cambio climático	85
7.5 Los experimentos de simulación	86
7.6 Metodología para la realización de las entrevistas	86

Capítulo 8. Resultados

8.1 Obtención y validación de los datos meteorológicos	91
8.2 Caracterización del clima regional	94
8.3 Relación entre el episodio cálido del ENSO y la precipitación de la región	109
8.4 Escenarios de cambio climático	111
8.5 Resultados de los experimentos de simulación	119
8.6 Las adaptaciones	128
Conclusiones	v-viii
Referencias	131

Introducción

Después de los años setentas la producción agrícola empezó a declinar en México y el aumento demográfico excedió el crecimiento agrícola; así en 1975 el déficit de maíz llegó a ser de 1.5 millones de toneladas de modo que la importación de maíz se hizo necesaria. Hechos como éste muestran que nuestro país no es autosuficiente en la alimentación.

Entender las presiones económicas, ecológicas y climáticas que sufre el campo mexicano es una pieza clave para el desarrollo de México; esta tesis constituye una aproximación a tales problemáticas pero con mayor énfasis en las cuestiones climáticas y ecológicas.

Para empezar a comprender los problemas que atañen al campo mexicano resulta relevante su caracterización: Existen básicamente dos tipos de productores: aquellos progresistas y modernos quienes suministran la mayor parte de los productos agrícolas comerciales y los productores semi-comerciales y de subsistencia quienes proveen de alimentos solamente a sus localidades. Las diferencias entre unos y otros abarcan: economía, tecnología y escalas de producción. Sin embargo, la agricultura mexicana se asienta sobre la producción de temporal.

Este estudio enfoca a la producción de temporal y consecuentemente a los campesinos semi-comerciales; dado que la producción cacahuatera de Huaquechula constituye un ejemplo típico de la agricultura de México resulta relevante para analizar los impactos, las vulnerabilidades, los riesgos climáticos y las adaptaciones de las poblaciones que practican este tipo de agricultura.

Los motivos por los cuales se eligió esta población son en primera instancia personales pero también porque es una región con una antigua tradición agrícola que data de tiempos prehispánicos, continuada durante la colonia (se constituyó como un importante centro agropecuario en esta época), lo que asegura que entre los productores haya una relevante veta de conocimiento tradicional con respecto al cultivo en cuestión y del saber agrícola en general.

La presente investigación tiene el objetivo general estimar los posibles impactos históricos y futuros del cambio y variabilidad climáticos sobre la producción de cacahuate del municipio de Huaquechula, Puebla. Así como evaluar la percepción de los campesinos respecto al cambio y variabilidad climáticos ya que la actuación de los productores influye

decisivamente en el rendimiento del cultivo y éste depende en gran medida de su experiencia, conocimiento y tradición.

Los objetivos particulares del estudio incluyen: caracterizar el clima regional promedio mediante la generación de un escenario base, detectar los cambios en el clima percibidos por los productores, estimar los efectos de las condiciones climáticas promedio de la región sobre la producción cacahuatera, evaluar los impactos históricos del fenómeno El Niño sobre la producción de cacahuate en la región de Huaquechula, construir escenarios de cambio climático de la región de estudio para los años centrados en el 2020 y 2050, analizar los posibles impactos futuros del cambio climático sobre la producción de cacahuate en la región de Huaquechula mediante simulaciones hechas por el modelo agrícola CROPWAT y describir algunas estrategias adaptativas de los productores ante la variabilidad y el cambio climático.

Se requiere un conocimiento previo para lograr los objetivos arriba mencionados. Así el capítulo 1 tiene la función de explicar conceptos referentes al cambio y variabilidad climáticos, contiene descripciones de los fenómenos que forman parte de la variabilidad climática relevantes para la agricultura y ayuda a visualizar algunos impactos del cambio y variabilidad climáticos en distintos sectores. El capítulo 2 cumple la misión de describir las características naturales del sitio de estudio tales como: geología, suelos, clima, hidrología, vegetación y fauna.

Dado que para la presente investigación es muy importante la mentalidad de los productores, se necesita de una caracterización de la cultura local que considere aspectos históricos prehispánicos, coloniales y modernos; de estos intereses surge el capítulo 3. Por otra parte la producción de cacahuate se encuentra en un contexto económico y el capítulo 4 proporcionará una primera aproximación a éste.

El capítulo 5 muestra: Los requerimientos climáticos, edafológicos y nutricionales que juegan un papel fundamental en el desarrollo del cacahuate (*Arachis hypogaea* L.), los posibles efectos del cambio y variabilidad climáticos sobre la producción de cacahuate debidos a propiedades intrínsecas de la planta, las etapas vulnerables del cacahuate ante ciertas condiciones climáticas y finalmente nos proporcionará una comprensión general de otros factores biológicos que afectan la productividad del cacahuate tales como las enfermedades o plagas.

El capítulo 6 resulta fundamental para entender los modelos y escenarios de cambio climático, así como para lograr una correcta simulación y una adecuada interpretación de los resultados del modelo agrícola CROPWAT. Mediante las simulaciones de CROPWAT (modelo agrícola) se obtiene la disminución en rendimiento dadas ciertas condiciones climáticas. Con esto se puede evaluar los efectos históricos de años Niño y años normales pero también las posibles pérdidas o ganancias producto de un cambio climático futuro en el contexto de los modelos (HADCM y CGCM) para los escenarios A2 y B2.

Los métodos usados en esta investigación se explicitan en el capítulo 7, en éste se explica: cómo se obtuvo y validó la información meteorológica, la generación del escenario base, el modo en que se estableció una relación entre el fenómeno El Niño y la precipitación de la región, se generaron los escenarios de cambio climático, la realización de los experimentos de simulación y finalmente la metodología para la realización de entrevistas.

En los resultados se concretan los objetivos planteados, éstos se presentan en el capítulo 8, aquí se presentan de manera integrada los resultados producto de análisis estadístico y de simulaciones con las percepciones de los productores acerca de cambio y variabilidad climáticos, de los impactos, de los riesgos así como las adaptaciones generadas para disminuir los impactos y los riesgos. En este capítulo se evalúa la confiabilidad de los datos usados, lo que permite una correcta simulación; se muestra el escenario base generado a partir de un promedio de 30 años de las variables climáticas: Temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa, insolación, velocidad del viento; también presentan los resultados de las simulaciones nos darán una primera aproximación a las reducciones en rendimiento esperadas para la región según el modelo CROPWAT condiciones climáticas promedio, considerando los suelos y la variedad de cacahuate; por otra parte las simulaciones en CROPWAT con escenarios de sensibilidad nos permiten un acercamiento a la reacción del cacahuate ante cambios en precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

Para estimar los impactos históricos sobre la producción cacahuatera se usaron los resultados de simulaciones en CROPWAT, las reducciones observadas (calculadas a partir de datos del INEGI e INIFAP) y la memoria colectiva de los campesinos quienes recuerdan los años en que la producción fue gravemente siniestrada. Del análisis de éstos resultados

se desprende el riesgo que implica el fenómeno El Niño para la región y sus impactos sobre la producción de cacahuete.

Los posibles impactos futuros del cambio climático se evaluaron a partir de los resultados de simulaciones en CROPWAT hechas en base a los modelos HADCM y CGCM con sus respectivos escenarios A2 y B2 para los años centrados en 2020 y 2050. (Para mayor información de los modelos y escenarios consultar capítulo 6)

Así, la aportación más importante del estudio se refiere a involucrar las opiniones, conocimiento y lenguaje de los actores del proceso con productos derivados del conocimiento científico que permitan apreciar los problemas y soluciones de la agricultura mexicana de una manera integrada.

Capítulo 1. Cambio y variabilidad climáticos en México

1.1 Introducción

De acuerdo con el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés; IPCC, 2001); el clima es el estado promedio del tiempo meteorológico; es decir, para caracterizarlo se debe considerar la descripción estadística del tiempo meteorológico tomando en cuenta variables como temperatura y precipitación promedio.

Así el clima puede variar de dos maneras: por una anomalía que implica una desviación significativa de la media o por que haya un cambio en el número de eventos extremos para ese período. Los eventos extremos aislados alteran sólo el estado del tiempo y no el clima. El cambio climático esta referido entonces a la diferencia entre dos estados medios del clima. (Conde, 2003)

Yendo más allá de las definiciones operativas del clima, éste implica necesariamente fenómenos de la atmósfera como: la circulación general, el transporte y la conservación de la energía, de materia y de momento; el clima también engloba interacciones entre componentes del sistema: océanos, capas de hielo-nieve, los continentes y la biosfera.

Se considera al sistema climático como caótico y complejo debido a sus características de inestabilidad, interacciones no lineales, oscilaciones en torno a ciertos estados de equilibrio. Dadas estas peculiaridades del clima, éste sólo puede ser descrito de manera probabilística. (Conde, 2003)

Según Peixoto, (1992 en Conde, 2003) existen dos tipos de variaciones en el sistema climático: *libres* y *forzadas*.

Las variaciones *libres* ocurren por inestabilidades y retroalimentaciones que dan lugar a interacciones no lineales entre los componentes del sistema.

La variabilidad climática interna, es decir, la variabilidad climática no forzada por agentes externos, ocurre en todas las escalas temporales, desde semanas hasta siglos e incluso milenios.

Las variaciones *forzadas* se presentan como respuesta del sistema climático a los forzamientos externos tanto los naturales (cambio en la intensidad de radiación solar, cambio en la excentricidad de la orbita, cambios en la oblicuidad del eje terrestre, erupciones volcánicas) como a los de índole antropogénico (liberación de gases invernadero a la atmósfera)

La interacción entre océano y atmósfera, constituye, entre otras complejas retroalimentaciones positivas o negativas, una de las causas internas más relevantes para los cambios del clima. Así también el fenómeno de El Niño es uno de los forzantes internos que pueden cambiar al clima de manera natural.

El potencial de cambiar el clima de los factores externos es evaluado por medio del forzamiento radiativo expresado en Wm^{-2} ; se considera el CO_2 , N_2O y CH_4 como agentes de forzamiento positivo ya que calientan la superficie, en tanto que los aerosoles tienden a enfriar la superficie, lo que los hace agentes de forzamiento negativo.

1.2 Fenómenos de la variabilidad climática en México relevantes para la agricultura.

El Niño / Oscilación del Sur

La Oscilación del Sur o ENSO por sus siglas en inglés (El Niño-Southern Oscillation), fue descubierta mientras Gilbert Walker estudiaba monzones en la India. Él observó que la presión en la superficie del Pacífico en Australia era en promedio más baja que lo normal mientras que la superficie del Pacífico central era más alta de la normal, también notó que este fenómeno de sube y baja de las presiones, se presentaba en períodos de 2 o 4 años. por lo que lo llamó índice de Oscilación del Sur (Magaña y Morales, 1998)

Por otro lado, fueron los pescadores de Perú quienes dieron cuenta de este fenómeno y le asignaron un nombre más popular: El Niño. Ellos advirtieron que en ciertos años las aguas estaban más calientes de lo normal, lo que ocasionaba que la pesca fuera mala.

Es por ello que a este fenómeno se le conoce como El Niño / Oscilación del Sur (ENOS).

Las causas que originan a El Niño son, en primera instancia, internas y tienen que ver con las interacciones entre la atmósfera y el océano de todo el Pacífico tropical. En la actualidad se conoce el patrón de anomalías que lo caracterizan en comparación con un año normal.

En un año normal los vientos dominantes o alisios en el Pacífico tropical provienen del este y tienden a acumular agua hacia el lado Oeste, por lo que la temperatura del mar se eleva (figura 1) y a consecuencia de esto se forman nubes y se dan lluvias intensas; mientras que el lado Este se enfría el mar y ocurren menos lluvias. (Magaña y Morales, 1998)

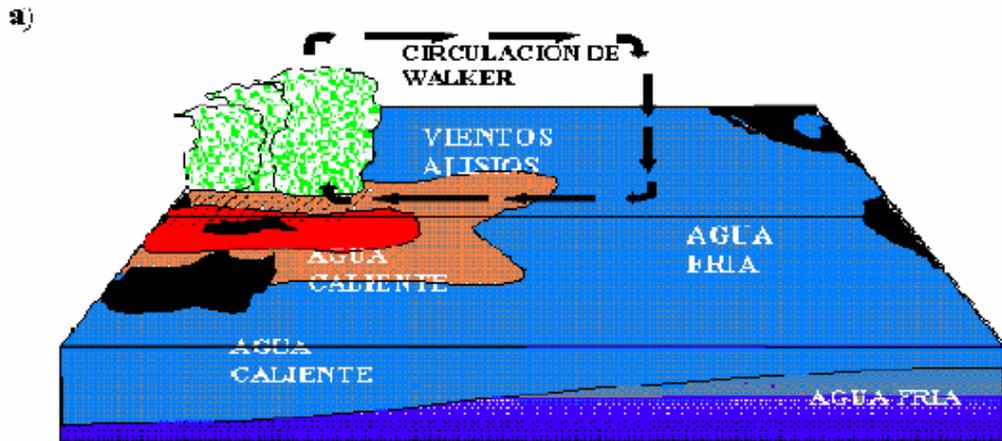


Fig. 1.2.1 Diagrama que representa la circulación atmosférica zonal tropical y las condiciones medias del océano Pacífico. (Magaña y Morales, 1998)

En años de El Niño los vientos alisios se debilitan teniendo como secuela que las aguas más calientes se dispersen a los largo del ecuador y las temperaturas del Pacífico Centro y Este sean más elevadas (figura 2). La aparición de una zona caliente en el Pacífico Central y Este lo que hace que haya una mayor actividad en la formación de nubes y precipitaciones, esta condición deriva en incrementos en precipitaciones en sitios donde llovía poco y disminuciones en precipitaciones donde llovía mucho. (Magaña y Morales, 1998)

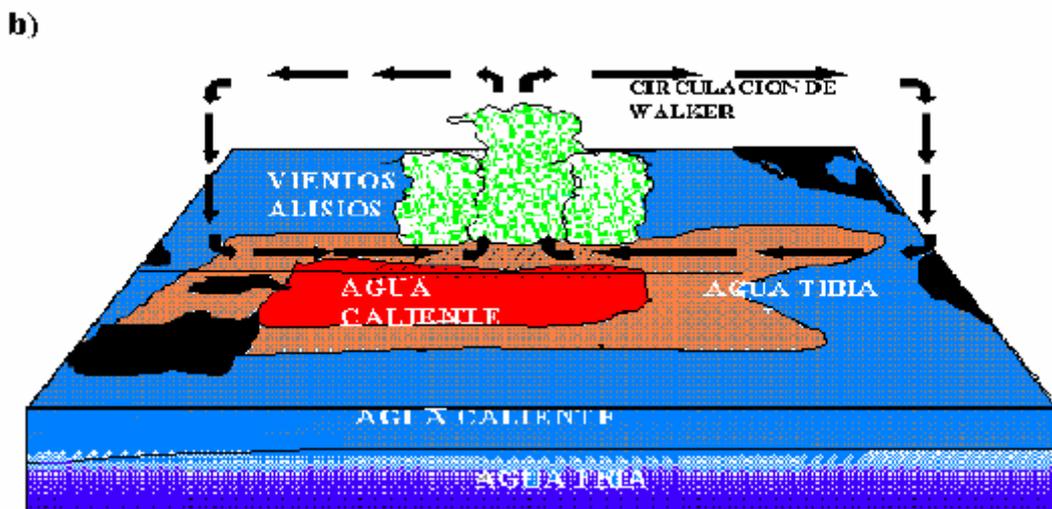


Fig. 1.2.2 Diagrama que representa la circulación atmosférica zonal tropical durante condiciones de El Niño. (Magaña y Morales, 1998)

Aunque pareciera que El Niño solo tiene efectos en regiones del Pacífico tropical, éste también se presenta en regiones alejadas de ésta zona.

Para el caso de México en general se puede decir que en años de fuertes eventos de El Niño las lluvias de invierno se intensifican en tanto que las de verano se debilitan.

También, en general, en años de La Niña los patrones anteriores se invierten (fuertes vientos alisios, enfriamiento del Pacífico del Sur; se le conoce también como fase fría del ENOS), por lo que, en general, durante fuertes eventos de La Niña se esperan decrementos en las precipitaciones de invierno y aumentos significativos en las lluvias de verano.

La canícula o sequía interestival

La canícula o sequía intraestival forma parte del ciclo estacional y de la evolución de la estación lluviosa sobre México centro y sur, América Central y parte del Caribe. Se observa como una distribución bimodal de las lluvias con una máxima entre junio y septiembre y un mínimo relativo en julio y agosto. (Alcalá et al. 2005 y Magaña et al. 1999 a)

La canícula en México se caracteriza por una disminución significativa de las lluvias durante julio y agosto a mitad de la estación lluviosa. Según García, et al. (2003), se puede identificar la canícula cuando ocurren 6 a 10 días consecutivos donde la precipitación es menor o igual a 1mm, esto sucede con mayor frecuencia en la segunda decena de julio y la primera decena de agosto.

La explicación respecto al mecanismo físico que da por resultado a la canícula no es del todo contundente, sin embargo, Magaña et al. (1999 a), describen el proceso así:

“La sequía de medio verano no esta asociada con la migración de la zona intertropical de convergencia (ZITC) y su doble sobre América Central sino más bien con las fluctuaciones en la intensidad y localización de la ZITC del Pacífico oriental. La actividad convectiva experimenta transiciones de intensa a débil y viceversa, los vientos alisios de julio y agosto y el forzamiento orográfico de las montañas sobre América Central tienen como consecuencia que haya un máximo de precipitación a lo largo de la costa caribeña y un mínimo de lluvias sobre la costa Pacífico de América Central.”

Varios autores señalan la influencia del Niño en la sequía interestival; así Alcalá (2005) menciona que durante años El Niño se incrementan el número de días bajo condición de canícula y se observan anomalías en la distribución de lluvia; Liverman (2000) señala

que las sequías de 1957-1958, 1977, 1982-83 y 87 coinciden con variaciones de las temperaturas superficiales en el Pacífico asociadas con El Niño.

Sin embargo, para Magaña et al. (1999 b) no es clara la relación entre la sequía interestival y el Niño pero se observa un desplazamiento de la zona intertropical de convergencia (ZITC) hacia el sur en el Pacífico este durante años Niño. La señal de El Niño durante el verano en México se puede entonces presentar como una disminución de lluvias en el país debido (Magaña et al., 1999 b) a:

- a) Permanencia de la ZITC cerca del ecuador geográfico
- b) Disminución del número de huracanes en el Golfo de México y el Caribe
- c) Incremento de la subsidencia en el norte de México
- d) Menor humedad en la atmósfera de México por disminución de flujo del oeste.

1.3 Impactos de la variabilidad climática

Impactos del Niño.

Debido a que el Niño provoca una disminución de las lluvias durante el verano e incluso sequías, se le considera un factor determinante para el decremento de la humedad del suelo y en la pérdida de hectáreas de bosques por incendios forestales. Uno de los desastres ecológicos más grandes ocurrió en la primavera de 1998, debido a la sequedad del terreno, con la aniquilación por incendio de miles de hectáreas de bosques. (Conde et al., 1999)

De acuerdo con Conde et al. (1999) el Niño se puede estudiar mediante el establecimiento de “teleconexiones” lo cual implica encontrar relaciones estadísticas entre el clima de dos (o más) puntos distantes entre sí. Así como en México, en la India, Oceanía y sureste de África se reporta que durante El Niño las precipitaciones estuvieron por debajo de lo normal.

El decremento de lluvias del verano afecta el ciclo agrícola de primavera-verano también denominado temporal, que contribuye de manera mayoritaria a la producción agrícola del país. De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR, 1998 en Conde et al., 1999) el ciclo P-V ocupa el 80% de la superficie de labor del país y genera el 70% de la producción agrícola anual. De esta superficie, el 87.5% se cultiva en condiciones de temporal.

Los posibles impactos históricos del Niño a la producción agropecuaria del país son estudiados por Jáuregui y se resumen en el cuadro 1.3.1.

Jáuregui concluyó que la correlación entre sequías y años Niño no es significativa si se toma en cuenta los 452 años (1535-1987); sin embargo, si se considera solo el período de 1822-1987 se observa que la correspondencia entre los fenómenos del Niño y sequía aumenta su frecuencia al doble, de lo cual deduce que “las condiciones de sequía en regiones de México parecen estar ligadas significativamente al fenómeno de El Niño”. La década de los 90’s no es contemplada en la investigación de Jáuregui por lo que es oportuno mencionar el fuerte evento del Niño de 1997-1998 comparable al del 1982-1983 que suscitó una intensa sequía en todo el territorio nacional.

La falta de lluvias en abril y la primera quincena de mayo, es decir, el retraso del inicio de las lluvias, provocó también un retraso en las siembras de los valles altos, principalmente en la región centro del país que abarca los estados de México, Puebla, Hidalgo, Guanajuato, Tlaxcala, Morelos y Querétaro. Por lo que la SAGAR, (1998 en Conde et al., 1999) estimó una disminución de la producción en el ciclo primavera - verano de 1998 del 14% del volumen programado, esto es, de 14.7 millones de toneladas.

La magnitud de los impactos depende de la intensidad y duración, en tanto que la vulnerabilidad de una región ante un fenómeno como este depende de factores económicos, culturales y políticos que definen la capacidad de prevención y respuesta (adaptación) ante los impactos del evento. (Conde et al., 1999)

Por ejemplo Liverman (1990) menciona que en Puebla la sequía de 1982-83 tuvo efectos diferentes entre los productores con acceso a tecnología y campesinos con patrones de agricultura tradicional, pues los primeros además de perder la cosecha aumentaron sus deudas.

Una sequía prolongada, consecuencia del Niño provoca pérdida de los cultivos básicos como el maíz, lo que deriva en competencia por el uso del agua y conflictos sociales. (Conde et al., 1999)

Año	Intensidad	Región afectada	Periodo de sequía	Características de la sequía	Impacto de la sequía
1551 1552	F	Sureste	6 meses		hambruna
1641	F	Valle de México	mayo - octubre	falta de lluvias de primavera; sequía extrema	aumento en el precio de granos
1720	MF	El Bajío	junio	sequía	pérdida de ganado
1775	F	Noreste	julio	sequía	mortalidad de ganado
1803 1804	F+	Centro y Oaxaca	agosto	escasez de lluvia	pérdida de cosechas, escasez de granos
1854	M	Centro	n/e	7 años de deficiencia en las lluvias 1848 - 1854	n/e
1867 1868	M+	Noreste, valle de México, Oaxaca, Veracruz	mayo - julio	sequía severa generalizada; ondas de calor	pérdida de cosechas, aumento en los precios de los granos
1891	MF	Mayoría del país; el Bajío	marzo - agosto	escasez de lluvias	pérdida de cosechas, aumento en los precios de los granos
1907	M	Noreste, Centro	enero - septiembre	ausencia de lluvias desde el año anterior; sequía más persistente en años	escasez de granos; pérdida de ganado, aumento en los precios del maíz
1910	M+	Noreste	septiembre a mayo del siguiente año	8 meses de sequía	pérdida de cosechas
1917	F	Noreste, El Bajío, Noroeste, Jalisco	junio - diciembre	Sequía persistente	escasez de granos
1925 1926	MF	El Bajío, Norte, Centro, Noreste, Noroeste, Veracruz	mayo - julio	sequía intensa prolongada; ondas de calor	pérdida de ganado; pérdida de cosechas; suministro de agua limitado

Año	Intensidad	Región afectada	Periodo de sequía	Características de la sequía	Impacto de la sequía
1932	F	Noreste, Centro	junio	sequía severa	pérdida de cosechas, aumento en el precio de los granos
1940 1941	F	Jalisco, Noreste	abril	sequía intensa	ríos desecados
1943	M+	Noreste, Sureste, Noroeste, la mayor parte del país	mayo - agosto	sequía generalizada	pérdidas parciales de cultivo, pérdida de ganado
1953	M+	Noreste, Norte	junio	sequía	pérdida de cultivos de algodón en el noreste
1957 1958	F	Norte, Oaxaca, Noreste	primavera, septiembre	sequía intensa	desempleo en los campos; pérdidas parciales de cultivos
1969	M-	Norte, Centro, la mayor parte del país	junio, julio, agosto	sequía intensa prolongada	pérdida de ganado, pérdida de cosechas
1972 1973	F	Norte, El Bajío, Noreste	Julio - octubre	sequía, ondas de calor	desempleo, pérdidas de cosechas, mortalidad infantil por onda de calor
1976	M	Norte	abril - octubre	sequía prolongada, heladas	limitación en el suministro de agua en Durango; pérdida de cosechas
1982 1983	MF	Noreste, Centro, Jalisco	n/e	sequía	

Tabla 1.3.1 Relación entre eventos de Niño y efectos negativos en las actividades agrícolas en México de 1535 a 1987. (Tomado de Magaña et al., 1999 b)

Impactos de la sequía interestival o canícula.

La canícula es un fenómeno que forma parte de la variabilidad climática anual, pero su duración y severidad experimenta fluctuaciones año con año, lo que lo convierte en un riesgo climático. El sector agrícola es uno de los afectados por este evento y puede ocasionar pérdidas de hasta 60% en cultivos básicos cuando el fenómeno es intenso. García et al. (2003)

De acuerdo a varios autores (Álcala (2005); Liverman (2000) y Jáuregui (en Magaña et al. 1999b)) en años Niño se aumenta el riesgo de sequía intensa debido a que se potencian los efectos de la canícula para esos años. De modo que los impactos son originados tanto por la canícula como por el ENOS fase cálida y resulta difícil distinguir los efectos producto de la canícula exclusivamente.

Desde el punto de vista agrícola la sequía depende de la diferencia entre la demanda de agua de las plantas y el agua disponible en el suelo y dado que la demanda hídrica de la planta depende de la especie de la planta, el desarrollo, las condiciones meteorológicas y físicas hace que la caracterización de la sequía en este sentido sea compleja. (García et al. 2003)

Dependiendo de la intensidad de la canícula esta puede reducir los niveles de estiaje de ríos, lagos y embalses por debajo de su nivel normal al final de la estación. El déficit de humedad en el suelo reduce la disponibilidad de pastos y agua para los abrevaderos. Los bosques y áreas silvestres alcanzan niveles de sequedad que los hace susceptibles a arder. (CRRH, 2001).

Un pronóstico acerca de la intensidad de la canícula resulta útil para los productores ya que permite conocer los posibles efectos sobre la producción de maíz y efectuar alguna medida preventiva (Conde et al. 1999)

1.4 Cambio climático

De manera natural en la historia del planeta se han presentado cambios climáticos en periodos de miles de años, que han impactado fuertemente a los seres vivos. No obstante, desde la década de los ochenta, se ha acumulado las evidencias de que se está desarrollando un proceso de cambio climático acelerado de origen antropogénico, principalmente causado por emisiones de gases de efecto invernadero y por los apresurados procesos de cambios de uso de suelo.

El IPCC (2001) nos reporta las evidencias de cambio climático:

El promedio global de la temperatura del aire superficial sobre la tierra se ha incrementado $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ durante el S. XX con respecto a 1861.

Globalmente es muy probable¹ que los 1990's hayan sido la década más caliente y particularmente 1998 el año más caliente en los registros desde 1861. Ver fig.1.4.1 a.

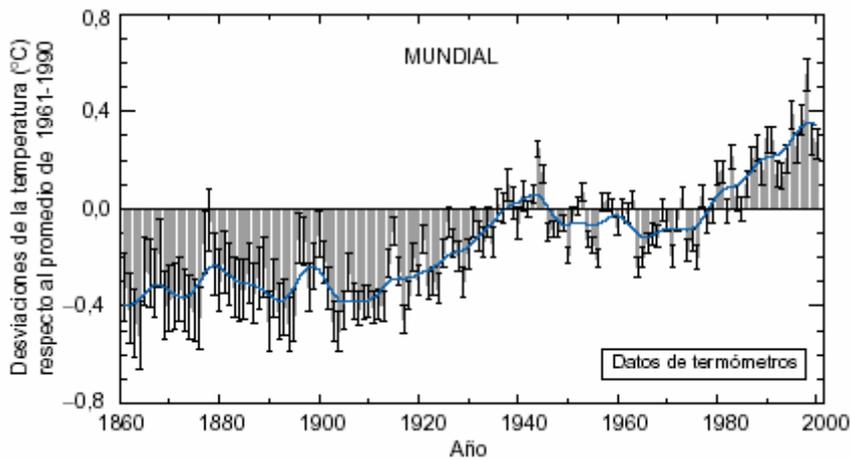


Fig. 1.4.1 a. Variaciones en la temperatura de la superficie de la tierra en los últimos 140 años. Tomado del IPCC (2001)

Nuevos análisis de datos *proxi* (anillos de árboles, núcleos de hielo de la antártica) indican que el más grande incremento en temperatura se dio en s. XX con respecto a los últimos 1000 años de la historia del planeta. Las siguientes figuras nos muestran las variaciones de la temperatura de la tierra. (Fig. 1.4.1b)

¹ El IPCC clasifica las siguientes categorías según intervalos de confianza: Virtualmente cierto (99% cierto), muy probable (90-99% certeza), probable (66-90% certeza)

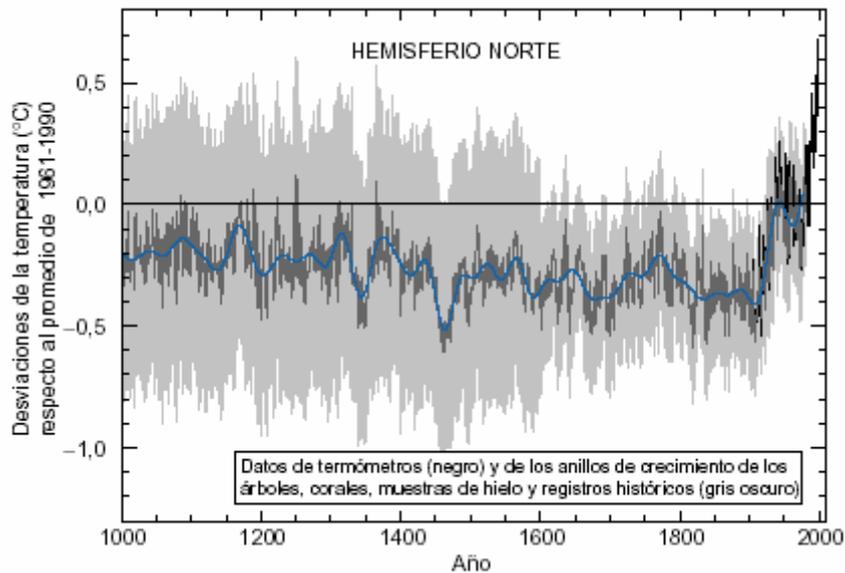


Fig. 1.4.1b. Variaciones en la temperatura de la superficie de la tierra en el último milenio. Tomado del IPCC (2001)

Es muy probable que la extensión de la nieve haya disminuido el 10 % desde los 60's tardíos, ha habido una retirada de los glaciares de las montañas en regiones no polares durante el s. XX. En tanto que la extensión del hielo del mar en primavera y verano ha disminuido del 10 al 15 % desde 1950 y es muy probable que haya habido cerca del 40% de disminución en el grosor del hielo del ártico durante el verano tardío y otoño temprano en décadas reciente mientras que se observa un declinamiento lento en el mar de invierno.

Durante el s. XX el nivel promedio del mar ha aumentado entre 0.1 y 0.2 m.

El calor contenido en el océano ha aumentado durante los 1950's.

Es muy probable que la precipitación en las latitudes medias y altas haya aumentado entre 0.5 y 1% por década; en los trópicos probablemente haya aumentado entre 0.2 a 0.3% por década; en tanto que en el área subtropical del hemisferio norte (10° N a 30° N) muy probablemente disminuyó en 0.3% por década.

En las latitudes medias y altas del hemisferio norte muy probablemente ocurrió un incremento del 2 a 4 % de eventos de precipitación.

Tomando como referente 1950, es muy probable que se hayan incrementado la frecuencia de eventos con temperaturas altas extremas, en tanto que los eventos con temperaturas bajas extremas han disminuido su número.

Se han registrado más eventos cálidos del ENSO desde la segunda mitad de los 1970's comparado con los 100 años anteriores.

Principales agentes de forzamiento involucrados en el cambio climático

Como se mencionó con anterioridad existen dos tipos de variaciones en el sistema climático: libres y forzadas, entre estas últimas se aludirá a las de tipo antropogénico; según el IPCC (2001):

La concentración de CO_2 ha incrementado en 31% desde 1750, este gas no se había aumentado tanto su concentración en los últimos 420, 000 años y tampoco en los 20 millones de años; su tasa actual no tiene precedente en los últimos 20,000 años. Un 75% de las emisiones antropogénicas de CO_2 se deben a la quema de combustibles fósiles, el resto es debido al cambio de uso de suelo, especialmente a la deforestación.

El metano (CH_4) ha aumentado un 151% desde 1750 y continúa incrementando, la concentración actual no se había registrado en 420,000 años. Un poco más de la mitad de este gas presente en la atmósfera es antropogénico (combustibles fósiles, ganado, agricultura del arroz).

La concentración atmosférica de óxido nitroso (N_2O) ha incrementado un 17 % desde 1750 y continúa incrementando, en 420,000 años la cifra no tiene precedentes, 25% de las emisiones de este gas son originadas por actividades humanas.

En la figura 1.4.2 se muestra las concentraciones atmosféricas de CO_2 , CH_4 y N_2O en los últimos 1.000 años.

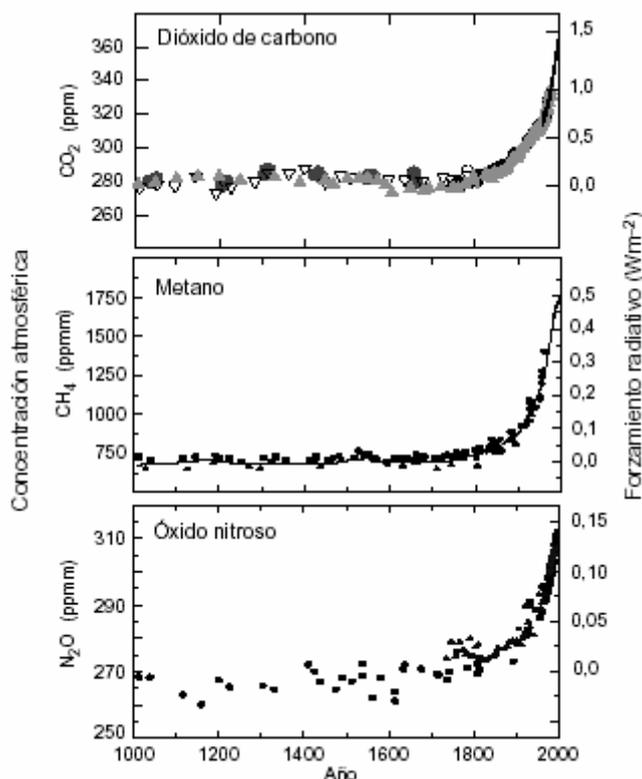


Fig. 1.4.2. Concentraciones atmosféricas de CO_2 , CH_4 y N_2O en los últimos 1.000 años.

Los datos de muestras de hielo y neviza en varios emplazamientos en la Antártida y Groenlandia (indicados con símbolos diferentes) se complementan con los datos de muestras atmosféricas directas en los últimos decenios (indicados mediante la línea del CO_2 e incorporados a la curva que representa el promedio mundial de CH_4).

El forzamiento radiativo estimado de esos gases se indica en la escala a la derecha. Tomado del IPCC (2001)

Durante el milenio anterior a la Era Industrial, las concentraciones de GEI en la atmósfera se mantuvieron relativamente constantes. Sin embargo, desde entonces las concentraciones de muchos de esos gases han aumentado directa o indirectamente, debido a las actividades humanas.

La Era Industrial además de marcar un hito en la historia humana, también señala un cambio drástico en las concentraciones de gases efecto invernadero (GEI) como se muestra en el Cuadro 1.4.1. Además se muestra sus períodos de vida en la atmósfera, lo que en términos de planeación de políticas es muy importante ya *que las emisiones de un GEI que tenga un prolongado tiempo de residencia en la atmósfera comprometen casi irreversiblemente el forzamiento radiativo sostenido a través de decenios, siglos o milenios, antes de que los procesos naturales puedan eliminar las cantidades emitidas.* (IPCC, 2001)

	CO ₂ (Dióxido de carbono)	CH ₄ (Metano)	N ₂ O (Óxido nitroso)	CFC-11 (Clorofluoro-carbono-11)	HFC-23 (Hidrofluoro-carbono-23)	CF ₄ (Perfluoro-metano)
Concentración preindustrial	unas 280 ppm	unas 700 ppmm	unas 270 ppmm	cero	cero	40 ppb
Concentración en 1998	365 ppm	1 745 ppmm	314 ppmm	268 ppb	14 ppb	80 ppb
Ritmo del cambio de concentración ^b	1,5 ppm/año ^a	7,0 ppmm/año ^a	0,8 ppmm/año	-1,4 ppb/año	0,55 ppb/año	1 ppb/año
Tiempo de vida en la atmósfera	5 a 200 años ^c	12 años ^d	114 años ^d	45 años	260 años	>50 000 años

Cuadro 1.4.1. Concentraciones y períodos de vida en la atmósfera de distintos GEI. Tomado del IPCC (2001)

a El ritmo ha fluctuado entre 0,9 ppm/año y 2,8 ppm/año para el CO₂ y entre 0 y 13 ppmm/año para el CH₄ en el período 1990–1999.

b El ritmo se calcula para el período 1990–1999.

c No puede definirse un solo período de vida para el CO₂, dados los diferentes índices de absorción por diferentes procesos de eliminación

d Este período de vida ha sido definido como un “tiempo de ajuste” que tiene en cuenta el efecto indirecto del gas en su propio tiempo de residencia.

Por otro lado la contribución de un elemento o de un compuesto al forzamiento radiativo del cambio climático depende de las propiedades radiativas moleculares del gas, de la magnitud del aumento de su concentración en la atmósfera y del tiempo de residencia de dicho elemento en la atmósfera, una vez emitido. Los forzamientos provocados por distintos gases se ilustran en la figura 1.4.3 y pueden ser positivos (si calientan la superficie) o negativos (si enfrían la superficie).

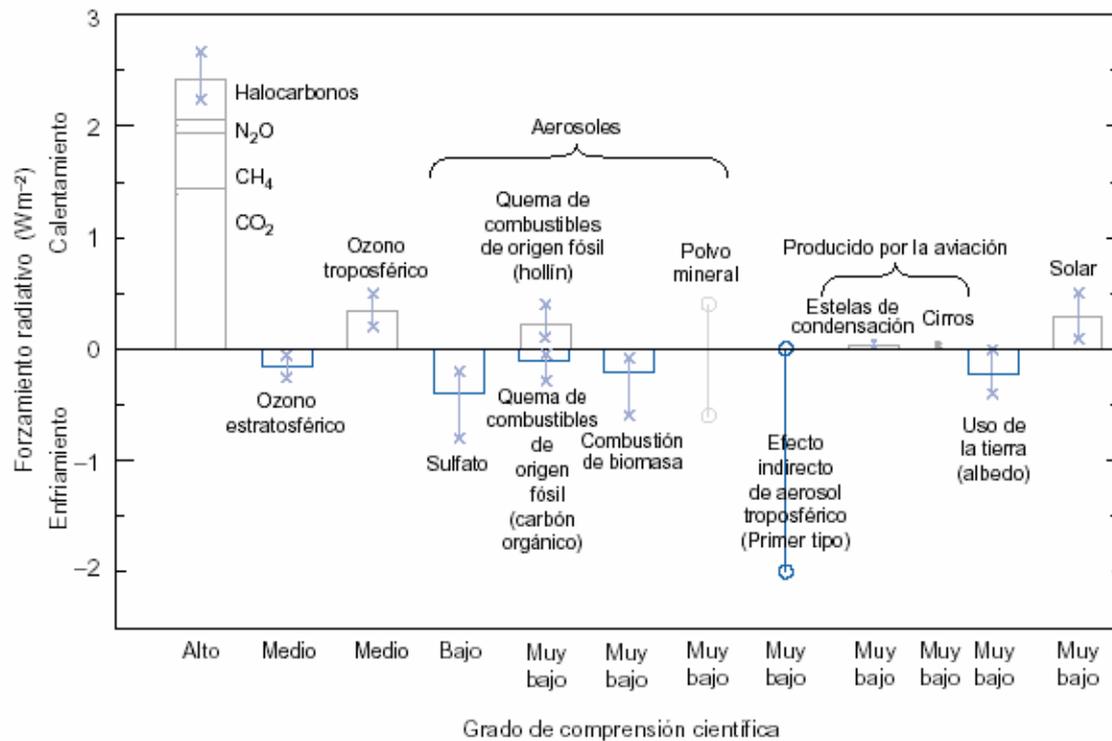


Figura 1.4.3: Forzamientos radiativos (Wm⁻²) medios anuales mundiales debidos a varios agentes en el período desde la era preindustrial (1750) hasta el presente (finales de los años noventa; alrededor de 2000. Tomado del IPCC (2001)

Detección de la influencia humana en el cambio climático

La detección es el proceso de demostrar que un cambio observado es muy diferente (desde el punto de vista estadístico) de lo que podría considerarse un efecto de la variabilidad natural. Y derivado de esto se pueden hacer atribuciones; es decir, establecer relaciones de causa-efecto con cierto grado definido de confianza. (IPCC, 2001)

Se requiere de un registro prolongado de observaciones en el que se incluirán mediciones instrumentales y datos *proxi* (registros paleoclimáticos), estas observaciones se analizan en detalle.

Así pues se usan modelos climáticos para predecir la respuesta del sistema climático a cambios en el forzamiento.

Evaluaciones basadas en principios de la física y simulaciones de modelos indican que es muy improbable que el calentamiento registrado en los últimos 100 años se deba a la variabilidad interna (causada por forzamientos naturales). Y los estudios de detección han descubierto que se requiere de una contribución antropógena considerable para explicar las tendencias observadas en la superficie del planeta.

Las siguientes gráficas (1.4.4) muestran los registros observados en temperatura desde 1850 hasta el 2000 y distintas simulaciones en las que se toma en cuenta: forzamientos naturales, forzamientos antropogénicos y ambos forzamientos.

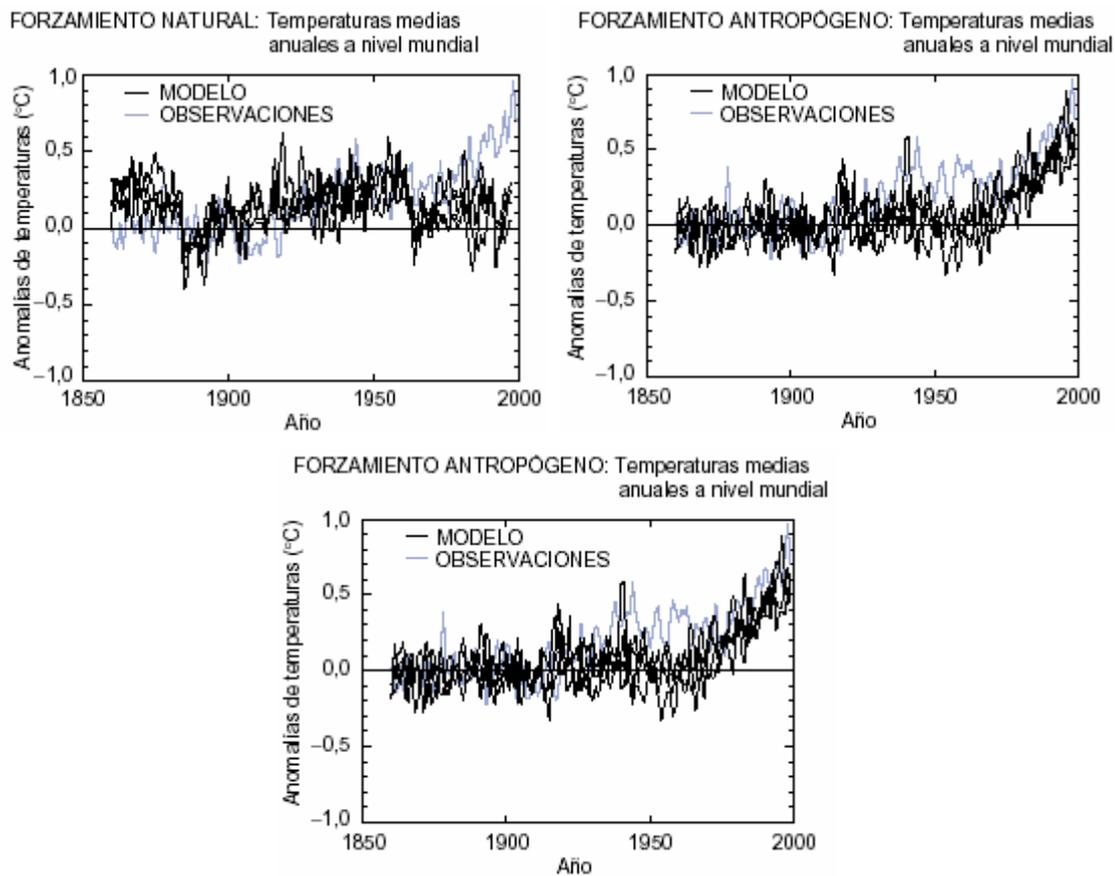


Figura 1.4.4: Anomalías en las temperaturas medias de la superficie mundial con respecto al promedio del período comprendido entre 1880 y 1920 de acuerdo con el registro instrumental, comparadas con conjuntos de cuatro simulaciones realizadas con un modelo climático acoplado océano-atmósfera, forzado con: a) fuerzas solares y volcánicas únicamente; b) fuerzas antropógenas, entre ellas gases de efecto invernadero (GEI) bien mezclados, cambios en el ozono estratosférico y troposférico y los efectos directos e indirectos de los aerosoles de sulfatos, y c) con todos los tipos de forzamiento, tanto naturales como antropógenos. Tomado del IPCC (2001).

1.5 Impactos del cambio climático

Los impactos climáticos son las consecuencias del cambio climático en los sistemas naturales o humanos. La sensibilidad es el grado de afectación de un sistema ya sea en sentido negativo o positivo con respecto a eventos climáticos. La capacidad de adaptación se refiere a la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático. En tanto que la vulnerabilidad es el grado hasta el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos.

Así pues, los sistemas humanos son vulnerables al cambio climático y el grado de vulnerabilidad está en función de la capacidad de respuesta de estos sistemas a los cambios climáticos; entre los factores externos que aumentan la vulnerabilidad de las poblaciones se encuentran: prácticas agrícolas inadecuadas y mal uso de los recursos (naturales, humanos, económicos).

Entre los posibles impactos negativos previstos obtenidos por modelos adecuados a cada sector, se encuentran: la reducción general del rendimiento posible de las cosechas en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales debido a aumentos en temperatura; menor disponibilidad de agua en regiones subtropicales, aumento de personas expuestas a enfermedades transmitidas por vectores; aumento del riesgo de inundaciones para asentamientos humanos; aumento de la demanda de energía para acondicionamiento de lugares debido a aumento de la temperatura estival.

Entre los impactos positivos proyectados se encuentran:

Aumento del rendimiento en latitudes medias, aumento posible en el suministro de maderas, aumento en la disponibilidad de agua en algunas poblaciones con escasez de agua, menor mortalidad invernal en latitudes medias y bajas, menor demanda de energía para la calefacción debido a aumento de temperaturas invernales.

Es importante tener en cuenta los posibles impactos de los extremos climáticos ya que se prevee que aumenten la frecuencia e intensidad y que impacten de manera negativa particularmente a la población pobre.

A nivel global podrían ocurrir cambios irreversibles como disminución en la rapidez de la circulación de los océanos que transporta aguas calientes al atlántico septentrional, si esto continua ocurriendo tendría efecto en los niveles de oxígeno de las aguas profundas y aumentos del nivel del mar lo que ocasionaría que se inundaran extensas zonas costeras y que algunas islas se sumergieran.

La adaptación es por tanto una estrategia necesaria y complementaria a la mitigación dado que el cambio climático esta ocurriendo, de modo que se reduzcan los impactos negativos. Se pueden reconocer dos tipos de adaptaciones: las autónomas y las planificadas.

En cuanto a capacidad de adaptación, vulnerabilidad e inquietudes principales de América Latina el IPCC (2001) plantea:

La capacidad de adaptación de los sistemas humanos en Latinoamérica es escasa, particularmente respecto a fenómenos climáticos extremos, además la vulnerabilidad es elevada.

- La pérdida y el retroceso de glaciales tendrá impactos negativos en el suministro de escorrentías y de agua en áreas en las que se deshielan los glaciares que son una fuente importante de agua (*alta confianza*).
- Podrían ser más frecuentes las inundaciones y las sequías, incrementando las inundaciones las cargas de sedimentos y deteriorándose la calidad de las aguas en algunas zonas (*alta confianza*).
- Los aumentos de la intensidad de los ciclones tropicales podrían modificar el riesgo de pérdida de vidas, de propiedad y de ecosistemas, por razón de lluvias fuertes, inundaciones, tormentas y daños causados por el viento (*alta confianza*).
- Se prevé que disminuya en muchos lugares de Latinoamérica el rendimiento de importantes cosechas, incluso cuando se tienen en cuenta los efectos de CO₂; la agricultura y ganadería de subsistencia de algunas regiones de Latinoamérica podrían estar amenazadas (*alta confianza*).
- La distribución geográfica de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores podría extenderse hacia el polo y a mayores alturas, aumentando la exposición a enfermedades tales como paludismo, fiebre dengue y cólera (*confianza media*).
- Estarían negativamente influenciados por la subida del nivel del mar los asentamientos humanos de la costa, las actividades productivas, la infraestructura y los ecosistemas de manglares (*confianza media*).
- Podrían aumentar el ritmo de pérdida de la diversidad biológica (*alta confianza*).

Impactos del Cambio Climático en México

En México se han realizado varios estudios en torno a distintos sectores acerca de los posibles impactos del cambio climático.

Así Villers-Ruiz y Trejo-Vásquez (2000) realizaron una evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales de México mediante la aplicación de tres modelos de cambio climático: *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL-R30), el *Canadian Climate Center* (CCC) y de sensibilidad: +2° C de temperatura y -10% en precipitación. Los dos primeros son modelos prospectivos que toman en cuenta la duplicación de CO₂. Basándose en las clasificaciones de clima y vegetación adaptadas para México por García y Rzedowski, las autoras (Villers-Ruiz y Trejo-Vásquez, 2000) concluyeron que, los bosques templados fríos y semicálidos son los tipos de vegetación más sensibles al cambio climático y tenderían a desaparecer al incrementarse la temperatura; mientras que el modelo CCC muestra que los bosques tropicales secos, muy secos y espinosos,

con afinidades cálidas, tenderían a ocupar mayores superficies que en la actualidad; finalmente el modelo GFDL-R30 proyecta un incremento en la distribución de los bosques tropicales húmedos y subhúmedos, que se serían favorecidos con el aumento en la precipitación. Entonces, los ecosistemas más afectados serían los bosques tropicales y pastizales, en tanto que los bosques templados y matorral xerófilo tendrían un menor grado de deterioro antropogénico.

Por otra parte, los efectos sobre los recursos hídricos ante cambio climático fueron analizados por Maderey y Jiménez (2000). Tres sistemas hidrológicos son examinados en cuanto a las variaciones en la disponibilidad de agua: la cuenca del sistema fluvial Lerma Chapala-Santiago, la del río Pánuco y la del río Balsas, ubicadas en la parte central del país. En esta investigación se realizaron proyecciones que consideran que el CO₂ se duplicará entre los años 2025 y 2050. Los resultados de las simulaciones evidencian que en condiciones de cambio climático habría un descenso del agua aprovechable en las tres cuencas hidrológicas pero siendo el caso más vulnerable el sistema fluvial Lerma-Chapala Santiago.

En el sector urbano se han hecho simulaciones usando modelos de circulación general (GCM) y de proyección de la tendencia de la temperatura de una estación. Los autores (Jáuregui y Tejeda, 2000) reportan que las condiciones ambientales cambiarían a una atmósfera más cálida debido al proceso de urbanización y efecto invernadero y los impactos estacionales más importantes serían en los meses de marzo a mayo abarcando la mayor parte de la ciudad.

1.6 Impactos del cambio y variabilidad climática en la agricultura

La productividad, el rendimiento agrícola son en primera instancia dependientes del clima. Así los cultivos son afectados por cambios en los factores climáticos tales como: temperatura, precipitación, frecuencia y severidad de eventos extremos como: altas temperaturas, sequías, inundaciones y tormentas de viento.

Los impactos del calentamiento global sobre la agricultura dependen de las magnitudes relativas, los efectos sobre las condiciones medias y los eventos extremos. Los cambios en la intensidad, frecuencia y duración del evento de El Niño por tanto, podrían tener efectos desestabilizadores, además de que la secuencia de estos eventos extremos afecta el patrón de las estaciones.

Por ejemplo Conde et al. (2006) reportan que si bien el cambio climático podría disminuir la frecuencia de heladas y consecuentemente habría una menor pérdida de maíz de temporal; el cambio climático también podría provocar aumento en la intensidad de El Niño causando merma en la producción de maíz.

Los estimados de cambios en la producción agrícola son dependientes de :

Los cambios en el clima a escalas regionales, adaptaciones de productores y consumidores, tecnologías, población y crecimiento, condiciones macroeconómicas, cambios en las condiciones sociales y políticas.

A grandes rasgos se podría decir que el aumento de la concentración de CO₂ tendría un efecto fertilizante y que por tanto aumentaría el rendimiento; sin embargo, Adams et al. (1998), reportan que para América Latina, grandes áreas están afectadas por la variabilidad interanual y eventos extremos por lo que se revelan reducciones en el rendimiento e incremento en la variabilidad de la productividad de los cultivos. Las reducciones en rendimiento se espera que sean entre 10 – 30%.

Según Abler y Shortle (2000) los impactos del cambio climático no amenazarán la provisión de alimento, aunque la producción agrícola podría cambiar significativamente en algunas áreas del mundo ya que aunque la producción cayera ésta podría ser sustituida por otras regiones y países.

Experimentos numéricos realizados por Conde et al. (2000) en el modelo CERES – MAIZE son reveladores ya que muestran que el efecto fertilizante del CO₂ no sería tan significativo para los rendimientos de maíz de temporal, pero que el efecto del cambio climático sería en general negativo para este cultivo en el país. Así, la disminución en rendimiento ocurre debido a situaciones como: adelanto de un mes en la sequía interestival, acortamiento en la estación de crecimiento (particularmente en la fase de llenado de grano) y a que un aumento de lluvia provocaría un lavado de los nutrientes del suelo, lo que deja a la planta en una situación de estrés nutricional.

Respuesta del cultivo a los eventos climáticos

Rosenzweig et al. (2000) dan premisas acerca del comportamiento de los cultivos ante ciertas variables climáticas:

- Alta temperatura. De manera general se puede decir que los cultivos responden negativamente, lo que se muestra en una caída del rendimiento. Para la soya *Glycine max* L. Se reporta que una temperatura del suelo mayor que 35° C al

momento de la siembra causa que la semilla muera. Muy sensible a temperaturas superiores a 35° C en las 3 primeras semanas después de la floración. Tiene gran habilidad para recuperarse del estrés térmico en otras etapas fenológicas. Muy sensible a déficit hídricos durante la siembra y durante la floración hasta el llenado de vaina. Relativamente tolerante a los excesos en humedad del suelo, pero con riesgo de enfermedad de la semilla si la temperatura se eleva por encima de 32° C.

- Precipitación. Determina la productividad de los cultivos. El cambio climático además de causar modificaciones en los totales anuales de precipitación origina alteraciones en el patrón estacional de lluvias, y dado que la variabilidad interanual de precipitación es la causa principal de la variación en rendimiento del cultivo, el cambio climático podría ocasionar cambios en la productividad y rendimiento de una región. Conde et al. (2000) hace énfasis en reconocer que un aumento en la precipitación no es necesariamente beneficioso para el cultivo ya que puede producir una reducción en los rendimientos de maíz de temporal, debido al posible lixiviado de los nutrientes en los suelos, lo que ocasionaría pérdida en la fertilidad de los mismos.

Las plagas y el cambio climático

Las plagas son cualquier organismo que daña o mata cultivos y reduce el valor del cultivo antes y después de la cosecha. (Rosenzweig et al., 2000)

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América citado en Rosenzweig et al, 2000 las mayores plagas de los cultivos son las plantas arvenses, insectos y patógenos y provocan una pérdida en E.U.A de 12%, 13% y 12% respectivamente.

Las pérdidas por plagas están determinadas por una combinación de factores como tamaño poblacional, etapas fenológicas, técnicas de cultivo, practicas de monocultivo.

Las plagas están relacionadas íntimamente al clima y la mayoría de las especies están favorecidas por condiciones cálidas y húmedas por lo que es posible que se amplíen los territorios de las plagas a los cultivos bajo condiciones de cambio climático.

Las infestaciones coinciden con cambios en condiciones climáticas como lluvias tardías o tempranas, sequía o incremento en humedad.

En el cuadro 1.6.1 se resume los principales efectos de los eventos climáticos sobre las plagas.

Evento	Efectos: Daño de las plagas a los cultivos
Inundaciones y lluvias pesadas	Incrementa el riesgo de epidemias y la prevalencia de patógenos fúngicos. El transporte del agua por el suelo incrementa la diseminación de patógenos del suelo a áreas no infectadas. La saturación continua del suelo causa problemas a largo plazo relacionados al desarrollo de la raíz y la incremento de daño por enfermedades.
Sequía	El estrés hídrico disminuye el vigor de la planta y altera los radios de carbón – nitrógeno, bajando la resistencia de la planta a nematodos e insectos. El ataque de patógenos fúngicos de los tallos y raíces es favorecida por condiciones de debilitamiento de la planta. La sequía promueve estallido de insectos. Las condiciones secas y calientes promueven el crecimientos de poblaciones vector de insectos, incrementando epidemias virales. La producción de aflotoxina producida por un hongo esta relacionada a condiciones de sequía y produce espasmos y vómito a humanos.
Tormentas y corrientes de aire	Las corrientes de aire proveen de una transportación a gran escala de agentes de enfermedad
Calentamiento	Los inviernos más cálidos incrementan las poblaciones invernantes de todas las plagas.

Cuadro 1.6.1 Impactos de las plagas sobre los cultivos. Tomado de Rosenzweig et al. (2000).

Por otro lado los factores económicos y tecnológicos determinan la forma en que se combate o no a las plagas. En E.U.A se gastan hasta 9 millones de dólares en químicos para combatir plantas arvenses, en tanto que en los lugares en los que no se dispone de esta tecnología se usa labor humana para combatirla.

Los insectos son la principal causa de daño al rendimiento, son dependientes del clima y particularmente sensibles a la temperatura ya que a más altas temperaturas se incrementan las tasas de desarrollo generacional. Es interesante observar que además el

valor de aplicación de pesticida ha ido aumentando con el transcurso de los años. (Fig. 1.6.1)

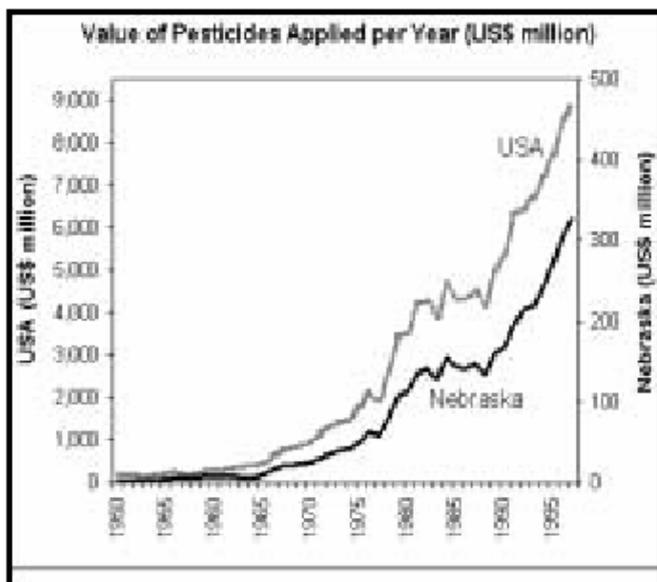


Fig 1.6.1 Valor de aplicación del pesticida 1950 a 1997 en E.U.A.

1.7 La adaptación

La capacidad adaptativa se refiere a la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático, a la variabilidad y a los extremos climáticos a fin de moderar los potenciales daños y tomar ventaja de las oportunidades. La adaptación se refiere al ejercicio de la capacidad adaptativa, es el proceso mediante el que se puede enfrentar, manejar y sobreponerse a los riesgos u oportunidades climáticos. (Conde, 2003)

Los sistemas naturales y socioeconómicos manifestarán, de manera automática y autónoma, ciertas adaptaciones ante los impactos del cambio climático, dentro de los límites posibles que su propia flexibilidad estructural y de operación les permiten. No obstante, las adaptaciones de mayor alcance tendrían que ser formuladas y planeadas aparte, e instrumentadas de manera *ex profeso* en la mayoría de los casos, requiriendo cambios, ajustes y modificaciones en las estructuras de estos sistemas, así como en sus actividades y procesos. En este sentido, la adaptación es una estrategia de *respuesta* al cambio climático. (Consejo Consultivo de Cambio Climático, 2006)

Los sistemas agrícolas se adaptan a cambios económicos y condiciones físicas. A nivel productor las adaptaciones en las fechas de siembra y cosecha, rotación de cultivos, irrigación, fertilizantes, practicas agrícolas y nuevas tecnologías (mejoramiento genético).

Cada adaptación puede disminuir las pérdidas potenciales del cambio climático y mejorar el rendimiento.

En este rubro Ferrer (1999) y Conde et al. (1997) realizaron análisis de las posibles medidas de adaptación que los agricultores de maíz de temporal podían aplicar (cambio en las variedades, cambio en fechas de siembra, incremento en la aplicación de fertilizante). Sin embargo, aunque las simulaciones de Ceres – Maize muestran posibles impactos positivos, la situación dentro del contexto económico cambia radicalmente la perspectiva de las cosas ya que con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio para América del Norte ya que los costos de producción son difícilmente cubiertos por la venta del producto; es decir que la vulnerabilidad de la agricultura de temporal más que del clima depende de la política agraria.

A largo plazo la adaptación anticipatoria puede incluir el desarrollo y uso de nuevas variedades que ofrezcan avances en climas futuros o inversiones en el manejo del agua.

Las respuestas adaptativas son difíciles de proyectar y éstas deben tomarse en cuenta para valorar los efectos agrícolas del cambio climático.

Las tecnologías reducen la vulnerabilidad, por ejemplo en E.U.A. la agricultura de precisión tiene el potencial de incrementar la productividad dando a los agricultores control sobre los microclimas y las variaciones en suelos, condiciones, nutrientes y poblaciones de plaga. (Abler y Shortle, 2000)

En el caso de México resulta fundamental considerar las adaptaciones provenientes del conocimiento tradicional de los campesinos, así Liverman (1990) menciona entre las adaptaciones las tecnologías tradicionales, el cambio en variedad de maíz, alterar la proporción de maíz – frijol sembrado, la densidad del cultivo, técnicas tradicionales para predecir el tiempo, redistribución de la riqueza en eventos sociales como la *guelaguetza* en Oaxaca, el consumo de plantas resistentes a la sequía, el almacenaje de las semillas y los subsidios.

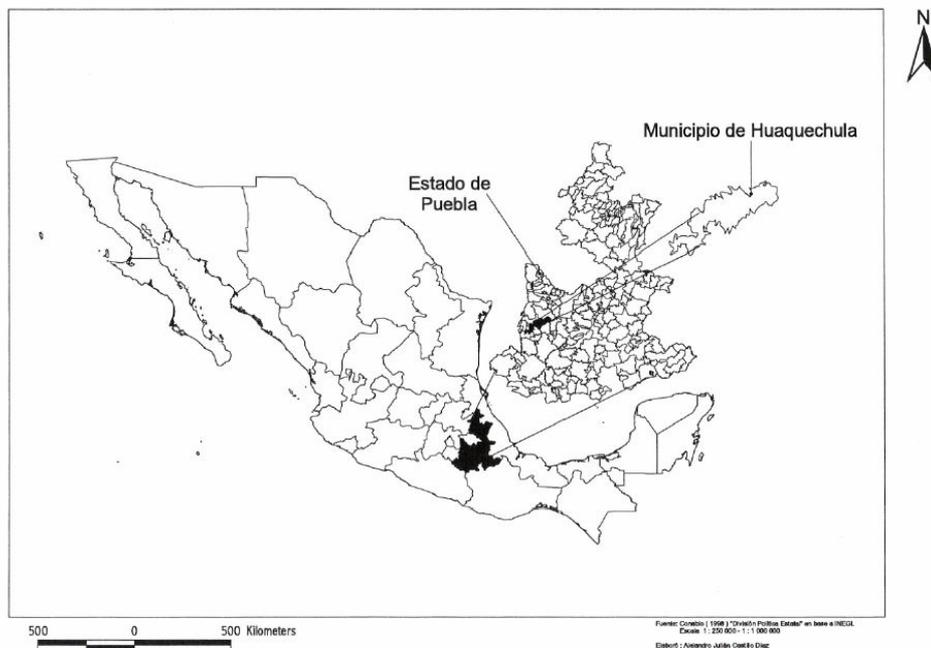
Capítulo 2. Localización y características naturales de la región

2.1 Localización

El municipio de Huaquechula se localiza en la parte centro oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 40'06" y 18° 51'48" de latitud norte y los meridianos 98° 21'18" y 98° 39'36" de longitud occidental. El municipio colinda al norte con los municipios de Atzitzihuacan y Atlixco, al sur con el municipio de Tlapanala, al este con el municipio de Tepeojuma, al oeste con el municipio de Tepemaxalco (ver mapa 2.1.1). El municipio pertenece casi en su totalidad, morfológicamente, al valle de Atlixco; la cota 1500, al Suroeste, marca el límite artificial con el valle de Matamoros. (http://www.emexico.gob.mx/work/EMM_1/Puebla/Mpios/21069a.htm)

Entre sus principales localidades se encuentran: Santa Ana Coatepec, Teacalco de Dorantes, Tezonteopan de Bonilla, San Juan Huiluco, Cacaloxochitl, Soledad Morelos, San Antonio Cuautla, Santiago Tetla y San Diego Organal.

Situación Geográfica del Municipio de Huaquechula, Puebla, México



Mapa 2.1.1 Muestra la situación geográfica de la región de Huaquechula. Elaboró: Alejandro Julián Castillo Díaz (2006).

2.2 Geología

De acuerdo con el INEGI (1987) existen cuatro provincias fisiográficas en el estado de Puebla: Sierra Madre Oriental que penetra por el noroeste y llega hasta las inmediaciones de Teziutlán; la Llanura Costera del Golfo Norte, en la porción boreal; el Eje neovolcánico, en el centro y oeste y la Sierra Madre del Sur en toda la zona austral.

Provincia del eje neovolcánico

La región puede ser descrita como una acumulación de rocas volcánicas resultado de procesos magmáticos iniciados a mediados del Terciario (hace unos 35 m.a.) y continuados hasta el presente.

La provincia esta constituida de grandes sierras volcánicas, colados lávicos, conos dispersos o en enjambre, depósitos de arenas y cenizas. El eje neovolcánico, que da nombre a la provincia, es una cadena de grandes volcanes entre los que se encuentran: el volcán de Colima, el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, el Matlalcuéyetl o Malinche, el Citlatepetl o Pico de Orizaba, éstos atraviesan en línea recta el país mas o menos sobre el paralelo 19°.

Esta provincia se subdivide en tres provincias: Lagos y volcanes del Anáhuac, Chiconquiaco y Llanos y Sierras de Querétaro e Hidalgo. (INEGI, 1987)

Subprovincia de los Lagos y volcanes de Anáhuac

A esta subprovincia específicamente pertenece la región en la que se encuentra inmerso el municipio de Huaquechula.

Abarca la ciudad de Puebla y la ciudad de México más cuatro capitales estatales Toluca, Pachuca, Tlaxcala y Cuernavaca.

Comprende 66 municipios completos algunos de los cuáles son: Cholula, Tlahuapan, Ahuazotepec, Lafragua, Chignahuapan, Atztzintla y San Nicolas de los Ranchos. En esta zona quedan incluidas las cuencas de Puebla y Atlixco- Izúcar que están interrumpidas y separadas por lomeríos suaves.

La cuenca de Puebla esta situada al oeste y suroeste del volcán Matlalcuéyetl a una altitud de 2 200m.s.n.m. Es una llanura aluvial con lomeríos bajos, cuyo piso en la porción oeste esta constituido por rocas basálticas. Hay también lomeríos de calizas, especialmente al occidente del volcán.

Al norte, la cuenca esta limitada por una gran meseta con cañadas y al oeste por la Sierra Nevada. En esta sierra, el volcán del Iztaccíhuatl (5230 m.s.n.m.) lo comparten

los estados de Puebla y México y el Popocatepetl (5465 m.s.n.m) compartido por éstos dos más Morelos; entre ellos se encuentra el paso de Cortés, puerto orográfico relevante por su importancia histórica y su accesibilidad.

La cuenca Atlixco–Izúcar cuenta con una altitud menor que la anterior, colinda al occidente con una gran meseta con cañadas y la pequeña sierra compleja de origen volcánico fundamentalmente, al sur de ésta última tiene comunicación con la llanura de Cuautla a través de una franja angosta. (INEGI, 1987)

2.3 Suelos

Se considera (INEGI, 1987) que el 90 % de los terrenos que conforman el estado de Puebla están cubiertos por suelos jóvenes, como los Regosoles y Rendzinas. Se estima que éstos han cambiado muy poco con respecto al material de origen. Por otro lado los suelos maduros como los Lluvisoles y Acrisoles que abarcarían un 10% de la entidad han experimentado grandes cambios internos. Alrededor del 55% de los suelos del estado tienen una profundidad menor de 50 cm al estar limitados por una capa rocosa y se encuentran principalmente hacia el sur. Por otro lado los suelos profundos en algunos casos limitados por piedras gravas o sales se ubican en el centro y norte de Puebla.

Según el INEGI (1984) el suelo predominante en la región de estudio es el fluvisol. Más específicamente para el valle de Atlixco y gran parte del municipio de Huaquechula, el Fluvisol Eútrico es el principal componente, mientras que el Regosol Eútrico es el constituyente secundario. Se considera que la fase física del lugar como pedregosa; apreciándose dos clases texturales: gruesa y media. (INEGI, 1987)

En otros sitios del municipio de Huaquechula como son: La venta y Vallarta se encuentran Feozem Haplico como constituyente principal del suelo y Vertisol Pélico como un componente secundario, para estos lugares la clase textural es media y la fase física pedregosa.

El INEGI (1984) sólo reporta un punto de verificación del suelo en toda la zona y éste se encuentra entre Atlixco y la Trinidad Tepango junto a la carretera que une estas dos poblaciones, a partir de él se dan algunos datos extra de la zona: tiene una profundidad mayor a 100 cm, esta compuesto de 62% de arcilla, 24% de arena y 14% de limo; el PH en agua con una relación 1:1 es de 6.7, contiene 0.4 % de materia orgánica; también se encontraron algunos cationes intercambiables: Ca (Calcio) 8.6, K (potasio) 0.7 meq/100g, Mg (Magnesio) 0.4 meq/100g, Na (Sodio) 0.1 meq/100g, P (fósforo) 1.4 ppm.

El término Fluvisol deriva del vocablo latino "fluvius" que significa río, haciendo alusión a que estos suelos están desarrollados sobre depósitos aluviales. El material original lo constituyen depósitos, predominantemente recientes, de origen fluvial, lacustre o marino y se encuentran en áreas periódicamente inundadas. (<http://www.unex.es/edafo/FAO/Fluvisol.htm>)

Los suelos llamados Feozem se distribuyen en mesetas y llanuras de la porción centro y noroeste del estado; en la provincia del Eje Neovolcánico son en general profundos, en tanto que los del sureste son más someros ya que están limitados por la fase lítica. Generalizando el perfil edáfico se encuentra que la capa superficial está enriquecida con materia orgánica aportada por la vegetación natural, ya sea en cantidad media o alta y ésta lámina tiene de 15 a 30 cm. Algunos de estos suelos presentan una capa subsuperficial en la que se forman terrones y en otros se observa una capa de arcilla. Los colores típicos de estos suelos son pardo oscuro en la parte superficial y cambiando a pardo amarillento o pardo rojizo a medida que aumenta la profundidad. La textura que predomina es la de migajón arcilloso pero también se presentan texturas de migajones arenosos en la capa superficial y arcillas en los horizontes subsuperficiales por lo cuál el drenaje de éstos suelos es de moderado a lento. Los Feozem Háplicos son los más comunes en la entidad y son los que existen en la región de estudio, en particular estos suelos son muy ligeramente alcalinos por su contenido de materia orgánica relativamente bajo. (INEGI, 1987).

2.4 Clima

En el estado de Puebla se presentan casi todas las variedades climáticas existentes y según el INEGI (1987) esto vendría a ser resultado de los siguientes factores geográficos: la ubicación intertropical de la región donde los vientos alisios, cargados de humedad, se hacen dominantes; el hecho de que esté rodeada por importantes sistemas montañosos que tienen contrastes altimétricos que van desde los 200 m en San José Acateno hasta 5610 m en el Pico de Orizaba y finalmente la influencia marítima se deja sentir principalmente en la porción septentrional expuesta a la acción de los vientos húmedos del mar.

Existe una gradación térmica que va desde los climas cálidos de la vertiente este de la Sierra Madre Oriental hasta los fríos con nieves perpetuas en las cumbres volcánicas. Con respecto a su humedad se distribuyen los climas de los húmedos con lluvias todo el año en la Sierra Norte de Puebla hasta los secos en el Valle de Tehuacan. Se puede decir

que en general la marcha anual de la temperatura a lo largo del año presenta una máxima que ocurre principalmente en mayo y la mínima sucede en enero. En los meses veraniegos los vientos alisios llegan cargados de humedad y combinados con fenómenos de convención local, originan que se concentre la máxima precipitación. En otoño las masas de aire son húmedas por la presencia de ciclones y huracanes, en tanto que en la primavera las masas de aire son secas y cálidas. En la entidad se distinguen tres áreas climáticas de las cuáles la que interesa mencionar es la referente a la región del eje neovolcánico.

Climas del eje neovolcánico

Es en esta área donde se da la más amplia gama climática que va desde los cálidos del sur hasta los fríos de las zonas con mayor altitud. El clima predominante es el templado; las precipitaciones se distribuyen en franjas que de norte a sur van de mayor a menor. Desde el clima húmedo con lluvias abundantes en el verano en el que su precipitación anual llega a sumar 2000 mm, al occidente y sur de la Sierra Madre Oriental, así como en la Sierra de Quimixtlán y va disminuyendo conforme decrece la altitud hasta llegar a los 600 mm en la región del centro, donde prevalecen los subhúmedos con lluvias en verano. (INEGI, 1987)

Hacia el sur las altitudes comienzan a disminuir por lo que el clima se torna más cálido, de modo que el clima que se registra en Atlixco es semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Así también el clima de Huaquechula está clasificado como A(C) W₀ (W) según Köppen, modificado por E. García (1981) lo cual significa que pertenece al grupo de los semicálidos subhúmedos.

2.5 Hidrología

Gracias a la configuración del territorio la mayoría de sus corrientes son formadoras importantes de ríos que corren en estados vecinos.

Hidrología superficial

La región de estudio se encuentra inmersa en la región hidrológica Río Balsas. Ésta abarca zonas del centro, oeste y suroeste. Tiene como cuenca principal el río Atoyac que es la corriente formadora más importante del Balsas y esta considerada como su origen.

El Río Atoyac se forma a partir de los deshielos que descienden desde altitudes superiores a los 4000 m.s.n.m. en el flanco oriental del volcán Iztaccíhuatl en los límites del los estados de México y Puebla. En su recorrido recibe aportaciones relevantes por una y otro margen, como son las de los ríos Nexapa, Mixteco, Acatlán, Zahuapan, Alseseca y otros.

Esta porción esta caracterizada por lo accidentado de su topografía y el grado de pendiente de los cauces de sus corrientes. (INEGI, 1987)

La región pertenece a la cuenca del río Nexapa, un importante afluente usado desde la época prehispánica y mencionado por fray Bernardino de Sahagún en su Historia General de las cosas de la Nueva España:

Hay un río que se llama Néxatl, que quiere decir lejía, o agua pasada por ceniza; de esta calidad está un río entre Huexotzinco y Acapetlahuacán, que desciende de la Sierra que ahúma, que es el Volcán, que comienza desde lo alto del Volcán, y súmese bien cerca de él, y torna a salir abajo, por entre Huexotzinco y Acapetlahuacan (hoy Atlixco). Yo vi el origen y lugar donde se sume que es junto a la nieve y el lugar donde torna a salir. (Sahagún en Paredes, 1991)

Las observaciones referidas por el fraile son correctas ya que el origen de este río son los deshielos del Popocatepetl y éste se nutre de varios nacimientos de agua ubicados en distintos sitios de la región, la mayor parte de ellos son permanentes y se ubican en: San Baltasar Atlimeyaya, San Pedro Atlixco, Axocopan, Tochimilco; al sur del valle existen en Santa Ana coatepec y San Juan Huiluco (intermitente); otros se encuentran en Coyula, Tejupa, Aguacomulican y la Soledad Morelos.

Otros sistemas de arroyos que también forman al Nexapa son el sistema río Cantarranas que cuenta con 16 km de extensión y está constituido por el río de san Baltasar y Axocopan. Otros afluentes constituyentes del Nexapa son: el río Huitzilac, Matadero, Ayocua, Aguisoc y Ahuehuello.

Las poblaciones establecieron dependencias específicas para con los afluentes y durante el s. XVI se dieron de la siguiente manera:

Del río Huitzilac dependían las poblaciones de Santa Catalina, Tepanapa, Zacatempa, San Miguel, Santiago Atzitzihuacan, San Antonio Cuautla y Huaquechula. Del sistema del río Matadero dependían la propia población de Tochimilco, Tejupa, Aguacomulican, San Antonio Cuautla y Huaquechula. Del río Ahuehuello que se origina al poniente de huaquechula beneficia a las localidades de Tlapetlahuaya, Santo Domingo Ayolicha, San Lucas Matlala y otras. (Paredes, 1991)

2.6 Vegetación

En el estado de Puebla se desarrollan los siguientes tipos de vegetación: Selva Baja Caducifolia, en el suroeste; Selva Alta Perenifolia en el norte y noroeste; Selva Mediana Subperenifolia, en el sureste; Bosques de Pino-Encino, de Oyamel y Mesófilo de Montaña en el noroeste, oeste y este; matorral crasulaceae, chaparral y mezquital, en el sur y pastizales cultivados e inducidos, que se encuentran intercalados.

La región de estudio se encuentra al sur oeste y colindando con el estado de Morelos, por lo que de acuerdo con el INEGI (1987) la vegetación predominante sería la Selva Baja Caducifolia.

Las condiciones ambientales hacen que sea propicio el desarrollo de árboles como *Bursera* spp., tepehuaje (*Lysiloma* spp), amapola (*Pseudobombax palmeri*), colorín (*Erithyna* spp), pochote (*Ceiba* spp) que son los elementos típicos de la selva baja caducifolia. Estas especies alcanzan alturas no mayores a los 10m, su fuste es de 40 cm aproximadamente y pierden su follaje durante la época seca del año.

Comúnmente se encuentra este tipo de vegetación en estado secundario (arbóreo, arbustivo y hasta herbáceo) pues se explota para uso doméstico y se utiliza como leña y en la construcción de cercas. Algunas zonas de la selva son quemadas para inducir el crecimiento de pastos y en el peor de los casos se desmonta con fines agrícolas lo que da como resultado zonas poco productivas y erosionadas. La selva baja caducifolia abarca aproximadamente 19% de la superficie del estado.

2.7 Fauna

Existen pocas referencias en cuanto a la fauna de la zona para la época prehispánica; sin embargo, para darnos una idea general de los recursos faunísticos se cuenta con información de la zona de Tochimilco y San Juan Huiluco (población adyacente a Huaquechula) que en 1580 se registran los siguientes animales: Guajolotes (*Meleagris gallpavo*), codornices (*Colinus virginianus*), gallinas monteses (*Dendrotyx macroura*) coyotes (*Canis latrans*), venados (*Odocoileus virginianus*), conejos (*Sylvilagus cunicularius*), zorrillos (*Mephitis macroura*) y chapulines (*Tettigonia viridissima*). (Paredes, 1991)

Por otra parte los campesinos de Huaquechula entrevistados mencionan la existencia de los animales registrados en la región más otros que se enuncian a continuación: Huilota

(*Zenaidura macroura*), tlacuaches (*Didelphis marsupialis*), armadillos (*Dasypus novemcinctus*), ardillas (*Sciurus nelsoni*), tejones (*Nasua Larica*), tecolotes (*Athene cunicularia*) y gato montes (*Lynx rufus*).



Foto 2.7.1 Tecolote (*Athene cunicularia*) cazado por un poblador de Huaquechula. Fotografía tomada por Mabel Sánchez Matías (2005).

Capítulo 3. Historia Regional

Para los objetivos de esta tesis es necesario comprender las dinámicas socioeconómicas y culturales a las que ha estado sometida la región donde se encuentra el municipio de Huaquechula y para el análisis de estas dinámicas inmersas en un contexto histórico considero importante hacer un recuento de la evolución regional. La región a la que me referiré es el espacio geográfico que comprende los pueblos de Atlixco, Huaquechula y Tochimilco principalmente pero no de manera exclusiva.



Foto 3.1 Exconvento de Huaquechula. . Fotografía tomada por Norman Sánchez Matías (2005).

3.1 Panorama general de la situación mesoamericana en la zona centro

Tula hasta el siglo XI es una urbe de gran fama, se trata de una metrópoli pluriétnica y entre los grupos que la conformaban se podían distinguir a los chichimecas y los nonoalca.

La caída de Tula en el s. XI origina un conjunto de movimientos migratorios de varios grupos étnicos lo que conduce a un reacomodo geopolítico en el que se forman nuevos señoríos y confederaciones políticas.

La historia tolteca chichimeca (Paredes, 1991) relata que los toltecas llegan a Cholula en el año 1 tecpatl, en tanto que los grupos de nonoalca arriban en la región montañosa de Huaquechula y Huehuetlan.

En tanto que Tochimilco es el pueblo con el registro de gobernantes más antiguo de la región. Yzcocutl es el primer gobernante de este pueblo del que se tiene referencia y se señala que su origen es Tula.

La zona a la cuál nos referimos tiene dos características importantes: 1) que es una zona limítrofe entre el valle de México y el valle poblano - tlaxcalteca y 2) que está inmersa en los grandes movimientos migratorios.

Aproximadamente en el S. XII Huaquechula, Tochimilco y Huxotzinco surgen como señoríos importantes de la región.

Dado que se trata de grupos culturalmente similares, las formas de organización política se basan en la conquista y en la imposición de tributo en bienes y servicios de los pueblos dominados.

Durante la primera mitad del s. XIV y con el apoyo del señorío de Acolhuaque del valle de México, el señorío Huexotzinca inicia el expansionismo militar; así desde 1228 o 1352 y hasta mediados del s. XV emprenden en una serie de guerras contra sus vecinos de las cuales salen vencedores consolidándose como un señorío fuerte y próspero.

La expansión mexicana entre 1440 y 1469 es un nuevo factor de conflicto regional en el cuál se establecen dos polos beligerantes: Tlaxcala-Cholula-Huexotzinco que es conocida como la alianza de la Transmontaña y La Triple Alianza encabezada por los mexicas. Entre los pueblos dominados por los últimos se encuentran: Huaquechula, Tepeaca, Quecholac, Tecamachalco, Tecali, Cuauhtinchan, Tepexic, Itzacan, Huehuetlan los cuales se ocupaban de suministrar alimentos, bienes y servicios.

3.2 Antecedentes prehispánicos de la región

En el S. XVI los poblados de Huaquechula y Tochimilco eran la línea fronteriza entre dos Estados prehispánicos: el de los mexicas y el de los tlaxcaltecas y se consideraba ésta como “tierra de guerra”.

Fray Toribio de Benavente (citado en Rodríguez, 2003) nos refiere acerca de la “tierra de guerra”: *eran los campos a donde se venían a dar las batallas y donde peleaban; y era costumbre general en todos los pueblos y provincias, que en fin de los términos de cada parte dejaban un gran pedazo de yermo y hecho campo, sin labrarlo, para las guerras, y si por caso alguna vez se sembraba...los que lo sembraban nunca lo gozaban porque los contrarios sus enemigos se lo talaban y destruían.*

Pero ¿Cuáles fueron los factores que hicieron de la región una zona conflictiva?

La razón fundamenta era que en este valle se hallaban los límites de los grandes rivales de área mesoamericana a mediados del s. XV.

Por otro lado las presiones particulares a las que estuvo sometida el sitio de estudio se gestaron de la siguiente manera:

De acuerdo con Paredes (1991) existe una confusión respecto a la ubicación de Huaquechula, en su opinión y basándose en historiadores como Motolinía, Torquemada y documentos del s. XVI , el original de Huaquechula o Huehuhuaquechula se situaba en la actual ciudad de Atlixco o muy cerca.

Durante el s. XV cuando Huexotzinco estaba en proceso de ascenso político se produjeron dos enfrentamientos importantes contra Huaquechula, Motolinía en Paredes (1991) narra que aproximadamente en 1400 los huaquechultecas atacaron Calpan, los que huyeron se refugiaron con los de Huexotzinco, así se generó un vínculo entre Calpan y Huexotzinco y éstos atacaron a Huaquechula expulsándolos hasta lo que ahora es Santa Ana Coatepec. Resulta plausible también interpretar los hechos de manera distinta: dado que Huexotzinco era un señorío en expansión es muy probable que estuvieran interesados en el Valle de Atlixco por su situación enclave y sus fértiles tierras, y pudieron ser los huexotzincas que primero agredieron a los de Huaquechula y éstos sólo estuvieran defendiendo su territorio.

Posteriormente los huaquechulenses solicitaron reinstalarse en el mismo sitio (el Valle de Atlixco) permiso que les fue concedido por Huexotzinco y Calpan.

En 1443 se da un nuevo enfrentamiento porque al parecer Huaquechula ataca de nuevo a Calpan pero éste aliado a Huexotzinco no solo repele a los atacantes sino que inicia una persecución contra ellos. La persecución cesa cuando los huaquechultecas logran alcanzar Tochimilco, este señorío los resguarda y les concede el territorio que hasta hoy ocupa el pueblo de Huaquechula. Huexotzinco no se atreve a eliminar definitivamente a los huaquechultecas ya que Tochimilco estaba vinculado a los mexicas.

Huexotzinco librado ya de los huaquechultecas, domina el fértil valle de Atlixco.

Desde el momento en que Tochimilco les permite asentarse a los huaquechultecas se establece una relación de dominio parcial y por tanto considerado como señorío tributario de la Triple Alianza. Así Huaquechula debía pagar tributo consistente en mantas y cacao al señorío de Tochimilco.

Como se verá a continuación la situación geográfica obligaba a Huaquechula a depender de Tochimilco:

Tochimilco, Texopan y Huaquechula dependen del sistema del Río Matadero. En Tochimilco existían los llamados manantiales de Amezaque, Temazcaleque y Tecomala que daban origen al río César o Matadero. (Malpica, S. y M. Castellanos, 2003)

El río Huitzilac aunque no era la única fuente de agua de Huaquechula, se origina en Tochimilco. Santiago Atzitzihuacan, San Antonio Cuautla y Santiago Tetla son las poblaciones pertenecientes a Huaquechula que dependían del río Huitzilac para regar sus sembradíos.

Al ser considerados por los mexicas como tierra de frontera, Huaquechula tenía la obligación de proporcionar servicios guerreros tales como la captura de hombres. Así tanto Atzitzihuacan como Huaquechula se convirtieron en fortalezas mexicas. (Paredes, 1991)

Según Motolinía (citado en Paredes, 1991) los lazos políticos se consolidaron entre los mexicas y los huaquechultecas mediante una alianza matrimonial entre un “indio principal y una señora del linaje de Moctezuma”.

3.3 La conquista y la colonia

La llegada de los españoles al Valle se dio en un momento coyuntural, dos años después del enfrentamiento de Tlaxcala y Tenochtitlán, en el cuál los primeros salieron vencedores reafirmando como los líderes del área Puebla-Tlaxcala. Los tlaxcaltecas con el objetivo de vencer definitivamente a los mexicas se alían a los españoles, mientras que los demás pueblos indios de la región se mantienen indecisos. Es hasta la matanza de Cholula donde los pueblos toman postura: ocho lugares de la provincia de Coaxtlahuaca y Tamazulapan se someten a la corona española; el señorío huexotzinca reafirma la alianza de la transmontaña y acompaña a Cortés en diversas acciones.

En los pueblos bajo dominio mexica la decisión no es fácil, como lo evidencia el caso de Tochimilco: En este pueblo se tiene dos gobernantes uno de los cuáles estaba vinculado directamente con los mexicas, éste reacciona huyendo y el otro gobernante les da paz a los cristianos.

En Huaquechula en un principio se oponen tajantemente a los españoles, pero éstos invaden y derrotan la ciudad y en respuesta a estos hechos los huaquechultecas se unen a los españoles ayudando de este modo al sometimiento de Tenochtitlán.

Una vez finalizadas las acciones bélicas, se da propiamente el asentamiento español en la región:

Esta es una vega que llaman los españoles el Valle de Atlixco, mas entre los indios tiene muchos nombres, por ser muy gran pedazo de tierra...[en este lugar] nace una muy grande y hermosa fuente, de tanta abundancia de agua, que luego se hace de ella un gran río, que va regando muy gran parte esta vega que es muy ancha y muy larga, y de muy fértil tierra. (Motolín en Rodríguez, 2003)

Se consideraba la región muy rica por la fertilidad de su suelo y la calidad y cantidad de agua.

Los españoles teniendo en cuenta la calidad del suelo, de los manantiales y el buen clima deciden asentarse en una franja que parecía no ser de nadie (pero que para esas fechas pertenecía a los huexotzincas) y fundan lo que es hoy el pueblo de Atlixco, desde este punto se proponen dirigir la colonización de la vega. Justifican de manera legal esta acción por el hecho de que se considera como “tierras de guerra” y que no se afectaba a los indios con su ocupación y explotación.

Esto supone un paso importante para la desarticulación de la región ya que al ser paso obligado Atlixco entre los dominios tlaxcaltecas y mexicas, se suspende toda relación entre éstos.

Durante el S. XVI la región sufrió varias divisiones territoriales: primero cada uno de los pueblos perteneció a una encomienda diferente, luego durante el virreinato de Velasco se solicitó que Atlixco adquiriera la calidad de villa con lo que paso a ser Villa de Carrión en 1570 y a finales de este siglo Huaquechula fue adjudicada a su jurisdicción que anteriormente había pertenecido a Izúcar de Matamoros.

Tochimilco en tanto que era un poblado xochimilca y por tanto gobernado por la Triple Alianza, suponía graves conflictos de ser cambiado de jurisdicción, así que permaneció casi sin cambios hasta el s. XVIII.

La situación enclave no paso desapercibida por los misioneros por lo que se decidió construir conventos para hacer evidente el poder de la corona española.

La consecuencia de la segmentación fue que la clase noble indígena perdió poder y con él algunos privilegios; sin embargo, los macehuales sufrieron el despojo de sus tierras de cultivo y se vieron sometidos a toda clase de trabajos forzados. (Rodríguez, 2003)

Durante la época colonial la habilidad de intercambio de los huaquechultecas es utilizada por los conquistadores ya que sabían tratar y contratar en provincias tan lejanas como Piaxtla, Xicalango, Soconusco, Chiapa, Guatemala e incluso algunas costas. Al parecer producto del sometimiento a la triple alianza, desde la época prehispánica los huaquechultecas se habían consolidado como grandes comerciantes dominando las rutas de los pochtecas mexicas.

El objetivo de los españoles era el desmantelamiento del antiguo orden, para lo cual se requería la desarticulación de la región y la creación de un nuevo centro geopolítico. El surgimiento de la ciudad de Puebla en este contexto marca el nacimiento de un sistema hegemónico. Así Puebla se convierte en un importante receptor y abastecedor de alimentos y bienes en general para beneficio propio y de la capital virreinal. Ahora bien, el desarrollo de Puebla estuvo ligado con el Valle de Atlixco ya que era éste el que realmente abastecía los alimentos producto del cultivo de sus fértiles tierras.

3.4 Cosmovisión

La vida de sociedad indígena estaba impregnada por un ritmo religioso, ya que se tenía en cuenta los lazos del humano con la comunidad y de ésta con el universo. La jerarquía de funciones sociales y económicas reviste un carácter ritual al menos en sus orígenes. El tiempo dividido en años de 18 meses estaban llenos de fiestas y celebraciones, lo que era fundamental para la cohesión social. (Malpica, 2003)

De acuerdo con testimonios arqueológicos e históricos de los siglos XVI y XVII, Atlixco tenía una gran importancia religiosa debido a sus santuarios, relacionados a sus manantiales y arroyos.

En San Juan Tianguismanalco se veneraba a un ídolo llamado *Telpuchtle* que según Martínez Marín esta relacionado con Tezcatlipoca. Se reverenciaba a este ídolo con copal y plumas y venían a visitarlo peregrinos de distintos lugares tanto cercanos como remotos como es el caso de los peregrinos de Guatemala. Era en la fiesta del Toxcatl (inicio de las lluvias) cuando se celebraba a *Telpuchtle* y se hacía un gran mercado además de la ceremonia religiosa.

Fray Juan de Torquemada observó que en el Río Cantarranas había “aras y templos que solían ser del demonio” y multitud de ídolos. Por su parte Fray Diego Durán afirmaba que había existido una diosa denominada *Chalchihlicuye*, quien fungía como diosa de los ríos y fuentes que del volcán Popocatepetl emanaban. (Malpica, S. 2003)

Se consideran como las más importantes celebraciones en Mesoamérica:

- 1) El rito del Fuego Nuevo.
- 2) El Rito de la petición de lluvias, el Día del inicio de la vida.
- 3) El rito del fin de la vida o Día de muertos

El rito del Fuego Nuevo se relaciona con el mito del quinto sol, según éste se eligió a un dios para que gobernara la siguiente era, en este caso fue Nanahuatzin, quien se sacrificó en una hoguera para ser el nuevo sol. Los hombres prometen encender el fuego nuevo para recordar el sacrificio y este rito se repite cada año pero principalmente cada dos años para así hacerse merecedores de la vida.

Las otras dos festividades tienen que ver con el ciclo agrícola y de manera simbólica con el ciclo de vida y muerte.

El 3 de mayo finaliza el mes Huye Tozoztli y se inicia el mes Toxcatl, que marca el fin de la estación seca (tonalco) y el inicio de la estación lluviosa (xopan).

En Tochimilco se hacía una peregrinación a una cueva a donde se encontraba una pequeña cascada y cuatro grandes piedras situadas en las laderas del volcán, para realizar el rito de petición de lluvias que consistía en llevar ofrendas a Tláloc.

Esta fiesta marca el inicio del ciclo agrícola del maíz de temporal y el ciclo de la vida: siembra de la semilla, fecundación e inicio de la vida. (Malpica S. y M. Castellanos, 2003)

Es el 3 de mayo cuando se lleva a cabo el rito de la santa Cruz y los habitantes de Tochimilco van al monte del Calvario a visitar al dios de la lluvia.

Por otro lado el 2 de noviembre marca el final de la temporada de lluvias, el final de la vida y es cuando se celebra el ritual de la Muerte, el Día de muertos. De estas fechas Fray Diego Duran (citado en Malpica S. y M. Castellanos, 2003) nos refiere:

...la fiesta particular que cada año le hacían se llamaba Tepeilhutl que quiere decir fiesta de montes...hacían cerros de masa que tenían nombres como Tlaloc, Chalchitlicue, que era la diosa de los ríos y fuentes que de ese volcán salían. Entraban a las cumbres de los cerros a encender lumbres y a incensar copal. Era una fiesta solemnísimas y de gran autoridad...la cual se celebraba el 27 de octubre.

Las celebraciones de Huaquechula

Las celebraciones vigentes del municipio en cuestión muestran la trascendencia de la cosmovisión mesoamericana; en las entrevistas realizadas se pidió a los informantes que mencionaran las festividades más importantes de la región y su motivo. A continuación se presentan las fechas mencionadas:

2 de febrero. La candelaria

Marzo o abril, se celebra la semana santa.

3 de mayo día de las santas cruces

11 de junio festejo a la santísima trinidad

16 de julio se celebra la virgen del Carmen

13 a 15 de agosto se conmemora el tránsito de la virgen María.

8 de septiembre celebración a la divina infantita.

28 de septiembre se hace el enfloramiento a los terrenos.

28, 31 de octubre y 1 y 2 de noviembre se celebran los días de muertos.

11 de noviembre se celebra el Santo Patrón Martín

12 de diciembre se conmemora la aparición de la virgen de Guadalupe.

Aunque las fiestas se muestran asociadas a la religión católica observamos un sincretismo con las antiguas fiestas: el 3 de mayo que marca el inicio de la estación lluviosa del principio de la Vida y los días de muertos que marcan el fin del temporal y por tanto del ciclo de la vida y el ritual de la Muerte.



Foto 3.4. Una semana después del enfloramiento de los terrenos. . Fotografía tomada por Mabel Sánchez Matías (2005).

3.5 Contexto histórico moderno

Durante la colonia se generó una intensa actividad agrícola centrada en el trigo, en este ambiente es donde se dio el mestizaje. Más tarde durante el Porfiriato la población mestiza se encontraba integrada al sistema de peonaje de las prósperas haciendas del valle y por tanto la principal ocupación era la agricultura, sin embargo, la instalación de la fábrica de textil de Metepec (uno de los mayores proyectos de industrialización

nacional del período) modificó la estructura productiva y laboral de la región. (Marroni, 2003)

La región tuvo un papel activo en la lucha armada a favor del movimiento zapatista durante la revolución, lo que permitió que se diera un reparto agrario temprano y amplio, que consolidó las bases de una fuerte agricultura ejidal familiar que predominó en todo el valle por varias décadas. (Marroni, 2000)

El trigo, planta emblemática del dominio español, dejó de ser un cultivo principal y se desarrolló fuertemente la floricultura, cuyo origen se encuentra en el periodo prehispánico. La floricultura generó un mercado que se proyectaba más allá de las transacciones locales por medio de Atlixco –ciudad transformada en centro comercial agropecuario- que se vinculaba a la ciudad de Puebla y de México.

Durante los 50's y 60's las poblaciones cercanas a Atlixco estaban comunicadas por un ramal de ferrocarril Puebla – Cuautla y otras comunidades ubicadas cerca del volcán estaban más aisladas. Pese a este relativo aislamiento todas las poblaciones se encontraban en comunicación con Atlixco y pueblos mayores como (Huaquecula, Tochimilco y Metepec) a través del mercadeo semanal.

En su mayoría la población dedicada a la agricultura estaba vinculada a las tradiciones nahuas.

La familia era patriarcal con un patrón de residencia patrivirilocal, en el cual se privilegiaba la últimogenitura en la herencia de los bienes.

El calendario agrícola, al igual que en los tiempos prehispánicos, regía la mayor parte de actividades de los grupos y de la actividad productiva.

En algunos lugares de la región hay agricultura de riego, lo que permitió más de un ciclo agrícola, esto hizo que se necesitara mano de obra externa a la familia, con lo cual surgió un mercado de trabajo asalariado agrícola regional.

En este contexto los habitantes se dieron cuenta de que algunos de sus vecinos tenían una mejor posición económica y al averiguar porqué, se dieron cuenta de que estas mejoras tenían que ver con una migración a Estados Unidos.

Varios intentaron tardíamente vincularse con el Programa Brasero –que contrataba trabajadores mexicanos dedicados a las labores del campo en Estados Unidos- y pocos de ellos alcanzaron a migrar por medio de este programa

Durante los 70's la producción de riego fue limitada, las políticas macroeconómicas liberales pusieron restricciones a la agricultura de subsistencia, la frontera agrícola no se expandió al ritmo del crecimiento poblacional por lo que el mercado de trabajo ofrecía

pocas posibilidades; el cierre de las fábricas textiles obsoletas no fue sustituida por actividades productivas capaces de generar empleos.

Así las cosas se dio una crisis en la agricultura familiar que estaba centrada en las tierras de temporal, los habitantes de la región ya sea con el objetivo de capitalizar el predio o la urgencia de contribuir a la subsistencia familiar emprendían de manera ilegal la migración hacia Estados Unidos de América. La migración se constituye entonces como una de las más importantes estrategias de sobrevivencia incorporada a la reproducción social de los grupos, lo que tiene como consecuencia la transformación de varios ámbitos de sus vidas.

Gracias a los “migradólares” es que las fiestas comunitarias tradicionales se revitalizan, con lo que se contribuye a la recreación de sus identidades étnicas.

Las costumbres en torno a la organización familiar sufren el embate de nuevas ideas como producto de la migración y de la apertura de las comunidades. (Marroni, 2003)

Se incorporan bienes, utensilios y aparatos de todo tipo no sólo en la vida cotidiana del hogar sino en las formas de explotar la tierra o de producir otros bienes. (Marroni, 2003)

Por ello las comunidades indígenas con corrientes migratorias a Estados Unidos son altamente complejas en su nueva identidad. (Marroni, 2003)

En el caso de Huaquechula algunas personas migraron en la década de los sesenta y setenta pero una economía del cacahuete en auge, así como un amplio mercado regional para el trabajo asalariado en la agricultura proporcionaron la base para la reproducción de los hogares y la gente que había migrado regresó.

Sin embargo cuando las ganancias del cacahuete se desplomaron y los precios en la agricultura cayeron en picada los jóvenes se introdujeron en las redes migratorias que crecían rápidamente y se fueron a Estados Unidos.

En Huaquechula las remesas se dedican principalmente a la construcción de viviendas y la creación de pequeños negocios (Binford, 2003) lo que implica que están más enfocados al sector de servicios que al sector productivo.

3.6 Agricultura tradicional

3.6.1 Agricultura prehispánica

Paredes (1991) basándose en los estudios de Armillas (1949) y Palerm y Wolf (1972) nos señala que en la región se practicaba una agricultura intensiva y con regadío en la época prehispánica.

También se tienen referencias para Huaquechula y Tochimilco de la existencia de acequias y caños los cuáles se usaban desde “tiempo inmemorial”.

Las toponimias de los asentamientos de la región nos refieren a regadío y agua en general: Amilli que significa ragadío, hoy Zacualpan de Amilpas; Atlixco que significa encima del agua; Tlacoatl que quiere decir partición de agua y otros términos nahuas que nos insinúan la presencia de agua: Atlimeyaya, Axocopan, Atzitzihuacan y Atlayehualco.

Para este período se tiene conocimiento de una red de intercambio en el área de Puebla-Tlaxcala que permitía la circulación de productos no generados en el área lo que implica una interrelación de señoríos y regiones productoras.

Sin embargo, el estado de guerra en el S. XV provocó pérdida de la mano de obra y el descuido y abandono de terrazas y obras hidráulicas.

También se sabe de sistemas de irrigación a ambos lados del río Nexapa, es el caso de los huexotxincas quienes conducían el agua de este afluente en temporada de secas hacía los sembradíos. Por ello se infiere que en la zona existía agricultura de temporal combinada con riego.

Otra forma del manejo del agua, es el almacenamiento por medio de represas del agua de lluvia que corría en forma de arroyos intermitentes y hoy día en estos sitios de estancamiento de agua, se encuentran jagüeyes de construcción antigua.

Según Paredes (1991) en el área de estudio había los siguientes tipos de sistema de uso de la tierra:

- 1) Sistemas de cultivo con descanso largo. Situados en el monte y su período de descanso excede al de uso
- 2) Sistemas de cultivo con descanso corto en yerbazal o zacatal. El período de uso excede o iguala al descanso
- 3) Sistemas de cultivo anual. El descanso es de unos meses
- 4) Sistemas de policultivo. Se obtienen una o más cosechas sucesivas al año en el mismo terreno.

Aunque no se tengan evidencias directas el hecho de que no hubiera asentamiento importante en el valle de Atlixco sugiere que la totalidad del valle se aprovechaba agrícolamente.

Agricultura en Tochimilco y Huaquechula.

Como ya se había mencionado con anterioridad Huaquechula estaba en una situación de dominio parcial con respecto a Tochimilco ya que éste controla los ríos Huitzilac y Río

Matadero. La situación de dependencia y de obligación de tributo de Huaquechula hacia Tochimilco se mantuvo, hasta que en 1530 los españoles por medio de la orden franciscana intervinieron presionando a los tochimilcas para que dejaran pasar mayor cantidad de agua y eximieron del tributo a los huaquechultecas.

Paredes (1991) supone que la presencia de pedregales y barrancas obligó a los pobladores a recurrir a diversas formas de cultivo y uso de suelo para un aprovechamiento intensivo. Entre las técnicas para intensificar el uso de las tierras se encuentra la construcción de terrazas en las laderas de los cerros, de lo cual se tiene evidencia para Tochimilco. La función de las terrazas es incrementar la profundidad del suelo, aprovechar la capacidad de absorción y conservación de la humedad; conservación de los suelos e impedir la erosión.

Repertorio de plantas cultivadas

Al igual que en todo el territorio mesoamericano en esta región se cultivaba el maíz (*Zea mays*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) y la calabaza (*Cucurbita pepo*) que en conjunto constituían la base de la alimentación. Se tiene registro de que en Tochimilco en el s. XVIII se sembraba el maíz y el frijol en asociación; es decir de manera simultánea.

También se cultivaba la chia (*Salvia hispanica*), alimento común usado como bebida y para producir harina o aceite.

El chile (*Capsicum annum*) según algunos registros se cultivaba con riego en Tejupa. Ocopetlayuca y Axocopan.

Se conoce que en Tochimilco se sembraron frutales tales como zapote (*Diospyros digyna*), la guayaba (*Psidium guajava*), el tejocote (*Crataegus pubescens*), aguacate (*Persea americana*) y chayotes (*Sechium edule*).

Asimismo se tiene noticia de plantaciones de maguey (*Agave spp*) que tenía diversos usos.

Al sur de la región se cultivaba una planta de importancia textil: el algodón (*Gossypium hirsutum*), las poblaciones que lo sembraban eran: Tejupa, Atzitzihuacan y Huaquechula en una zona bien irrigada. El algodón tuvo una importancia en la industria textil en general así como también en la elaboración de indumentaria guerrera.

El nopal (*Opuntia spp*) cultivado en un principio principalmente por sus propiedades alimenticias, se convirtió en una plantación importante durante la colonia porque en el

se cría la grana cochinilla de la cuál se obtiene un tinte purpúreo ocupado en varias formas.

Asimismo de manera natural se dan los guajes (*Leucaena leucocephala*) que se usan en la elaboración del guasmole, un platillo típico de la región; los guamuchiles (*Pithecellobium dulce*) usados para acompañar el atole o comerlos solos; los carrizos (*Arundo donax*); palo mulato (*Bursera* spp) y el cacaloxochitl (*Plumeria rubra*).

3.6.2 Agricultura de los españoles

La penetración española en Huaquechula y Tochimilco se realizó en torno a los múltiples arroyos y nacimientos de agua que riegan la zona a partir de mercedes virreinales. (Paredes, 1991)

De acuerdo con Paredes, 1991 quien inicia la explotación agrícola después de la conquista es Diego de Ordaz en 1530 y comienza ésta con la introducción de cerdos y otro tipo de ganado. El desarrollo económico inicial del valle de Atlixco es la ganadería. Dada la importancia del trigo en la dieta española, la agricultura de los españoles se dedicó a este rubro. La primera cosecha de trigo en el valle se registró entre 1535 y 1536. La producción triguera del valle sobrepasaba en cantidad y calidad otras de otros lugares del virreinato, lo que marcó la región como un importante abastecedor en los mercados del dominio, además de contar con prerrogativas legales y económicas por parte de la autoridad virreinal.

El cultivo de la vid fue en un inicio apoyado pero el temor a perder los ingresos por concepto de impuesto sobre el vino, hicieron que su cultivo se prohibiera.

Otros frutos fueron introducidos por los españoles en 1534 y posteriormente adoptados por los indígenas: olivo, manzano, granada, naranjo, higuera, limón, membrillo, melón y pepino.

La agricultura española también patrocina el cultivo del maíz ya que lo requerían para la alimentación de los nativos a su servicio y para alimentar algunos animales domésticos.

La cebada se comienza a cultivar en Cholula pero pronto se extiende al valle de Atlixco, apreciada por su valor alimenticio para el ganado.

En el lapso de un siglo (del s. XVI al XVII) la caña de azúcar alcanzó un cierto apogeo y por tanto un valor comercial, sin embargo después comenzó a decaer. El plantío español del cual se tiene registro se encontraba entre Huaquechula y Tochimilco al parecer suplantando el cultivo de algodón.

El garbanzo también fue una importante aportación de los españoles ya que se aprovechaba como alimento de humanos y de animales, además de fijar nitrógeno atmosférico.

Durante algún lapso relativamente corto se cultivaron moreras (*Morus alba*) con el objetivo de criar gusanos de seda, pero los vendedores de seda oriental presionaron para hacer caer estos cultivos.

En el área textil fueron cultivos destacados: el cáñamo (*Cannabis spp*) con el cual se elaboraban cordeles, mechas, tirantes de coche y la grana cochinilla importante para el proceso de tinción de las telas. El cáñamo se comenzó a sembrar en 1570 y dos siglos después todavía era producido en la región.

Esto sentó las bases para el desarrollo de una industria textil que se vio materializada en la construcción de fábricas dedicadas a la producción de telas durante el s. XX. (Paredes, 1991)

Tecnología

Los españoles dirigieron su atención al uso y manejo del agua, por lo que construyeron obras hidráulicas o remodelaron las existentes hechas por los indígenas.

Entre los implementos agrícolas introducidos uno de los más relevantes es el arado y el uso de los animales de tiro, ya que estos elementos en combinación hacían que el esfuerzo para el proceso agrícola fuera menor, de modo que se podía ampliar el área de cultivo. La hoz y el azadón fueron también herramientas primordiales.

Los sistemas de cultivo empleados por los españoles eran: uso intensivo de la tierra y uso extensivo o discontinuo.

La intensidad de uso de la tierra se incrementaba en los humedales ya que estos terrenos no dependían del temporal y podían sembrarse en la temporada seca. En la actualidad no existen humedales en la región.

Según una reconstrucción del calendario del ciclo agrícola del trigo y su proceso de producción en el s. XVI ocurría de la siguiente manera:

La primera siembra se hacía en los meses de julio y agosto para cosecharse en octubre y diciembre, en esta se aprovechaba las lluvias de temporal.

La segunda siembra se hacía en los últimos meses del año para cosecharse en febrero y abril.

Este uso intensivo de la tierra, al parecer y basándose en los rendimientos totales de producción, no provocó el agotamiento de la misma. Paredes (1991) especula que los

hábitos de alternar el cultivo de leguminosas, aterrazamiento con magueyes y el descanso eventual de la tierra, protegieron a los terrenos de este desgaste.

Capítulo 4. Origen y situación del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.)

4.1 Origen y centro de domesticación del cacahuete

El cacahuete planta cultivada en todos los continentes, tiene distintos nombres. Entre los más conocidos: Peanut, groundnut, earth nut, goober pea, cacahuete, maní.

En México fue conocido desde épocas prehispánicas como lo refleja la existencia de un nombre para la planta en distintas lenguas indígenas, por ejemplo:

Cacahu (totonaco del norte de Puebla), cacahuuaa (lengua cora, Nayarit), Jmai (lengua otomí), Nashcágao (popoloca, Sayula, Veracruz), Tlalcacáhuatl (mexica), Tuchunde (lengua popoloca, Puebla-Oax).

En el mundo hispano también tiene distintos nombres: cacahuey, cacahué, cacahuete, maní, avellana americana, pistacho de tierra.

Es necesario hacer una distinción entre el origen geográfico y el centro de domesticación ya que en varias fuentes se encuentra esta confusión.

De acuerdo a Gispert M (2005 com. pers.) el origen geográfico se refiere al lugar de donde la planta procede en su estado silvestre en tanto que el centro de domesticación es aquel sitio(s) donde se encuentra evidencia de uso humano y por tanto certidumbre del cultivo de la planta.

Origen geográfico

- a) El género *Arachis*: origen y distribución.

Existía anteriormente la confusión del origen del cacahuete, se pensaba que provenía de África.

Actualmente se sabe con certeza que proviene de Sudamérica aunque existe discusión para establecer con mayor exactitud el sitio. En concordancia Kaprovickas (1969) dice que la distribución natural del género abarca el área de Sudamérica limitada por el Amazonas al norte, el Río de la Plata en el Sur, el Océano Atlántico en este y las faldas de los Andes en el oeste.

Se considera la región de Matto Grosso como el centro de origen de género ya que en investigaciones realizadas este sitio es el que presenta una mayor diversidad genérica.

Sánchez (1992) postula que la diferenciación específica e intraespecífica ha ocurrido siguiendo las depresiones de drenaje y las playas de los ríos de los continentes.

Gregory et al. (1973) propone que uno de los productos de la evolución del género es el hábito geocárpico.

Centro de domesticación.

b) Arachis hypogaea L: Origen y distribución.

La confusión que en años pasados había con respecto al origen geográfico del cacahuete se extiende a la duda del centro de domesticación; el lío se debe en principio a las descripciones hechas por Plinio y Teofrasto, quienes mencionaban la existencia de plantas cultivadas, con fructificación subterránea, en Egipto y otras regiones de la cuenca del Mediterráneo pero tales descripciones se referían a *Lathyris tuberosa*.

Brasil ha sido considerado por varios investigadores (De Candolle citado en Mazani, 1963; Standley, 1946; Allen y Allen, 1981 en Acevedo, 1992) como el centro de domesticación.

Sin embargo otros textos basados en estudios botánicos y etnobotánicos, tales como la variación de *Arachis hypogaea* y la diversidad de usos del cacahuete (Kaprovickas, 1969; Spedding, 1988), sostienen que el sitio de domesticación fueron las faldas de los Andes Bolivianos. La evidencia arqueológica (Spedding, 1988 y Sánchez, 1992), nos dice que el cacahuete era conocido en el Perú costero desde el segundo milenio A.C. Específicamente el descubrimiento de granos semejantes a las variedades actualmente cultivadas en Perú en tumbas situadas en Ancón, Pachamac constituye una prueba objetiva de esta región como centro de domesticación.

Dado que se ha encontrado compatibilidad entre la especie silvestre *A. monticola* y *A. hypogaea*, se considera a la primera como ancestro silvestre de la segunda (Sánchez Domínguez, 1992).

Según Kaprovickas, 1969 existen seis centros de diversidad secundaria como lo ilustra la siguiente figura:

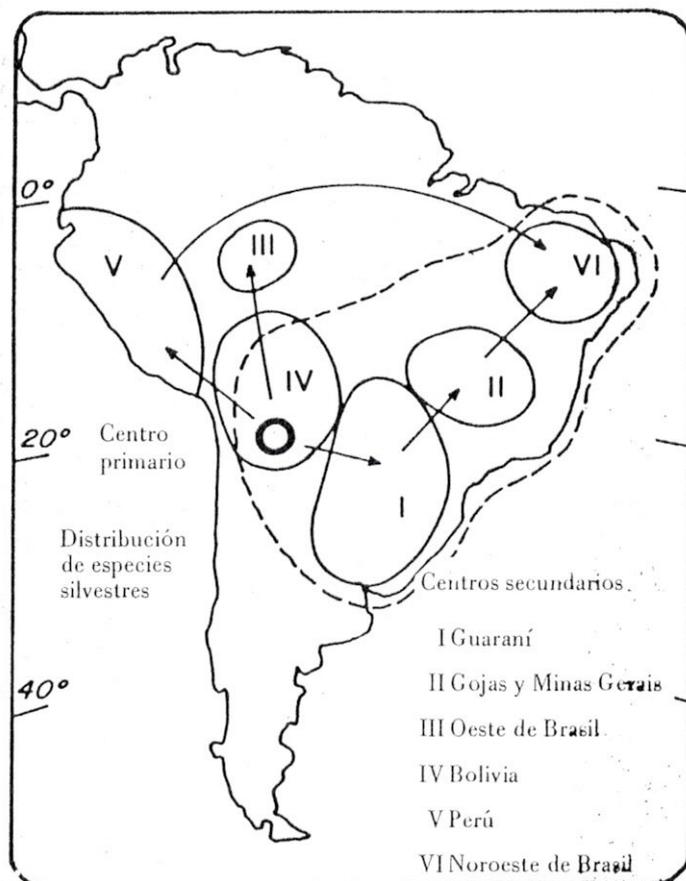


Fig. 1. Centros de origen y diversidad del cacahuete, *Arachis hypogaea* L. (tomado de Sánchez Domínguez, 1992)

- I. Región Guaraní. Incluye gran parte de las riveras de los Ríos Paraguay y Paraná (Cuyos límites se extienden al noroeste de Argentina, este de Paraguay y sureste de Matto Grosso y oeste de Sao Paulo en Brasil. Tiene riqueza en variedades *fastigiata* y pocas de la subespecie *hypogaea*. Se piensa que las variedades *valencia* y *spanish* pudieron evolucionar en esta región.
- II. Sureste de Brasil (Goais y Minas Gerais). Comprende las riveras de los ríos Tocantin y Sao Francisco. Predominan las formas de la subespecie *fastigiata* y los tipos *spanish* se observan con mayor frecuencia.
- III. Oeste de Brasil (Rondonia y noroeste de Matto Grosso). *Arachis villosulicarpa* es una especie silvestre diploide con frutos bastante largos se cultiva en esta región.
- IV. Bolivia (cuestas orientales de los Andes). Predomina en esta región *hypogaea* y presenta una gran variabilidad para sus caracteres morfológicos.

- V. Perú. En la región se encuentran los cacahuates más primitivos del tipo Valencia (var. *Fastigiata*) caracterizados por frutos muy constreñidos y picudos con pericarpios reticulados y muy gruesos.

4.2 Situación del cacahuete

El cacahuete aunque originario de Sudamérica cuenta con una larga tradición en nuestro país, es utilizado como fruto fresco, tostado, botana o en diversos platillos mexicanos. Fue en el s. XVI cuando los portugueses se llevaron a *A. hypogaea* a Europa donde fue cultivado en cantidades limitadas en plantaciones familiares; también fueron los lusitanos quienes se encargaron de difundir este cultivo a la costa occidental de África; mientras que los españoles lo llevaron a Filipinas de donde se expandió a China, Japón, Australia e India. A finales del s. XIX se introdujo en Francia y posteriormente a E.U.A. donde se empezó a cultivar a gran escala.

El cacahuete en el medio internacional

Durante los últimos ciclos (1988/99 – 2000/01) la producción mundial del cacahuete se ubico como la cuarta más importante dentro de la producción mundial de semillas oleaginosas, con un volumen que representó 10% del total Ortega C. y R. Ochoa (2003). Ver tabla 4.2.1

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE OLEAGINOSAS (millones de toneladas)					
	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02*	2002/03**
Frijol Soya	159.8	159.9	175.1	184.3	188.8
Semilla de Algodón	32.6	32.9	33.5	36.6	33.2
Cacahuete	29.8	29.0	31.1	33.1	31.7
Girasol	26.6	27.2	23.3	21.3	23.2
Colsa	35.9	42.5	37.6	35.9	32.0
Capra	4.4	5.5	5.9	5.3	5.3
Almendra de palma	5.6	6.4	6.9	7.2	7.4
Mundial	294.7	303.4	313.4	323.5	321.7

Tabla 4.2.1 Producción mundial de oleaginosas. Tomado de Ortega C. y R. Ochoa (2003).

De los países productores destacan: China con 40%, India con 24 %y Estados Unidos con 6%, lo que en su conjunto representa 70% de la producción mundial de cacahuete.

Debido a la cercanía geográfica y a al hecho de que E.U.A. es el principal socio comercial se deben considerar algunos aspectos relevantes de la producción en ese país.

Entre los estados que contribuyen mayoritariamente a la producción de cacahuete se encuentran: Georgia con 37.7%, Texas con 23.2 %, Alabama con 10.5%. La variedad

Runner es la dominante entre los productores gracias a sus rendimientos y al gran tamaño del grano, ésta es usada para la elaboración de mantequilla.

La variedad Virginia es la que tiene el grano más largo y se utiliza en la industria del tostado para venderlo como cacahuate salado. La variedad Valencia se caracteriza por ser dulce y se vende tostado. La variedad Spanish tiene los granos pequeños y se usa básicamente en la industria de los confitados, también es valorada por su alto contenido de aceite. El aceite del cacahuate es de alta calidad (similares al de olivo) para la elaboración de alimentos por su sabor y olor neutros. (Ortega C. y R. Ochoa, 2003)

Durante el transcurso de 1998 la República Mexicana obtuvo ingresos por más de 3,000 millones de dólares por concepto de exportaciones únicamente hacia E.U.A.

Algunas compañías extranjeras al considerar la calidad de nuestro cacahuate han decidido invertir en nuestro país. ASERCA (1995) recomienda la integración de productores en asociaciones que permitan competir de manera más equitativa a nivel internacional.

El cacahuate en el mercado

En el centro y sur del país la comercialización se realiza a través de intermediarios que concentran la producción de diversos agricultores, los que prefieren vender su cosecha a precios bajos pero obteniendo liquidez inmediata para cubrir sus gastos a corto plazo. La desventaja es que la mayor parte de las utilidades se quedan en el intermediario. Para obtener mayores ingresos por la venta de un producto es recomendable darle un valor agregado, dos derivados del cacahuate se comercializan en el mercado: la harina y el aceite de cacahuate.

En México el 12% de la producción se destina a la elaboración de aceite, crema de cacahuate y otros productos industrializados como tintas, lápices labiales, colores y jabón. El 88% restante se usa para consumo directo: palanquetas, garapiñados, dulces y botanas.

Producción y rendimiento del cacahuate en México

Al analizar la producción de cacahuate se debe considerar que 77% de ésta se obtiene en condiciones de temporal y que sólo 23% hace uso de los sistemas de riego.

Dadas las condiciones climáticas y edafológicas de México, el cacahuate se siembra en la mayor parte del territorio nacional; sin embargo, sobresalen tres estados que en conjunto generan 50 % de la producción nacional de cacahuate en el periodo de 1989 – 2001: Puebla, Oaxaca y Chihuahua, como se muestra en la siguientes gráfica:

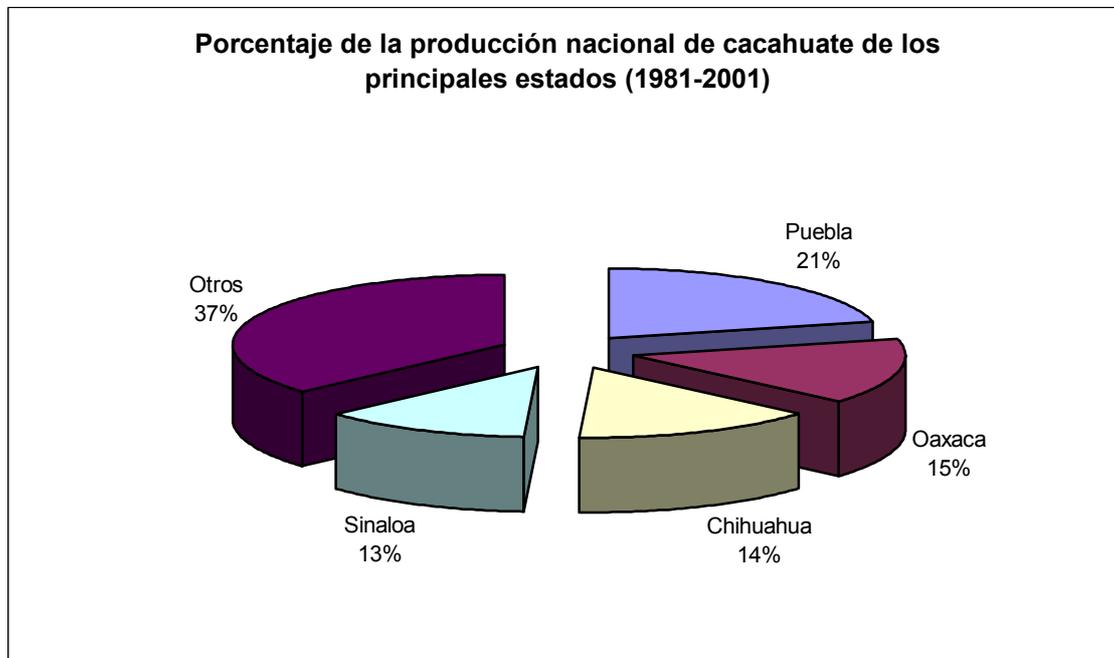


Gráfico 4.2.1 Porcentaje de contribución a la producción nacional de cacahuate de los estados más importantes en cuanto a producción cacahuatera. Basado en datos de ASERCA (1995) y Ortega C. y R. Ochoa (2003).

Puebla había sido el principal productor de cacahuate en el periodo de 1989 a 1997 pero después de ese año su producción se empieza a empatar con otros estados.

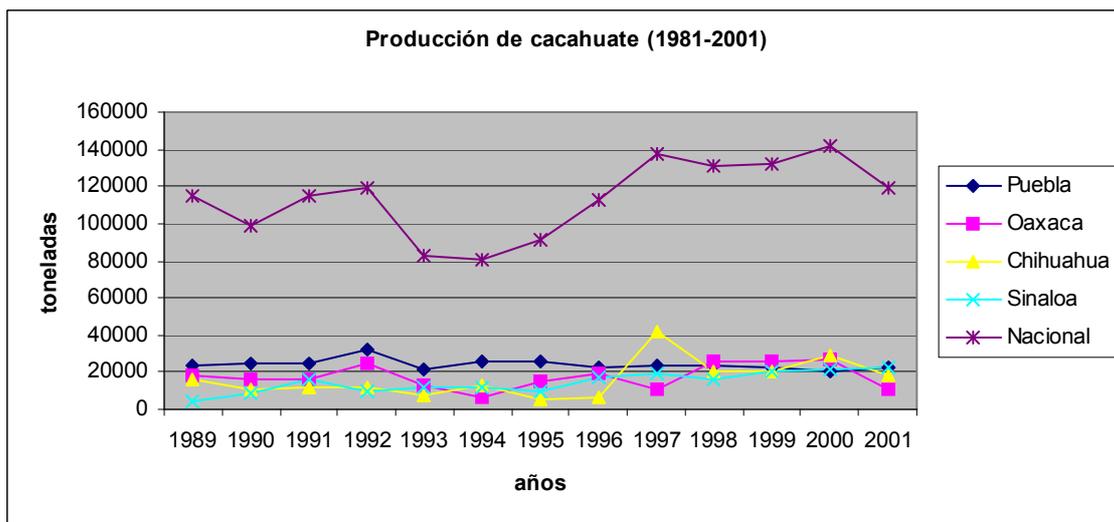


Gráfico 4.2.2 Producción de cacahuate en toneladas para el periodo de 1981 - 2001 de los principales estados agricultores de cacahuate y la producción nacional. Basado en datos de ASERCA (1995) y Ortega C. y R. Ochoa (2003).

Un indicador de la actividad agrícola es la cantidad de superficie que se siembra para algún cultivo en particular, en el caso de cacahuate se muestra el siguiente gráfico:

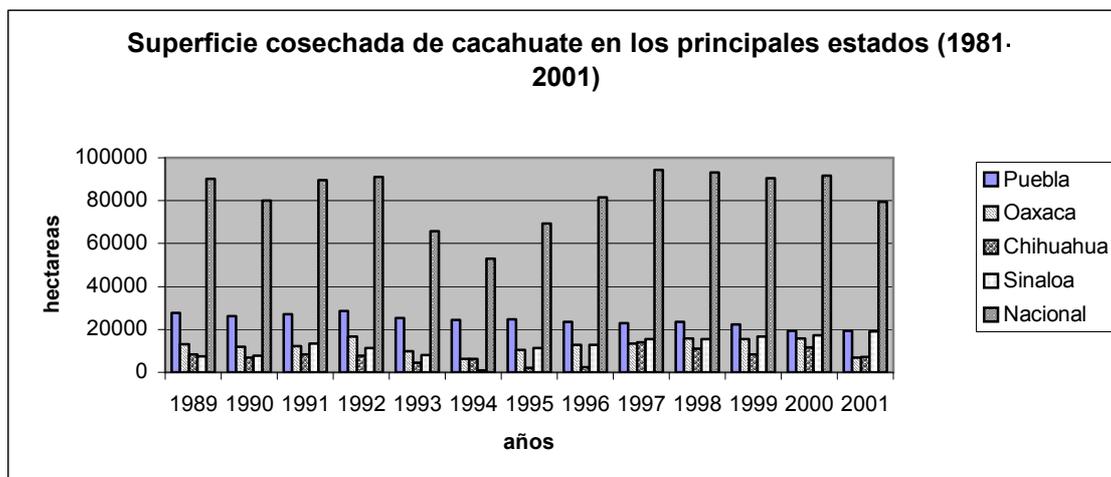


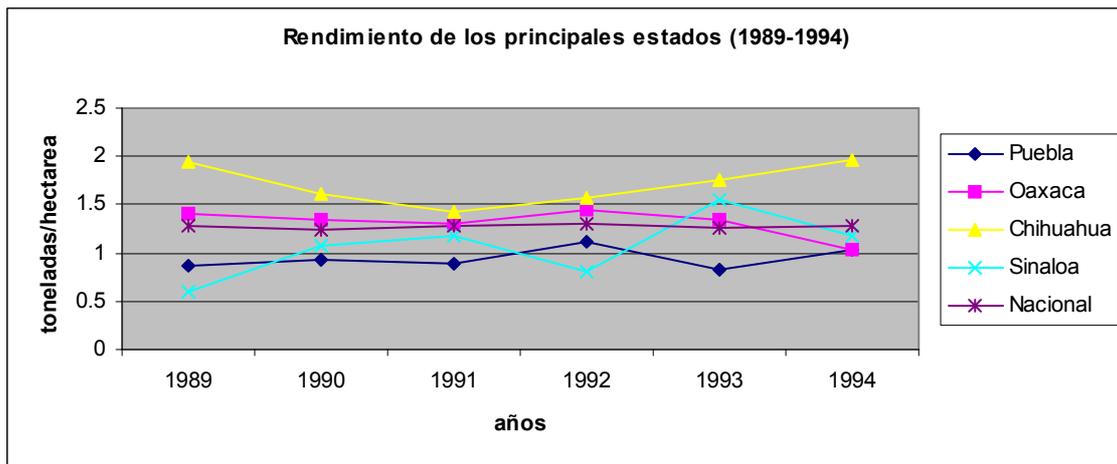
Gráfico 4.2.3 Superficie cosechada (hectáreas) de cacahuate en los principales estados para el periodo de 1981 - 2001. Datos tomados de ASERCA (1995) y Ortega C. y R. Ochoa (2003)

Puebla es la entidad que cuenta con más superficie sembrada, no obstante, el área dedicada a este cultivo se redujo en el periodo que comprende de 1989 a 2001.

También es interesante resaltar que a nivel nacional la superficie siniestrada osciló entre el 2 y 3% anual, lo que nos dice que es un cultivo muy resistente. En Puebla la superficie siniestrada fue prácticamente nula de 1998 a 1994 debido probablemente a que los productores tienen una larga experiencia y conocen los procedimientos para evitar daños a las cosechas aunado al hecho de que existen condiciones agrometeorológicas apropiadas para este cultivo.

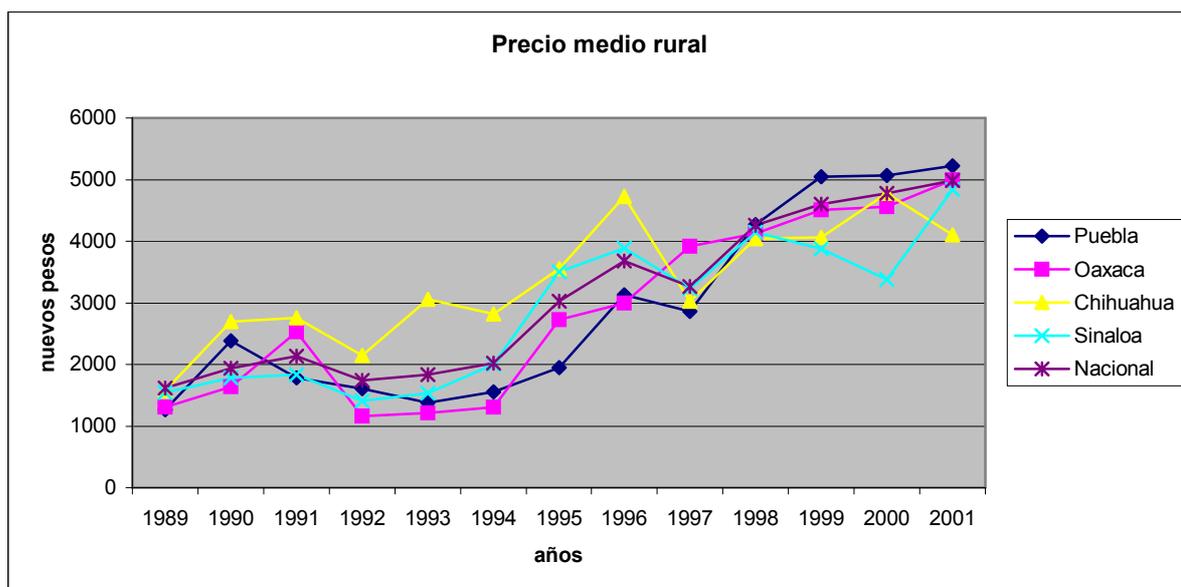
En el INIFAP Chihuahua se demostró que con adecuada planeación se pueden obtener rendimientos de hasta 3 ton/ha. El rendimiento del país en 1989 fue de 1.277 ton/ha mientras que en 1994 fue de 1.29; pese a este incremento se puede decir que probablemente las tecnologías no se han modificado.

Como lo muestra la gráfica Chihuahua es la entidad que tiene el más alto rendimiento, mientras que Puebla estaría entre los estados de bajo rendimiento.



Gráfica 4.2.4 Rendimiento en toneladas sobre hectárea de cacahuete en los principales estados productores. Basado en datos de ASERCA (1995) y Ortega C. y R. Ochoa (2003).

Tanto ASERCA (1995) y Ortega C. y R. Ochoa (2003) tratan de dilucidar a que factor esta vinculado el comportamiento de la producción cacahuatera en México; ASERCA, 1995 asocia las caídas en producción a la caída de precio del producto, mientras que Ortega C. y R. Ochoa (2003) opinan que la producción de cacahuete no esta relacionada directamente con las pautas de precios nacionales del grano ya que presentan una tendencia alcista, entonces el comportamiento de la producción de cacahuete se debería a la introducción de cacahuete chino, argentino y de estadounidense que aunque no compiten en calidad el precio es más bajo, lo que lleva a los industriales a castigar el precio pagado a los productores nacionales.



Gráfica 4.2.5. Precio medio rural en el periodo de 1989 a 2001. Basado en datos de ASERCA (1995) y Ortega C. y R. Ochoa (2003).

Capítulo 5. Características biológicas del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.)

5.1 Descripción de *Arachis hypogaea*.

Se consideraba al genero *Arachis* como dentro de la familia Leguminosae, pero después de una revisión taxonómica este genero fue colocado en la familia Fabaceae. De modo que la clasificación taxonómica de *Arachis hypogaea* queda así (Krapovickas y Gregory. 1994):

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Papiloneaceae

Género: *Arachis*

Morfología

La especie *Arachis hypogaea* fue descrita en primera instancia por Linneo en 1753 y durante bastante tiempo fue la única especie conocida del genero.

Los cacahuates cultivados son erectos o rastreros y también pueden clasificarse por el tipo de ramificación. (Bunting en Gillier y Silvestre, 1970):

- a) Tipo secuencial. Las inflorescencias aparecen en diversos nudos sucesivos de las ramificaciones y en general, las ramillas vegetativas dejan de formarse cuando aparecen las ramillas reproductoras. Lo que significa que cuando aparecen las primeras flores la planta ha dejado de crecer a lo que se le llama también cacahuates de crecimiento determinado. Estos cacahuates son siempre erectos. Los grupos “Valencia” y “Spanish” pertenecen a esta clasificación y se consideran variedades precoces.
- b) Tipo alternado. Dan sucesivamente dos ramillas vegetativas y dos ramillas reproductoras y las ramificaciones alcanzan un orden elevado y reproducen la misma secuencia alternativa. Tienen crecimiento indeterminado, ya que la planta sigue creciendo aunque aparezcan las flores. Estas matas de cacahuete pueden

ser rastreras o erectas. Dentro de esta clasificación se encuentra el grupo “Virginia” que se trata de una variedad tardía.

El tallo principal y las ramificaciones primarias miden entre 0.20 y 0.70m de longitud según la variedad y las condiciones ecológicas.

Las ramificaciones son herbáceas de color que puede ser verde claro, verde oscuro o púrpura.

La médula central desaparece con el tiempo por lo que los tallos viejos son huecos. (Ustimenko y Bakumovski (1982) en Acevedo (1992))

El sistema radical esta formado por una raíz central que en suelos pesados llega a profundizarse 50 a 60 cm, en los ligeros hasta 120 cm. (200 cm como máximo). En buenas condiciones las raíces laterales se extiende hasta 150 cm. El sistema radical principal ocupa básicamente la capa superior del suelo a un profundidad de 0-50 cm.

Esta fabacea, como las leguminosas, presenta nódulos en las raíces, que muestra su asociación con la bacteria *Rhizobium leguminosarium* que fija el nitrógeno atmosférico. (Gillier y Silvestre (1970), Ustimenko y Bakumovski (1982) en Acevedo (1992))

Las hojas son pinadas generalmente con 4 pares de foliolos. El pecíolo que los sostiene mide de 4 a 9 cm de longitud. Los foliolos son oblongos u ovo-aovados de 4 cm de largo, ligeramente puntiagudos en el ápice, de color verde mas o menos oscuros a amarillo variable.

En los nudos mas bajos las hojas pueden quedar reducidas a simples escamas, los estomas están en ambas caras de los foliolos y tienen un mesófilo esponjoso capaz de retener agua. (Gillier y Silvestre (1970); Ustimenko y Bakumovski (1982) en Acevedo (1992) y Cubero y Moreno (1983))

La inflorescencia es muy reducida (como espigas de tres a cinco flores) y se presenta como ramilla vegetativa.

Las flores son amarillas, papilionáceas, sentadas y auto polinizadoras. Las anteras maduran antes de que se abran los capullos, la flor tiene la corola amarilla, el ovario es sésil y unicarpelar.

El cáliz esta compuesto de cinco sépalos soldados por sus bases en un tubo calcional pubescente. En la parte superior cuatro sépalos permanecen soldados para formar un labio superior, el quinto de ellos forma un espolón.

Después de la fecundación empieza la división de células en el ovario que va alargandose formando un pedúnculo fructífero-ginoforo (la aguja), geotrópicamente positivo.

Dependiendo de la variedad las flores pueden ser aéreas como ocurre en las variedades tardías o subterráneas para el caso de las variedades precoces.

La “aguja”, es decir, la infrutescencia se entierra de 2-3 cm en las formas arbustivas y de 5 – 6 cm en las formas rastreras.

El mal llamado ginoforo es en realidad un carpoforo que tiene unas estructuras alargadas pluricelulares que realizan absorción.

Es por todo esto que se considera al cacahuete una planta geocarpica ya que la formación de los frutos es subterránea y parece ser que es una adaptación a las condiciones de aridez y calor. (Gillier y Silvestre (1970); Ustimenko y Bakumovski (1982) en Acevedo (1992) y Cubero y Moreno (1983))

El fruto del cacahuete es una vaina dehiscente pero indehiscente funcionalmente, de forma oblonga, de 1 a 8 cm de largo y 0.5 a 2 cm de ancho, puede contener 1 a 6 semillas.

Como ya se mencionó después de la fecundación se forma “la aguja” en cuyo extremo se desarrollara la vaina después de su penetración en el suelo. “La aguja” como la llaman los campesinos, despliega unos pelos absorbentes que hacen que tenga también función de raíz.

El pericarpio del fruto posee dos zonas definidas: el exocarpio que se escamará y formará la parte externa reticulada de la cáscara y el endocarpio parenquimatoso. El mesocarpio es continuo.

Las semillas están formadas por un embrión de dos cotiledones y un eje recto, un tegumento seminal delgado y apergaminado. El eje tiene un epicótilo de tres yemas que contiene los elementos de seis a ocho hojas y una radícula maciza, por lo que se considera una protoplántula. La radícula es la parte mas delicada ya que si durante su cosecha o posterior manejo esta se ve negativamente afectada, esto podría provocar un deterioro fisiológico. (Darold, 1982)

Las dimensiones, formas y colores de las semillas dependen de la variedad a la que pertenezcan. . (Gillier y Silvestre (1970); Ustimenko y Bakumovski (1982) en Acevedo (1992); Naturland (2000))

Variedades

A) Grupo Español y grupo “Valencia”. Se trata de una planta de tipo secuencial de porte erecto y follaje color verde intenso con no mas de dos semillas por vaina, cubierta seminal color canela y semilla canelas.

El tallo presenta inflorescencias en los primeros nudos de la base que suelen ser reproductores.

Tienen folíolos mayores de un color verde mas claro que los del tipo “Virginia”, el tegumento seminal es liso. Las alas de las flores poseen alas falciformes y presentan estrías, el cáliz puede presentar invaginaciones en su base. El tubo calcinal y estaminal forman un ángulo recto. Las semillas no presentan período de vida latente. Su ciclo es de 90 a 110 días. (Gillier y Silvestre (1970) y Acevedo (1992))

B) Grupo Virginia. Pertenece al tipo de ramificaciones alternadas y abarca variedades de porte rastrero y de porte erecto. Entre los caracteres principales se encuentran: el tallo principal no presenta jamás inflorescencia, los folíolos son pequeños y de color verde oscuro, la dimensión de las vainas es variable pero la mayoría de ellas contiene de dos a tres frutos, según las variedades; las alas de las flores son de forma triangular y sólo ostentan estrías en su parte superior, el cáliz no presenta invaginación en su base y el tubo estaminal y calcinal forman un ángulo obtuso.

Las semillas presentan un período de dormancia y sufren menos daños a causa de la cercosporiosis y algunas de ellas son naturalmente resistentes a la “rosette”.

El ciclo vegetativo es largo y abarca de 110 a 160 días en clima tropical de acuerdo a Gillier y Silvestre (1970) o de 120 a 150 días según Acevedo (1992).

Los campesinos de la región reportan predominantemente dos tipos de variedades: el cacahuate güero y el criollo, que aunque tienen el mismo ciclo vital, son diferentes en cuanto a sabor, color del fruto y color de la flor; otras distinciones relevantes entre estas dos variedades es que el criollo es más resistente a la sequía pero menos productivo mientras que el cacahuate güero resulta más productivo pero más vulnerable a la sequía.

Los informantes mencionaron que el cacahuate güero es usado con fines comerciales en tanto que el criollo es utilizado para autoconsumo. El ciclo de ambos comprende aproximadamente 140 días. La siembra ocurre en junio y la cosecha a finales de octubre y principios de noviembre.

Desde los años 70's se sabía que el cacahuate tiene un gran potencial de mejoramiento genético, se habla de utilizar plantas silvestres para dar origen a adaptaciones tales como resistencia al factores climáticos desfavorables y a otros agentes de carácter biológico. En 1998 el investigador Becker publica indagaciones hechas en granjas de Ecuador, argumenta que durante siglos la gente ha seleccionado cacahuates que se adapten a características particulares y expone por otra parte que las variedades nativas pueden ser fuentes de genes resistentes a las enfermedades por ejemplo. El investigador propone que se usen dos fuentes de variabilidad: a) Variedades silvestres y b) variedades mejoradas por los indígenas de la región.

Durante su viaje a Ecuador, David Williams botánico al servicio del Internacional Plant Genetic Resource Institute, recolectó plantas nativas correspondientes a seis variedades de cacahuate: *hirsuta*, *hypogaea*, *fastigiata*, *peruviana*, *aequatoriana* y *vulgaris*.

Entre los ejemplos notables de la recolección se encuentra *hirsuta* del cual se sabe cuales son las características deseables que podría heredar a sus descendientes híbridos: Los tricomas o "pelos" propiamente dicho, que tiene sobre su superficie la protegen de que los insectos la coman y que pongan huevos, tolerancia al frío y a la sequía mayor que otros cacahuates.

Al parecer esta investigación es una iniciativa del gobierno de Estados Unidos del departamento de agricultura para proveerse de germoplasma.

Se planea crear y mejorar el Sistema Geográfico de Información geográfica en el cual se encontraran los datos de las variedades nativas, las locaciones donde se encuentran, las condiciones sociales, económicas, culturales y políticas. Otra actividad que se está realizando a la par es la catalogación de las variedades silvestres y nativas por la autoridad taxonómica, Kaprovickas en El instituto Botánico en Corrientes, Argentina en colaboración con El Servicio de Investigación en Agricultura.

En México también se han realizado investigaciones con el objetivo de que se cultiven variedades adecuadas a las condiciones climáticas y edafológicas de cada región en

particular. Así Torres y Linares (1996) nos describen el mejoramiento genético del cacahuete que dio origen a las variedades denominada Río Balsas y Huitzucó-93 el ciclo de ambas está alrededor de 120 días; éstas fueron probadas en varias localidades de los estados de Puebla, Morelos y Guerrero y de hecho los experimentos incluyeron localidades pertenecientes al municipio de Huaquechula. Se reporta que el rendimiento promedio obtenido en 7 años, 18 localidades y 21 experimentos, los suelos usados fueron desde arcillosos hasta arenosos y el manejo agronómico del cultivo fue el tradicional. Esta misma investigación (Torres y Linares, 1996) se observó que los productores de la región, en su mayoría y hasta el momento del estudio, sembraban variedades criollas. (ver tabla 5.1.1).

Región	Localidades	Río Balsas (ton/ha)	Huitzucó-93 (ton/ha)	Criollo local (ton/ha)
Atlixco	Soto y Gama, Cacaloxochitl, Tezonteopan y Tlapanalá.	2.61	2.694	1.793

Tabla 5.1.1 Rendimiento medio de las variedades de cacahuete Río Balsas, Huitzucó-93 y criollo local en la Región de Atlixco, Puebla. (Modificado a partir de Torres y Linares, 1996)

5.2 Fenología de *Arachis hypogaea*

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define la fenología, como el estudio de las fases de la vida de las plantas y animales en relación con el tiempo y el clima.

El ciclo vegetativo de este cultivo dura en primavera de 145 a 155 días y el “segundo cultivo” de 130 a 140 días.

Algunas prácticas culturales como el uso de pesticidas pueden reducir problemas relacionados con la calidad del producto, esta información resulta relevante ya que se considera al cacahuete una de las más delicadas semillas de manejar en el comercio (Darold, 1982)

5.2.1 Germinación

Las únicas dos sustancias externas necesarias para la germinación son el agua y el oxígeno. El oxígeno existente en el aire es suficiente y la humedad requerida es de aproximadamente el 35 %. (Darold, 1982)

Los cacahuates tipo alternado, es decir, los tipos “valencia” y “spanish”, no presentan periodo de vida latente y pueden germinar cuando llegan a la madurez. En cambio los cacahuates “Virginia” tienen un periodo de vida latente que va de uno a tres meses.

Entre las formas para abreviar el periodo de vida latente se encuentran: contacto de los granos con un fruto maduro, tratamiento a base de giberelina, a base de gas etileno, a base de calor.

La capacidad germinativa de los granos puede conservarse hasta por 5 años si las condiciones de cosecha fueron buenas, si se mantiene la semilla a temperaturas relativamente bajas y a una humedad menor al 8%.

Las semillas apenas entran en contacto con un medio húmedo se hinchan, la radícula aparece 24 o 48 hrs. después. El protoplanta se desarrolla rápidamente a un ritmo de 10 a 20 mm por día. Después de cuatro días se distingue un eje hipocótilo situado debajo del grano, este eje tienen el aspecto de un tallo liso, blanco y muy turgente.

A partir de la raíz principal se desarrollan raíces adventicias que son paralelas a la superficie del suelo de modo que el protoplanta quede bien anclada.

El crecimiento del hipocótilo tiene la función de impulsar al grano fuera de la tierra y una vez en la superficie, los cotiledones se abren y dejan salir al tallo principal a partir de la plúmula y a dos ramas que parten de los cotiledones.

Si el grano es colocado a una profundidad excesiva, el hipocótilo no alcanza a colocar al grano en la superficie y el crecimiento se trata de compensar con el crecimiento del epicótilo pero no es suficiente y las plántulas surgen pálidas y filiformes. (Gillier y Silvestre, 1970)

Temperatura

De acuerdo con Gillier y Silvestre (1970), los extremos de temperatura en los que la germinación se ve inhibida se sitúan en 15° y 45° C. Sin embargo, aun en estos límites las semillas no pierden su capacidad germinativa, ya que si recuperan las condiciones favorables rápidamente germinan con facilidad. Los cacahuates pierden la capacidad germinativa cuando son sometidos a temperaturas de aproximadamente 5° y 54° C.

El punto óptimo de acuerdo con estos autores se sitúa en los 30° C. El rango de los 32° a 34 ° C la germinación es más rápida y ocurre en cuatro o cinco días. Se considera al cacahuete como una planta termófila y se ve más afectada por las bajas temperaturas que por las altas.

Régimen hídrico

En relación a la necesidad de agua en el proceso de germinación se pueden caracterizar tres etapas en general:

Fase I de **imbibición**, es un proceso físico cuya fuerza directriz está determinada por la diferencia de potencial agua entre la semilla y el sustrato que la rodea.

Fase II de activación metabólica. Las enzimas se activan y actúan catabólicamente sobre las reservas de modo que estas se movilizan hacia el eje embrionario que se vuelve metabólicamente activo.

La fase III de **crecimiento o germinación** se inicia al producirse elongación celular y división celular.

Para la fase I, los contenidos de agua en el suelo y la semilla van aumentando proporcionalmente desde el punto de marchitez hasta la capacidad de retención.

La fase II comienza cuando la humedad del suelo presenta una humedad inferior a la capacidad de retención y la absorción global llega a un punto óptimo.¹

El índice de imbibición de granos situados en suelo húmedo es del 35 al 40% en el momento de la germinación. (Gillier y Silvestre, 1970)

Luminosidad.

Se considera al cacahuate una planta heliófila por lo que se puede emplear mezclado con otros cultivos.

En la germinación la luz frena la velocidad de imbibición de los granos y el desarrollo de raíces y disminuye la velocidad de elongación del hipocótilo.²

5.2.2 Crecimiento.

El cacahuate es una planta anual, herbácea, termófila y heliófila.

La planta está constituida de dos polos de desarrollo definidos: el tallo principal y las yemas de los cotiledones.

Para el caso de *Arachis hypogaea*, existen dos puntos importantes para la curva de crecimiento: la aparición de las primeras flores y la aparición de los carpóforos o “agujas”.

Las ramillas de los cotiledones crecen de manera uniforme a diferencia del tallo principal.

¹ Ibidem. Pp: 53

² Ibidem. Pp: 52

La rapidez del crecimiento es en primera instancia una función de la temperatura.³

Si las temperaturas llegan a bajar hasta 12° C el crecimiento cesa totalmente y las semillas no se forman. (SARH-INIA, 1982 en Acevedo, 1992)

5.2.3 Floración y Fructificación.

La duración del período nascencia – floración es una característica que depende de la variedad y de las condiciones ecológicas. Para las variedades precoces como “valencia” y “spanish” este período es de cuatro a cinco días. En cambio para variedades tardías como el grupo virginia este período dura 15 a 20 días en zonas tropicales cálidas pero puede llegar a los 50 días en zonas templadas o de altura.

Cuando las condiciones climáticas son favorables la floración se torna general y el número de flores brotadas alcanza su máximo entre el día 40 y 60 después de la siembra.

La cantidad de flores alcanza un máximo de 600 a 700 flores para el grupo “Spanish” en tanto que para el grupo “Virginia” puede alcanzar las 1000 flores.

La fecundación en el cacahuate es autógena, nocturna y cleistogámica, es decir, que cada flor se fecunda a sí misma y ésta es realizada a puertas cerradas y para cuando las flores se abren ya están fecundadas. Sin embargo, el índice de alogamia no es nulo y va del 0.2 % al 6.6 % dependiendo de la variedad.

Las flores que darán lugar a los frutos son las que aparecen en las dos o tres primeras semanas de floración. El desarrollo de los carpoforos y frutos hacen que disminuya el ritmo de la floración que puede detenerse.

Una semana después de la fecundación de la flor, el ovario se alarga y se convierte en un carpoforo que penetrará unos diez días más tarde en la tierra.

El desarrollo de los órganos fructíferos o “zapatitos” como lo llaman los campesinos, debe efectuarse bajo tierra en ausencia de luz y con un cierto índice de humedad. (Gillier y Silvestre, 1970)

³ Ibidem. Pp: 51

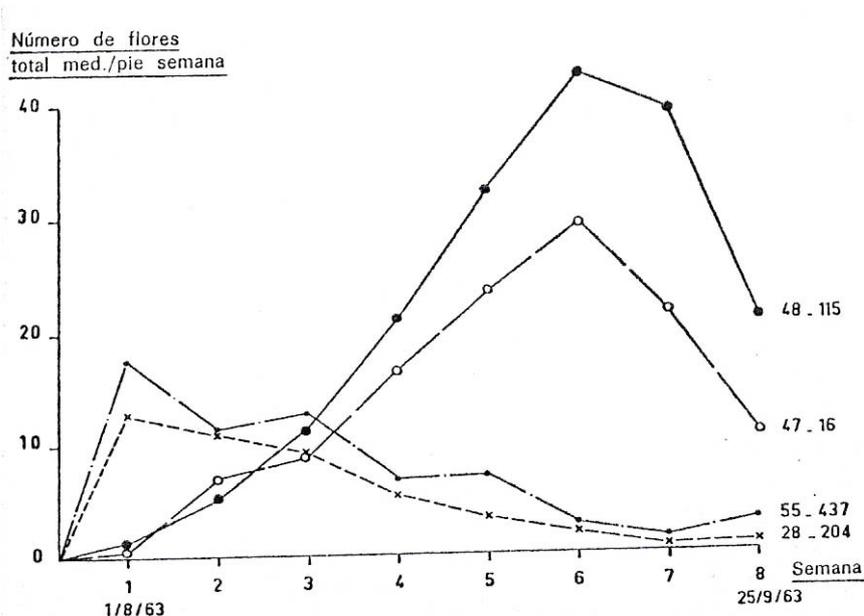


Fig. 5.2.3.1. Curvas de floración de variedades precoces y tardías. Tomado de Louga, 1963 en Acevedo, 1992.

Temperatura

Se requiere de una temperatura media entre 25 y 35° C para que la duración de la prefloración sea más corta y el óptimo dependiendo de las variedades se encuentra entre 30° y 33° C.

El límite inferior de temperatura en el cual la floración experimenta un notable retraso (65 días) y debilitamiento se sitúa en 18° C.

Las diferencias de temperatura que llegan a alcanzar los 20° C entre el día y la noche, son desfavorables para el crecimiento y precocidad de la floración. (Gillier y Silvestre, 1970)

Las temperaturas favorables (situadas en un rango de entre 24° y 33° C) permiten una floración precoz en un período de floración útil.

El coeficiente de utilización de flores es máximo (21%) cuando las temperaturas nocturnas y diurnas son de 23° y 29° C respectivamente, las temperaturas diurnas elevadas 35° C disminuyen este coeficiente.

La temperatura se relaciona de un modo inversamente proporcional a la velocidad de desarrollo del cacahuate hacia el final del ciclo vegetativo.

Para que los frutos maduren se requieren unas temperaturas medias de 22° a 25° C durante diez y trece semanas.

La maduración se ve obstaculizada a unas temperaturas nocturnas inferiores a 10° C. (Gillier y Silvestre, 1970)

Luminosidad

Para las variedades tardías es más evidente la reacción a la duración del día. Se ha establecido que la duración óptima del día para el desarrollo de cacahuete es de 10 horas. (Acevedo, 1992)

La prefloración depende en cierta medida de la iluminación ya que ayuda al desarrollo de yemas reproductoras. Pero la relación es incierta.

El desarrollo de los carpoforos a la luz retrasa su crecimiento y los frutos sólo pueden desarrollarse en la oscuridad. (Gillier y Silvestre, 1970)

Aunque, en condiciones de día corto, el crecimiento vegetativo es más reducido, se producen más ginóforos y frutos. Esto se debe a que en estas circunstancias existe un mayor porcentaje de fertilización. (Acevedo, 1992)

Régimen hídrico

Se considera este un cultivo relativamente resistente a la sequía y su etapa en la que presenta una mayor resistencia es el período vegetativo de prefloración. (Gillier y Silvestre, 1970 y Acevedo, 1992)

Durante el intervalo temporal de fuerte floración y formación de frutos la necesidad de agua es máxima y es por tanto muy vulnerable.

A pesar de su resistencia a la sequía, cuando se permite que el suelo se reseque hasta el punto de marchitez y aunque después se le devuelva la humedad hasta la capacidad de retención los rendimientos se ven afectados de manera negativa.

El cacahuete requiere de una constante y moderada humedad en el suelo.

Otros períodos en los que la sequía ejerce un efecto depresivo son: la etapa entre la nascencia y la floración, el principio de la floración y al final del ciclo. (Gillier y Silvestre, 1970)

El exceso en la humedad puede provocar que los frutos se pudran y que aumente la cantidad de semillas sin madurar o que, si las semillas ya están maduras germinen en el suelo.

Las variedades rastreras son más sensibles a la humedad que las arbustivas, el coeficiente de transpiración es respectivamente de 835 y 1050 mm. aproximadamente. (Acevedo, 1992)

Para obtener buenos rendimientos del cacahuete se requiere de una precipitación anual de 400 a 600 mm.

	Germinación	Prefloración	Floración	Fructificación
Temperatura óptima	32-34° C	30 – 33° C	24 – 33° C	20 y 25° C
Límites de temperatura	15 y 45° C (capacidad de recuperación) 5 y 54 ° C (sin capacidad de recuperación)	Límite inferior: 12° C	Límite inferior: 18° C	Límite inferior: 10° C
Régimen hídrico	La cantidad requerida es inferior a la capacidad de retención	Resistente a la sequía	Necesidades máximas	Necesidades máximas
Luminosidad	Frena la velocidad de imbibición de los granos y la velocidad elongación de hipocótilo	El desarrollo de las yemas reproductoras depende de la iluminación.	No se conocen	La exposición de carpóforos a la luz retrasa su crecimiento ya que los frutos solo se desarrollan en la oscuridad

Tabla 5.2.3.1. Requerimientos climáticos para cada etapa del crecimiento del cacahuete. Basado en Gillier y Silvestre, 1970

5.2.4 Ciclo vegetativo y madurez

A una temperatura uniforme de 30° C la duración de cada una de las etapas del ciclo es la siguiente:

	Variedades precoces	Variedades tardías
1. Siembra – nascencia	4 – 5 días	4 a 5 días
2. Nacimiento de la planta primera flor	15 a 20 días	18 a 25 días
3. Floración	20 a 25 días	30 a 40 días
4. Duración de la maduración	40 a 45 días	54 a 55 días

Tabla 5.2.4.1. Ciclo de vida del cacahuete. Tomada de Gillier y Silvestre (1970).

5.3 Efectos ambientales sobre el cultivo

Los siguientes efectos ambientales son reportados por Darold (1982) en cuanto a la fotosíntesis:

El crecimiento en los cacahuates está influenciado por el ambiente del campo.

Condiciones ambientales adversas afectan en distintos modos dependiente del momento del ciclo de la planta. Por ejemplo, la sequía en una etapa temprana tiene un efecto pequeño en la reducción de la producción (14%) pero la sequía durante los días 71 a 105 días del ciclo hace que la producción baje en un 37%.

La temperatura juega un rol importante en muchos aspectos del crecimiento de la planta. La respuesta de la fotosíntesis a la temperatura es parabólica con un óptimo a los 30° C, el óptimo de las temperaturas día/noche es de 35°/25° C y se reporta que las plantas se vuelven menos sensibles a la temperatura conforme van creciendo.

El cacahuete responde de manera distinta a la temperatura en cada etapa de crecimiento, el óptimo para la extensión del tallo y la expansión de la hoja es de 30° C pero la mayor cantidad de flores se obtiene a temperaturas de 20° a 25° C.

El mayor número de vainas se desarrolla a temperaturas de 20° C y el mayor número de carpóforos se desarrolla a una temperatura diurna/nocturna de 32°/23° C.

Una temperatura de 35°/22° C reduce el número de carpóforos subterráneos y del peso de la semilla, el mayor número de carpóforos producidos en plantas crecidas a 900 m.s.n.m. de una media diaria de 23.2° C y para carpóforos a 1620 m.s.n.m la óptima es de 17.9° C.

El porcentaje de agujas que se convertirán en vainas es inversamente proporcional a la temperatura.

La más alta producción se obtuvo con una temperatura media de 20.1° C que produce números de agujas intermedios y tasas de crecimiento medias.

5.4 Fisiología de *Arachis hypogaea* L.

Dormancia

La intensidad de la dormancia en las semillas está afectada por las prácticas culturales, se encontró que las plantas que crecieron en un largo periodo produjeron semillas con una dormancia menor que aquellas que fueron cosechadas en un tiempo más temprano. La

dormancia esta reducida mediante el incremento de las concentraciones de CO₂ y el tratamiento con gas etileno. (Darold, 1982)

Reguladores de crecimiento

Según Darold (1982) los reguladores de crecimiento funcionan así en el cacahuate:

El crecimiento de las plantas está controlado por balances entre los contenidos de fitohormonas endógenas. Las hormonas mejor conocidas son las auxinas (IAA), giberelinas (GA), citoquininas, etileno y ácido absísico (ABA)

El crecimiento vegetativo del cacahuate esta bajo el control complejo de reguladores de crecimiento aunque también es afectado por la luz.

Estos factores aparentemente influyen el balance entre sustancias promotoras del crecimiento y factores que lo inhiben.

Las sustancias como giberelina se ha encontrado en los tipos *runner* y plantas de tipo erecto. Sin embargo las plantas *runner* cuentan con un inhibidor adicional de sustancias que antagoniza con la actividad de la giberelina.

El genotipo y el ambiente son los que determinan los niveles de fitohormonas.

En el crecimiento reproductivo todos los componentes involucrados en la producción (flores, agujas, vainas y semillas) están afectados por los reguladores de crecimiento.

La floración incrementa o disminuye según la concentración de hidrácido maleico (MH) dependiendo de la concentración usada. La floración se ve reducida por ABA un retardador del crecimiento.

El proceso de producción de carpóforos genera etileno durante el crecimiento, se sugiere que las auxinas y giberelinas están involucradas en el crecimiento de la aguja.

El patrón que sigue el crecimiento es el siguiente según Darold (1982):

- 1) un retraso en el crecimiento temprano
- 2) incremento exponencial en peso cerca del final del crecimiento temprano
- 3) un crecimiento lineal máximo durante el periodo vegetativo tardío y llenado de las vainas
- 4) un nivelamiento del peso durante el llenado de las vainas.

5.4.1 Fotosíntesis del cacahuate y la influencia ambiental

La fotosíntesis es uno de los procesos metabólicos de los que se valen las células para obtener energía. Es un proceso complejo, mediante el cual los seres vivos poseedores de

clorofila y otros pigmentos, captan energía lumínica, transforman el agua y el CO₂ en compuestos orgánicos reducidos (glucosa y otros), liberando oxígeno. La energía captada en la fotosíntesis y el poder reductor adquirido en el proceso, hacen posible la reducción y la asimilación de los bioelementos necesarios, como nitrógeno y azufre, además de carbono, para formar materia viva.

La fotosíntesis para los cacahuates es típica para las dicotiledóneas. Asimilación de CO₂ por medio de la reducción de pentosa fosfato. *A. hypogaea* es una típica planta C₃, esto se evidencia por la relación lineal establecida entre la concentración de CO₂ y la tasa de aparente fotosíntesis (AF). Cuando la concentración de CO₂ aumenta la tasa de AF también. (Darold, 1982)

La máxima capacidad de fotosíntesis de las hojas de cacahuete es de 21 a 65mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹. (Darold, 1982)

La tasa a la cual AF disminuye depende mucho de condiciones como el ambiente, nutrición y enfermedad., las hojas crecidas en los campos fotosintetizan por mas largos periodos y un declive general de AF en cacahuatales de campo se ve a los 80 a 140 días. (Darold, 1982)

Los factores ambientales y su influencia en la fotosíntesis de *A. hypogaea* L.

Darold (1982) refiere la fotosíntesis en función de factores ambientales:

Temperatura. Un cultivo subtropical tiene su máximo de actividad fotosintética aparente fotosíntesis (AF) mas o menos a los 30° C . La tasa decrece por abajo de su óptimo y a los 40° C la tasa es reducida en un 25% y a los 10° C por mas de 65%. Las curvas de temperatura fueron similares para *A. hypogaea* y las especies silvestres.

Irradiancia. La respuesta de la aparente fotosíntesis depende de las condiciones en que las plantas se desarrollan. Bhagsari (1974) citado en Darold (1982) encontró que el genotipo de *Arachis hypogaea* satura a una irradiancia de 48 klux en condiciones de invernadero y tuvieron una tasa fotosintética del máximo del 20 a 30 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹. En cambio se observo que las hojas jóvenes de plantas crecidas en el campo tuvieron una tasa máxima de 65 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹ y requiere de toda la irradiación del sol para llegar a su máxima saturación; es decir que aquellos cacahuatales crecidos en el campo tienen una tasa fotosintética mas alta, pero requieren de una mayor cantidad de luz para saturarse que aquellas plantas crecidas en invernadero.

Estrés hídrico. Se había reportado que el cacahuete tenía características xerofíticas: sin embargo visto desde el punto de vista de su capacidad fotosintética no podríamos afirmar lo mismo. Ya que bajo estrés hídrico cacahuates florecer la tasa fotosintética decrece de 42.6 a 5.4 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹. Por otro lado su resistencia a la sequía se podría explicar por la existencia de células que almacenan agua y su capacidad de replegar las hojas para así guardar agua.

Las plantas crecidas en invernadero y en el campo se comportan de distintas maneras, en tanto que las crecidas en experimentos su capacidad de retención de agua es menor y la tasa de aparente fotosíntesis se ve disminuida; para las plantas de campo la situación es distinta ya que la tasa de aparente fotosíntesis no se ve tan disminuida como las de los experimentos.

Implicaciones del cambio climático para el rendimiento del cultivo

El rendimiento de los cultivos está influenciado por la eficiencia del uso del agua, esta condición a su vez es afectada por la concentración de CO₂ y el incremento en temperatura asociado.

De acuerdo con Wayne (2002) a nivel de hoja, en un principio el incremento de la concentración de CO₂ provocaría un incremento en la eficiencia de transpiración y en consecuencia un aumento en la tasa de fotosíntesis; esto ocasionaría un aceleramiento en el desarrollo del cultivo aumentando la velocidad de crecimiento de la raíz y de expansión del follaje; este incremento en la velocidad de crecimiento haría que se incrementara el uso del agua y se disminuyera la eficiencia de uso de agua. El aumento de la temperatura en principio contribuiría al aceleramiento del desarrollo del cultivo cuando las temperaturas hayan estado por debajo del óptimo, en caso contrario tanto el desarrollo como la producción se deprimirían. Es decir, los beneficios de temperaturas altas y concentraciones altas de CO₂ se reducirían ya que el aceleramiento del desarrollo del cultivo solo garantiza el aumento de biomasa y la disminución de la eficiencia del uso de agua, lo cual implica una disminución en el índice de la cosecha.

A decir de Reddy et al (2003), el efecto de una elevada cantidad de CO₂ haría que se incrementara la tasa de fotosíntesis en más del 40% pero solo en condiciones de irrigación.

5.4.2 Fijación de nitrógeno y los factores ambientales

A. hypogaea como otras plantas no es capaz de fijar por si misma nitrógeno, por lo que requiere establecer una relación simbiótica con bacterias del suelo tales como *rhizobium* spp. Las bacterias infectan las raíces de las plantas proliferan e invaden las células de la raíz, éstas últimas a su vez forman los nódulos donde el nitrógeno molecular de la atmósfera se fija. Entonces la fijación efectiva de nitrógeno depende de la relación crítica entre la planta hospedera y la bacteria.

En la mayoría de las plantas la máxima intensidad de fijación de nitrógeno está relacionado con el máximo de intensidad luminosa pero para el cacahuete la tasa máxima de fijación se encontró al final del periodo nocturno y al final del día. (Darold, 1982)

Incremento en los niveles de CO₂ en el follaje incrementa el número de nódulos y la masa debido a que se incrementa la fotosíntesis.

La actividad fijadora exhibe un amplio rango de tolerancia a la temperatura pero promueve la mayor fijación de nitrógeno cuando la temperatura es constante y cercana al óptimo de crecimiento de las bacterias.

El fotoperiodo también afecta la nodulación, con días largos se promueve mas la nodulación .

5.5 Fisiología del estrés hídrico.

De acuerdo con Martínez A. (1996), el agua es el factor limitante para mantener la alta productividad de los cultivos a través de la estación de crecimiento. Así el uso del agua por parte del cacahuete depende de factores climáticos, agronómicos y varietales.

El estrés hídrico puede ejercer una influencia negativa en la fotosíntesis, la nutrición mineral, metabolismo y producción del cacahuete.

Disponibilidad del agua en el suelo y uso del agua

La producción en el cacahuete es diferente de año en año debido principalmente a la variación interanual de la lluvia interanual.

Uno de los factores sobresalientes es la capacidad de enraizamiento profundo de la planta. Se ha reportado que el cacahuete puede sobrepasar los 150 cm e incluso los 200 cm. Pero la mayoría de sus raíces se encuentran en las capas superficiales. Robertson (1980) citado en (Sivakumar y Sarma 1985) reporto que un 39% del total de longitud de

enraizamiento se da en los primeros 15 cm del suelo y el 55% esta en los 30 cm mas superficiales.

Por otra parte también se midieron las densidades de la raíz y se averiguo que la densidad de los primeros 30 cm es mayor y corresponde a una medida de 1.5 cm/ cm³ mientras que a mayores profundidades la densidad sólo era de 0.1 a 0.4 cm/ cm³.

Cuando el suplemento de agua es adecuado el cacahuate es capaz de extraer el 48% del agua en los 30 cm superiores.

En una situación de limitación del agua la mayor parte de la extracción ocurre de los 90 a 150 cm de la capa de suelo y la máxima extracción del suelo ocurre a los 30 a 45 cm del suelo.

Los requerimientos de agua en algunos experimentos van desde 250 a 510 mm, pero hay que considerar que el uso de fertilizante incrementa el uso del agua. (Sivakumar y Sarma,1985)

Efectos fisiológicos y bioquímicos

Martínez (1996) menciona que el cacahuate durante la sequía se ve afectado de la siguiente manera: pérdida de turgencia y vigor, cese del crecimiento celular, cierre estomatal y reducción de la fotosíntesis. Otros cambios anatómicos mencionados por Reddy et al. (2003): disminución del tamaño de las células y espacios intercelulares, pared celular mas gruesa; las hojas en desarrollo tienen una inusual capa de células que no tienen cloroplastos con una epidermis mas baja debajo del parénquima esponjoso y se considera que podrían ser células almacenadoras de agua.

Sin embargo, hay un efecto diferencial del estrés hídrico en todos estos cambios.

Así, la división celular es menos inhibida que el alargamiento celular; el alargamiento foliar es inhibido por deshidratación y más severamente que la fotosíntesis y respiración; se incrementa el grosor de la hoja y se reduce el área foliar; se incrementa el espesor de la cutícula y en cantidad de cera en la superficie de las hojas; las flores son dañadas y el número de éstas se reduce.

Según Martínez (1996) la fotosíntesis no resiente la tensión hídrica hasta que las plantas se desecan más allá del punto de marchitez permanente; sin embargo, Reddy et al. (2003) menciona que sí hay una disminución de la fotosíntesis debido al estrés hídrico asociada a una disminución de la conductancia estomatal y por tanto reducción del tamaño de la hoja y del follaje. En general, la mayor reducción de fotosíntesis se debe

a: 1) Cierre de estomas lo que disminuye el suministro de CO₂; 2) Afectación de la actividad enzimática; 3) Deshidratación de cutícula, paredes epidérmicas y membranas celulares que reducen la permeabilidad al CO₂.

De acuerdo con Reddy et al. (2003) cuando se somete a las plantas a un estrés severo los niveles de clorofila disminuyen, pero las plantas sometidas a un estrés medio aumentan el contenido de clorofila. Así pues, la fijación de carbono durante el periodo de estrés es baja pero debido al aumento en la clorofila y si se recuperan las condiciones adecuadas en cuanto al agua entonces la fijación de carbono aumenta.

Otras respuestas fisiológicas a la sequía del cacahuete mencionadas por Reddy (2003):

El estrés estimula el alargamiento de las raíces en suelo mas profundo, pero el peso de los nódulos se reduce y la toma de N, P, y K es menor. Un mecanismo de resistencia a la sequía tiene que ver con que el calcio es favorable para que el cacahuete tolere mejor la sequía, ya que ayuda a mantener la integridad de la membrana.

Por otro lado la tasa de floración se reduce por sequía y si se recuperan las condiciones se compensa la floración; la elongación de la aguja se retrasa durante el estrés hídrico.

La fase prefloración es menos sensitiva a la sequía que la fase de floración y las reducciones son mas grandes cuando el estrés se impone durante el periodo entre el hundimiento de aguja y desarrollo de la vaina.

Por otra parte el estrés durante la etapa vegetativa se considera ventajoso ya que reduce las poblaciones de plantas arvenses. Si hay sequía durante los primero 20 a 30 días las plantas arvenses no germinan.

Algunos cambios bioquímicas de la planta la hacen mas vulnerable ya que se incrementa los niveles de carbohidratos solubles y de aminoácidos en la hoja. Estas condiciones hacen que la planta sea una mejor opción dietética especialmente para los comedores de floema.

5.6 Nutrición

El cacahuete realiza la absorción de las soluciones del suelo a través de sus raíces y de sus carpóforos, éstos últimos realizan un papel especial en la absorción de calcio.

Según Gillier y Silvestre (1970) los siguientes elementos afectan el desarrollo del cacahuete:

- Nitrógeno. Este puede ser absorbido gracias a los nódulos, aquellas plantas que no presentan las nudosidades tienen un follaje muy pálido a consecuencia de la

lentitud en la formación de clorofila. Es esencial ya que tanto el follaje como los granos contienen este elemento. En plantas carentes de N, el crecimiento se detiene y las hojas jóvenes no se desarrollan.

- Fósforo. El fósforo activa el crecimiento del cacahuete y apresura su maduración, se encuentra en las zonas de crecimiento activo. El crecimiento disminuye y luego bruscamente las plantas perecen.
- Potasio. La falta de este elemento provoca la abundancia de vainas de un solo grano. El ritmo de crecimiento disminuye y las hojas se decoloran o se necrosan.
- Calcio. Es uno de los elementos más importantes en la producción. Las necesidades de calcio se elevan en la fructificación y éste es absorbido por los frutos en formación.
- El azufre activa la floración y la prolonga, la deficiencia de azufre impide la formación de clorofila.

Es interesante observar que los tratamientos de fertilización N (nitrógeno), P (fósforo) y K (potasio) tienen muy poca influencia en la calidad de los tipos de semillas. Sin embargo, se ha probado que niveles de potasio elevados afectan negativamente el desarrollo de la planta, en tanto que niveles altos de calcio mejoran la calidad de la semilla. (Darold, 1982)

La rotación de cultivos es conveniente para mantener los altos rendimientos, pudiendo alternarse con algodón, chile, maíz, sorgo, soya y otros. Se debe evitar sembrar cacahuete después de cacahuete.

5.7 Enfermedades y plagas.

Gillier y Silvestre (1970) nos menciona las principales infecciones y plagas de *Arachis hypogaea* L.

Los factores que favorecen la aparición de las enfermedades se encuentran: los suelos pesados y mal drenados, la sequía, la práctica de la siembra demasiado profunda o excesivamente superficial, las temperaturas demasiado bajas.

Las afecciones más extendidas se deben a hongos, bacterias e insectos. *Aspergillus niger* por ejemplo, es el responsable de la podredumbre del cuello, toda la planta se marchita y muere, las pérdidas son importantes a principio del ciclo.

Macrophomina phaseoli es un hongo que ataca las plántulas y plantas adultas a nivel de raíces, tallos y frutos, provoca lo que se ha llamado podredumbre seca; la contaminación se efectúa por medio del suelo, los prejuicios pueden ser mayores en condiciones anormales de sequedad.

Sclerotium rolfsii causa la enfermedad llamada podredumbre del cuello, que causa vulnerabilidad durante todo el período vegetativo; inicia en el cuello, asciende por los tallo y se necrosan en sus bases y las hojas se marchitan. Esta infección fúngica es favorecida por terrenos ricos en materia orgánica mal descompuesta, con alto grado de humedad y condiciones aeróbicas.

La cercoporiosis es una micosis provocada por el género *Cercospora*, causa pérdidas entre el 15 y 30 %; inicia como manchas foliares, pero los ataques sucesivos de estos hongos ocasionan la caída prematura de las hojas, el ciclo vegetativo se abrevia y se produce un estancamiento de la madurez de los frutos. Esta enfermedad se favorece por una humedad diurna superior o igual a 95% durante 10 horas al menos y con una temperatura de 21° C como mínimo.

Pratylenchus brachyurus es un nemátodo que ocasiona una infección a los cacahuates haciendo que se achaparren y el borde de las hojas se necrose; se forman agallas en el pivote, las raíces laterales, los carpóforos y las vainas.

Durante todo su desarrollo es atacado por muchos insectos polípagos, pero en general son resistentes, las plantas roídas en general son más afectadas por una infección secundaria debida a las heridas inflingidas por los insectos.

Capítulo 6. Simulación del sistema climático y de la interacción cultivo-clima.

6.1 Modelos de cambio climático

Un modelo climático es una representación matemática simplificada del sistema climático de la Tierra. Mediante la comprensión básica del balance energético de la Tierra, estos modelos numéricos nos permiten hacer estimaciones cuantitativas de cambios climáticos futuros. Estos modelos pueden usarse para simular las respuestas del clima a distintos escenarios de influencia de los agentes de forzamiento futuros. (IPCC, 2001)

La capacidad del modelo para simular las respuestas depende de la comprensión de los procesos físicos, geofísicos, químicos y biológicos que rigen el sistema climático.

Los modelos de circulación general (MCGs) se basan en leyes de la física representadas por ecuaciones matemáticas que se resuelven utilizando un rejilla tridimensional sobre el globo terráqueo.

Los modelos climáticos en los que se han acoplado los componentes atmosféricos y oceánicos y se conocen como Modelos de la Circulación General Atmósfera-Océano (MCGAT). Muchos procesos no pueden modelarse de manera explícita.

Para mejorar las simulaciones en la actualidad se tratan de incluir y acoplar más componentes. Dado que muchos aspectos son caóticos la capacidad de predecir las condiciones climáticas es limitada.

6.2 Escenarios de Cambio Climático

Según el IPCC, 2001 se puede definir un escenario climático como “una descripción coherente, internamente consistente y plausible de un posible estado futuro del mundo”.

No se trata de hacer predicciones sino más bien de realizar planteamientos con base en probables condiciones futuras tales como emisiones de gases de efecto invernadero, factores socioeconómicos, uso y cubierta del suelo, etc.

Los escenarios climáticos describen el forzamiento y estos pueden ser escenarios incrementales, analógicos o basados en modelos. Entre estos últimos podemos citar a los Modelos de Circulación General (MCGs) que se constituyen ajustando un clima de

referencia (basado en observaciones regionales de 30 años) en función del cambio entre climas simulados presentes y futuros; la gran mayoría de escenarios representan cambios en el clima medio aunque algunos han incorporado la variabilidad y eventos extremos.

Por otra parte, los escenarios no climáticos proporcionan el contexto socioeconómico y ambiental dentro del que actúa el forzamiento climático, dentro de estos últimos se encuentran los escenarios socioeconómicos que proyectan las emisiones de GEI.

Los escenarios de emisiones construidos para el IPCC (Nakicenovic et al, 2000) consideran las posibles condiciones de desarrollo global en los próximos 100 años y son por tanto escenarios del estado y crecimiento de la población y la economía. (Tol, 1998).

Se puede clasificar a los escenarios en dos grandes grupos: Los escenarios A que describen un mundo futuro con alto rendimiento económico, mientras que los B el crecimiento económico es más moderado, pero más apegado al cuidado de las condiciones medioambientales. Estos escenarios se subdividen, los A1 y B1 suponen una globalización tal que las economías convergerán en su desarrollo. En tanto que los A2 y B2 consideran un desarrollo a nivel regional. Los supuestos de los cuales parte los escenarios se refieren a la evolución de los forzantes, tales como población, tecnología, economía, uso del suelo, agricultura y energía a nivel global y regional. Una proyección con respecto a las fuentes de energía y sus uso tales como el petróleo y el carbono es importante en la construcción de un escenario.

Dado que el año 1990 se toma como referencia para evaluar condiciones futuras es importante considerar algunos factores de ese año: La población mundial era de 5.3 miles de millones de habitantes, el producto interno bruto era de 12×10^{12} dólares por año y la tasa del ingreso era del 16.1 per capita. Según los escenarios A1 y B1 la población mundial crecerá a 7 o 7,1 billones de habitantes, mientras que los escenarios A2 y B2 consideran que ésta crecerá 15.1 y 10.4 millardos, respectivamente. La tasa de ingreso personal será semejante en los escenarios A, mientras que en los B2 esta aumentará a casi el doble.

Estas familias de escenarios de emisiones son incorporadas a los MCGs para simular las condiciones climáticas futuras, esto es, dependiendo de las emisiones futuras los modelos climáticos establecen los incrementos de temperatura, de nivel del mar y, en general, los cambios en los patrones de lluvia.

6.3 Modelos de interacción cultivo-clima.

El desarrollo de metodología que permitiera estudiar los impactos del cambio y la variabilidad climática sobre los cultivos es reciente, en los 70's se empieza a usar modelos de regresión para inferir relaciones estadísticas entre el cambio climático y sus efectos potenciales.

Durante la Conferencia Alimentaria Mundial en noviembre de 1974, la Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, decide establecer un sistema de información y alerta sobre la alimentación mundial teniendo como objetivos el seguimiento de las condiciones del cultivo y el pronóstico de rendimientos; se empezaron a impulsar modelos agroclimáticos para la evaluación de los impactos de los factores climáticos sobre el rendimiento de los cultivos. (Ferrer, 1999).

Por otra parte, la Organización Meteorológica Mundial también ha estado involucrada en el desarrollo de modelos agroclimáticos y en la producción de notas técnicas que explican la estructura de estos modelos.

Según Ferrer (1999), existen dos métodos generales para evaluar las respuestas de los cultivos a la variabilidad y el cambio climático:

1) Índices agroclimáticos.

Se usan para medir la aptitud de un cultivo; es decir, caracterizar el crecimiento de un cultivo sobre la base de variables climáticas consideradas.

2) Modelos de interacción Cultivo-Clima. Estiman la productividad potencial. Se subdividen en:

a) Modelos empírico estadísticos. Establecen relaciones estadísticas entre una muestra de datos de producción del cultivo y una muestra de datos climáticos, las cuales se emplean para predecir rendimientos basándose en las observaciones climáticas. Se considera este procedimiento como "caja negra" ya que no necesariamente se basa en la comprensión de las relaciones causales entre clima y el rendimiento del cultivo.

b) Modelos de simulación de procesos. Describen el desarrollo del cultivo a lo largo de sus distintas etapas fenológicas mediante un conjunto de ecuaciones matemáticas que relacionan el crecimiento de la planta, el suelo y los eventos climáticos. Procuran explicar las respuestas de los cultivos, mediante la dilucidación de los procesos de crecimiento vegetal en relación a las condiciones agrometeorológicas. Sin embargo, se

requiere de un conjunto de datos muy precisos sobre clima, suelos y manejo de los cultivos, por lo que la evaluación de los impactos es necesariamente local y no es generalizable a una región.

Una aproximación alternativa a la interacción cultivo-clima es el uso de modelos de simulación biofísica, los experimentos realizados generan información de cómo el rendimiento de una variedad responde a un cierto estímulo aunque sólo se considera un limitado rango de factores ambientales. Así los estimados cuantitativos se derivan de la simulación de estos modelos.

Se debe de contemplar que dado que aumentarán las concentraciones de CO₂, se elevarán también las tasas de fotosíntesis pero también se podría reducir la transpiración. El cambio neto en la producción esta determinado por los efectos directos positivos y negativos y por los indirectos. (Adams et., al 1998).

Entre los inconvenientes de los modelos de simulación agrícola se encuentran: Que no es claro que los modelos desarrollados en clima templado simulen adecuadamente en áreas tropicales y que a veces no son capaces de simular condiciones del clima locales. (Adams et., al 1998).

6.4 El modelo agrícola CROP WAT

Es un útil instrumento de apoyo para los agrometeorólogos, agrónomos e ingenieros de riego, para el cálculo estándar en los estudios de la evapotranspiración y consumo de agua de los cultivos, y más específicamente para elaborar y gestionar sistemas de irrigación. Ayuda a elaborar recomendaciones para llevar a cabo mejores prácticas de riego, planificar los calendarios de riego en diversas condiciones del suministro de agua, y para evaluar la producción en sistemas de secano o con escasa irrigación. (http://www.fao.org/waicent/portal/glossary_es.asp)

CROPWAT fue desarrollado por la División de Desarrollo de Agua y Suelo de la FAO. Las principales funciones de este programa (<http://www.fao.org/ag/agl/AGLW/cropwat.stm>):

- Calcula: Evotranspiración de referencia, requerimientos de agua del cultivo, requerimientos de irrigación del cultivo.
- Desarrolla: Itinerarios de riego bajo varias condiciones de manejo y los requerimientos de irrigación del cultivo

- Evalúa: La producción de temporal y los efectos de la sequía, la eficiencia de practicas de irrigación

Para determinar la evotranspiración de los cultivos, CROPWAT utiliza el método de Penman – Monteith y estos cálculos son usados para posteriormente estimar los requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego.

El ambiente de trabajo del CROPWAT se define por: Menú principal, barra de herramientas, caja de mensajes (para informar que cálculos se están realizando), estado de los datos (para informar que archivos se están usando).

Para que CROPWAT haga una correcta simulación se requiere información específica de los sitios bajo estudio:

El país, la estación meteorológica, la altitud, latitud y longitud.

Los datos climáticos mensuales que se requieren para los experimentos con este modelo son: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad del aire (%), precipitación (mm) , velocidad del viento (m/seg), insolación (horas diarias).

Se requiere también información del tipo de cultivo, fecha de siembra, porcentaje del área plantada del cultivo; dentro del programa se encuentran archivos de los coeficientes del cultivo recomendados por la FAO pero estos pueden ser modificados para que se ajusten a la variedad local estudiada.

La caracterización del suelo resulta fundamental y se necesita: descripción de la textura, humedad disponible, tasa máxima de infiltración de la lluvia, profundidad máxima de enraizamiento y porcentaje del total de humedad disponible.

Finalmente, para la simulación de temporal según Monterroso, 2005 (com. pers.) se establece el calendario de riego con la opción de “irrigar cuando un porcentaje total de humedad del suelo establecido se rebase” para que el programe envíe la necesidad de riego cuando el suelo se quede sin agua.

Los resultados de la simulación aparecen en reportes, tablas y gráficas.

El modelo CROPWAT fue seleccionado porque permite:

- Simular las condiciones de estrés hídrico (al cual el cacahuate es muy sensible, ver capítulo anterior)
- Hacer simulaciones de las condiciones de fuertes eventos de El Niño o La Niña mediante cambios en las variables climáticas.
- Introducir archivos climáticos correspondientes a los escenarios de cambio climático.

- Evaluar los posibles impactos del cambio y variabilidad climáticos en cuanto a la disminución del rendimiento del cacahuete de la región de estudio.
- Simular los procesos con archivos de clima, suelos y de manejo de cultivos que no son tan complejos ni tan difíciles de adquirir.

Capítulo 7. Método.

7.1 Obtención y validación de los datos meteorológicos

Se obtuvieron de la base de datos ERIC (extractor rápido de información climática) generada por el servicio meteorológico nacional los siguientes datos: promedios mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima, promedio de la precipitación acumulada mensual de la estación 17020.

Para los promedios mensuales de humedad relativa, velocidad del viento e insolación se usaron los datos del observatorio de Puebla.

Dado que la estación 17020 pertenece a Morelos es necesario justificar su uso en este estudio.

Justificación de uso de datos de la estación 17020 (Tlacotepec, Morelos)

Debido a que los datos de la estación 21123 correspondiente a Huaquechula Puebla no cuenta con condiciones suficientes para realizar análisis estadísticos, fue necesario buscar otras fuentes de información meteorológica. Entre las discrepancias más graves de la estación se hallan: no se cuenta con una serie de 30 años consecutivos (necesarios para la construcción del escenario base) y los valores de febrero están sobreestimados.

Así pues, se revisaron varias estaciones meteorológicas cercanas a la región de estudio, tanto del estado de Puebla como Morelos, con el objetivo de encontrar una estación que tuviera una serie con 30 o más años de datos.

Una vez que se encontraron varias estaciones candidatas se procedió a comparar los datos existentes pero discontinuos de la estación 21123 (perteneciente a Huaquechula) con los datos de la estación 17020 ya que ésta es la estación más cercana y cuenta con la serie más completa de las estaciones candidatas.

A la serie de datos comparados se les aplicó la prueba estadística de correlación para hallar que tan similares son las series. Se eligió a la serie de datos más completa y con el mayor índice de correlación.

Prueba de recorrido

La prueba de recorrido o Método de Sved-Eisenhart es descrita por Medina (1995) y es necesaria para probar que la serie de datos meteorológicos es homogénea. Se ordena y se grafica los datos en orden cronológico y después de haber determinado el valor de la

media o de la mediana, se cuenta el número de veces que la serie cambia de valores superiores a inferiores respecto a la media o la mediana.

El número total de cambios (U calculado) se aumenta en una unidad y se compara con los límites de la distribución normal; este intervalo depende del número de años para los que se haga la prueba de recorrido. Así tenemos la siguiente tabla:

Años	Intervalo (los límites de U)	Años	Intervalo (los límites de U)
12	5-8	26	10-17
14	5-10	28	11-18
16	6-11	30	12-19
18	7-12	32	13-20
20	8-13	34	14-21
22	9-14	36	15-22
24	9-16	38	16-23

Tabla 7.1.1 Intervalos para U para probar si la serie climática es homogénea.

Para que pueda asumirse que la muestra de datos es homogénea la U calculada debe estar dentro del intervalo señalado en la tabla 7.1.1 y como la muestra analizada tiene 30 años de datos entonces el intervalo que le corresponde es de 12 a 19.

Villalpando (1984 en Medina, 1995) menciona que para llevar a cabo análisis estadísticos la serie climatológica debe ser homogénea; es decir, que provenga de una sola población. En caso de que la muestra sea heterogénea y se conozca la causa de tal heterogeneidad se puede hacer la prueba t de student para probar que la heterogeneidad es significativa.

7.2 Caracterización del clima regional de acuerdo a los datos meteorológicos obtenidos.

Escenario base

El escenario base es el promedio por mes de 30 años (1969-1998) de las siguientes variables meteorológicas: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación acumulada mensual, humedad relativa, velocidad del viento, insolación.

Para ilustrar la climatología del municipio de Huaquechula se graficaron las variables meteorológicas más relevantes: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación acumulada mensual.

Cambios en el clima regional

Para detectar los cambios en el clima regional se graficaron los datos de temperaturas máximas, mínimas y precipitación por décadas (56 a 65, 66 a 75, 76 a 85 y 86 a 95) estos datos se compararon con las observaciones de los campesinos más ancianos.

En conjunto esto nos habla de las variaciones detectadas por los productores y de aquellas resultado del análisis de los datos del ERIC.

Escenario de sensibilidad.

A partir del escenario base se crearon escenarios hipotéticos donde aumenta o disminuye la lluvia en un 20% y las temperaturas máximas y mínimas aumentan en 2° C y en 4° C. Se procedió a combinar los aumentos en temperatura y los cambios en precipitación para darnos cuatro condiciones de clima:

- 1) 2° C mas y 20 % mas en precipitación
- 2) 2° C mas y 20 % menos en precipitación
- 3) 4° C mas y 20 % mas en precipitación
- 4) 4° C mas y 20 % menos en precipitación

7.3 Relación entre el episodio cálido del ENSO y la precipitación de la región

El MEI (por sus siglas en ingles) es un índice multivariado que considera la temperatura y presión del aire y de la superficie del mar, así como patrones de viento en las regiones del Pacífico y las condiciones de nubosidad.

<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>

Conde (2003) señala que el MEI se usa para caracterizar los años y meses de Niños y Niñas fuertes. De manera que es preferible dividir la señal en meses de verano y de invierno; así los bimestres de mayo-junio, junio-julio, julio-agosto, agosto-septiembre y septiembre- octubre son considerados para la señal del verano.

Según Conde (2003) se considera un valor del MEI igual o mayor a 1 como un evento Niño y un valor inferior a menos 1 como un evento Niña.

Se procedió a comparar la señal del MEI con la anomalía estandarizada para precipitación para mostrar la influencia del ENSO sobre la región.

Meses riesgosos durante el Niño

Se compara la media bimestral de precipitación de escenario base, del primer año del fenómeno del Niño y el segundo año del ENSO fase cálida con respecto a su variable de precipitación. Los años considerados son: 1972-1973, 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992, 1997-1998.

7.4 Escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático se construyen a partir del escenario base; se construyen varios escenarios basados en distintos modelos y escenarios. En el caso del presente estudio se eligieron los modelos de circulación general acoplados al océano (AOGCMs): HADCM3 y CGCM2 y los escenarios A2 y B2 de cada uno. Cada uno de estos modelos en combinación con los escenarios plantea ciertos cambios en las variables climatológicas para los años centrados en 2020 (correspondiente al periodo 2011 al 2040, por lo que se denomina 2020s), así como los escenarios para 2050s.

El instituto canadiense para estudios climáticos a través de su página <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/plots/select.cgi> nos muestra los cambios planteados por estos modelos y sus escenarios. Para obtener estos datos se requiere de las coordenadas geográficas de la región estudiada y la elección de una variable meteorológica, así se obtuvieron los cambios planteados para el municipio de Huaquechula; estos aparecen en una gráfica que presenta la proyección a varios años de los cambios planteados por cada modelo en combinación con un escenario y una tabla que exhibe el modelo y escenario, el año, la probable variación y la región geográfica contemplada para este cambio.

La posición geográfica que se accedió a la página fue la siguiente: latitud 18.77° y longitud 98.53° y cada modelo muestra cual es su “gridbox center” que es la posición geográfica más cercana a la solicitada. Este es uno de los criterios para elegir modelo, encontrar aquel que se encuentre más cercano a la región de estudio.

La tabla presentada se traslada al programa excell y los cambios sugeridos por los modelos y escenarios se hacen sobre el escenario base. Así se generarán los escenarios de cambio climático para el sitio de estudio.

7.5 Los experimentos de simulación

Experimento de sensibilidad en el modelo agrícola CROPWAT

En primer lugar se hace el experimento para el escenario base; se debe contar con las siguientes variables climáticas del lugar en un promedio de 30 años: Temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa e insolación.

Para realizar las pruebas de sensibilidad sobre el escenario base se calculó un aumento de 2° C y/o 4° C en temperatura; paralelamente se calculó la diferencia de un 20% en precipitación y se procedió a combinar los aumentos en temperatura y los cambios en precipitación para darnos cuatro condiciones de clima:

- 5) 2° C mas y 20 % mas en precipitación
- 6) 2° C mas y 20 % menos en precipitación
- 7) 4° C mas y 20 % mas en precipitación
- 8) 4° C mas y 20 % menos en precipitación

Se realizaron experimentos numéricos en CROPWAT para cada una de estas condiciones climáticas, los resultados se muestran en el capítulo siguiente.

Simulaciones en CROPWAT para cambio y variabilidad climática.

Se hicieron simulaciones para cada uno de los años de la serie 1981 a 1998 para luego comparar los resultados con los porcentajes de reducción en rendimiento hechos en base a los datos reportados por el INEGI en los anuarios estadísticos.

Los cambios en las variables climáticas sobre el escenario base se convierten en escenario de cambio climático cuando se le hacen las modificaciones propuestas por los modelos con sus respectivos escenarios. Los datos de las nuevas variables fueron introducidos al programa CROPWAT y se procedió a correr el programa.

7.6 Metodología para la realización de las entrevistas

Se realizó un muestreo dirigido debido a la naturaleza de las preguntas hechas que conciernen sobre todo a aspectos de cambio y variabilidad climática, impactos, fenología del cacahuete, labores, uso de suelos y tradiciones de la región. En todos estos aspectos la confiabilidad del informante depende de la experiencia como campesino y de su conocimiento del cacahuete como cultivo. De todo el municipio las poblaciones

con mayor tradición en la producción cacahuatera son: Huaquechula (cabecera municipal) y Santiago Tetla.

Los criterios de inclusión para la selección de los informantes son:

- Habitantes de estas poblaciones
- Pobladores de mayor edad, campesinos y de más experiencia en el cultivo de cacahuate.

Se calculó el tamaño de la muestra tomando en cuenta el número de habitantes de las localidades antes mencionadas, se calculó el porcentaje de habitantes dedicados al sector agropecuario 75.95 para cada población (INEGI, 2000), en base a este se calculó la población mayor a 50 años (INEGI, 2000) y por último el 10% de cada una de estas poblaciones. Ver tabla 7.6.1

Así se calculó que el número de entrevistados debía ser 24 personas de Huaquechula y 6 personas de Santiago Tetla.

	total	sector agropecuario	población mayor de 50 años	muestra 10%
HUAQUECHULA	2,928	2196	241.56	24.156
SANTIAGO TETLA	749	561.75	61.7925	6.17925

Tabla 7.6.1 Cálculo del tamaño de la muestra de acuerdo a los criterios de inclusión.

Se eligió realizar entrevistas abiertas por que estas permiten recabar mayor información con respecto a las percepciones y opiniones de los actores involucrados.

De manera que las respuestas se obtuvieron en el transcurso de una plática pero con una guía de preguntas respecto a la fonología, labores, suelos, cambio y variabilidad climáticos y los impactos sobre la producción.

Este es un ejemplo de la guía.

GUIA PARA LA ENTREVISTA

Celebraciones

¿Cuales son las celebraciones importantes para el pueblo ?

Variabilidad climática

6. ¿Cuál es la temporada más calurosa durante el año? ¿Cuál es la más fría?

7. ¿Cuál es la temporada más lluviosa en el año? ¿Cuál es la más seca?

8. ¿En qué temporada le parece que hay más viento? ¿En que mes o meses es más fuerte el viento? ¿cuándo no hay viento?
9. ¿En que momento le parece que hay una mayor humedad en el ambiente? ¿Cuándo es más seco el ambiente?
10. ¿Qué es la canícula? ¿en que época aparece?
11. ¿Cómo afecta la canícula en la agricultura?
12. ¿De que dirección proviene la lluvia? ¿Afecta de alguna forma a los cultivos la dirección de la que viene la lluvia?

Cambio climático

El clima cambia en el tiempo a un muy largo plazo (miles de años); sin embargo, científicos alrededor del mundo están advirtiendo que el clima está cambiando globalmente y mucho más rápidamente de lo que se esperaría de manera natural.



(usar imagen para explicar el calentamiento global)

Los registros de las temperaturas hechas por los científicos reportan que la temperatura del planeta esta aumentando; por lo que hay un calentamiento global.

Al igual que nuestro cuerpo cuando le sube la temperatura, es un síntoma de que algo no anda bien. En el caso de nuestro cuerpo se desatan mecanismos para regular la temperatura tales como la sudoración, en tanto que en nuestro planeta se desencadenan mecanismos para equilibrar la energía y la temperatura del sistema climático tales como nuevos patrones de lluvia, viento, o fenómenos como huracanes. También se observa como un cambio de larga duración (varios años) en los eventos climáticos que ocurren cada año y en la fecha en que se espera ocurran estos eventos. Entre otros cambios, también ha aumentado el nivel del mar.

El problema podría agrandarse de no hacer nada al respecto en los próximos años.

13. ¿Hace cuánto que notaron los cambios en el clima?

14. ¿Les parece que llueve más o que llueve menos? (con respecto al tiempo que el entrevistado estableció)
15. ¿Le parece que el temporal entra más tarde o más temprano de lo que solía hacerlo?
16. ¿Los inviernos son igual de fríos? ¿Los veranos son igual de calurosos?
17. ¿Ha notado algún cambio en la canícula? ¿viene con más agua o menos agua?
18. ¿Qué otros cambios ha notado en el estado del tiempo?
19. ¿Cómo afecta el cambio climático en sus actividades en casa o en el trabajo?
21. ¿Por qué cree que el cambio climático esta ocurriendo? ¿Cuáles son las causas?
23. ¿Quién o que es el responsable del cambio climático?

Fenología

25. ¿Qué variedad de cacahuate siembra usted?
26. ¿Cuánto dura el ciclo completo del cacahuate desde que se siembra hasta que se cosecha? ¿En cuántas etapas dividiría usted el desarrollo del cacahuate? ¿Cuánto dura cada una y qué pasa en cada una de ellas? ¿en que fechas se dan estas etapas?
27. Hace _____ años (tiempo establecido en la pregunta 13) aproximadamente cuando se iniciaba la siembra de cacahuate?
28. ¿Cuál es el momento más delicado del desarrollo del cacahuate? ¿A qué factores climáticos es más sensible?

Labores

29. ¿Qué labores o cultivos se hacen? ¿En qué momento se hacen?
31. ¿Cuáles son las principales plagas del cacahuate y en que momento de su desarrollo ocurren?
32. ¿Cómo combaten las plagas?
33. Usa agroquímicos?

Fuentes de información climática

34. ¿Cómo se pronosticaba el tiempo hace unos años?
36. En la actualidad ¿de que manera se pronostica el clima?

Economía local.

37. ¿Cuál es el rendimiento del cacahuate?

39. ¿Resulta negocio la producción de cacahuate?

Capítulo 8. Resultados

8.1 Obtención y validación de los datos meteorológicos

Justificación de uso de datos de la estación 17020 (Tlacotepec, Morelos)

Dada la carencia de datos en la estación 21123, ubicada en la región de estudio, se encontró que la estación 17020 cuenta con una serie de datos meteorológicos de más de 30 años consecutivos además de ser la estación más cercana a la 21123; la estación 21123 se encuentra en la siguiente ubicación: $18^{\circ} 46'$ de latitud y $98^{\circ} 32'$ de longitud y a una altitud de 1540 m.s.n.m.; en tanto que la estación 17020 se encuentra a una latitud de $18^{\circ} 45'$ y una longitud $98^{\circ} 45'$ y a 1302 m.s.n.m. Sus climas son similares, ya que el clima de Huaquechula esta clasificado como A(C) W₀ (W) y el clima de Tlacotepec 17020 es A (C) W₁ (W) según Köppen, modificado por E. García (1981) lo cual significa que ambos pertenecen al grupo de los semicálidos súbhumedos.

Finalmente para mostrar que ambas estaciones son lo suficientemente similares como para usar los datos de la estación 17020 para la región de estudio, se compararon las series (no consecutivas) de precipitación correspondientes de ambas estaciones y se calculó un coeficiente de correlación para meses representativos de cada estación. De forma que se compararon los meses de Mayo, Julio y Octubre.

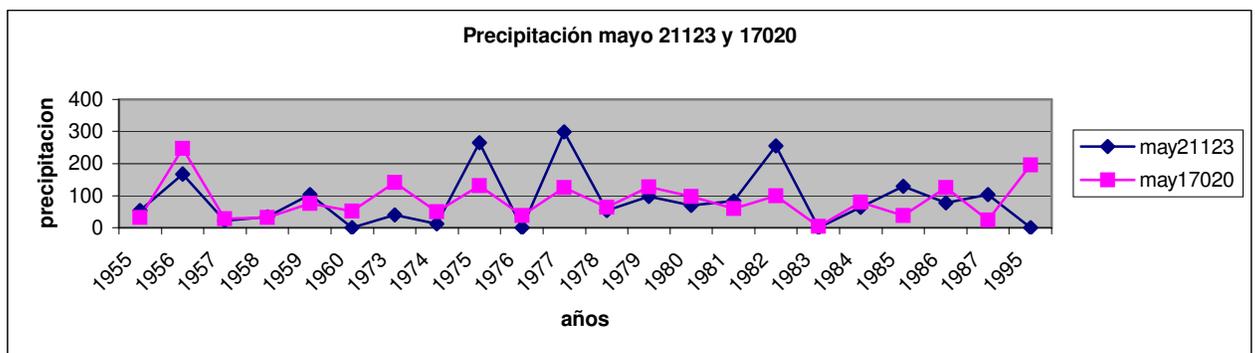


Gráfico 8.1.1 Comparación de los datos de precipitación registrados para mayo en distintos años no consecutivos. El coeficiente de correlación encontrado es 0.76.

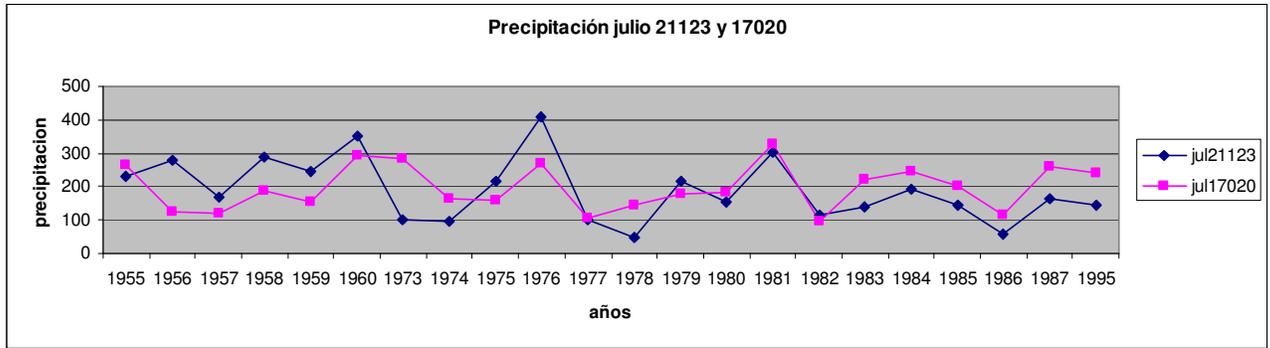


Gráfico 8.1.2 Comparación de los datos de precipitación registrados para julio en distintos años no consecutivos. El coeficiente de correlación encontrado es 0.8.

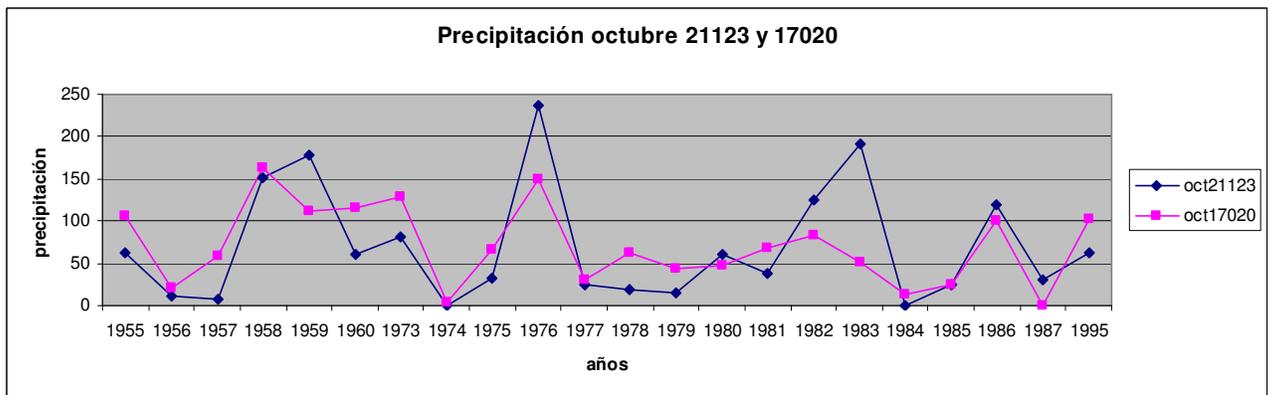


Gráfico 8.1.3 Comparación de los datos de precipitación registrados para octubre en distintos años no consecutivos. El coeficiente de correlación encontrado es 0.8.

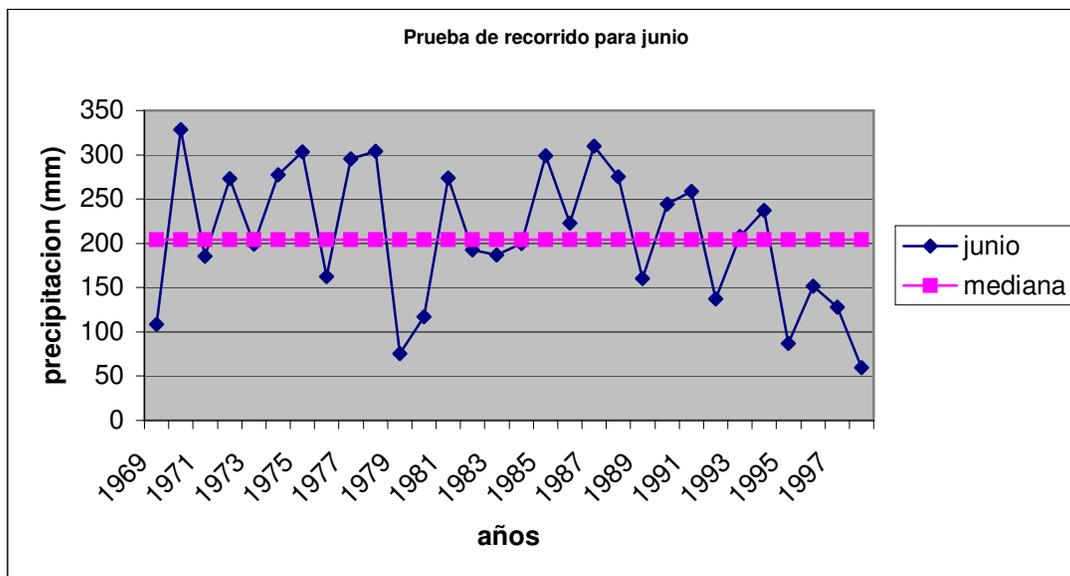
Entonces los coeficientes de correlación para las series no consecutivas de la estación 17020 y 21123 son: Mayo 0.76; julio 0.8; octubre 0.8. Puede decirse entonces que los datos de las estaciones son similares en aproximadamente 80%, por lo que resulta factible el uso de los datos de la estación 17020 de Morelos para la descripción del clima de la región de Huaquechula, Puebla.

Prueba de recorrido

La prueba de recorrido (Rosales, 2005) se utiliza para mostrar la homogeneidad de los datos, lo que implica verificar si las series de datos empleadas en el estudio no presentan alteraciones que puedan indicar errores sistemáticos (por deficiencias en los aparatos o en la lectura de datos). Esta prueba se realizó para una serie de 30 años que van de 1969 a 1998 con datos de precipitación de la estación 17020 correspondientes al mes de junio

por ser el más lluvioso en promedio. El intervalo que le corresponde según Medina (1995) es de 12 –19 por ser esta una secuencia de 30 años.

La siguiente gráfica se realizó para calcular el número total de cambios para junio:



Gráfica 8.1.4. Número de cambios (U) en la precipitación con respecto a la mediana para el mes de junio.

Partiendo de la metodología que se describe en el capítulo anterior se comparó la U (número de cambios) calculada con la U (número de cambios) de tablas para una serie de 30 años. Se muestra que el conjunto de datos es homogéneo ya que la U calculada se encuentra dentro del rango esperado (ver tabla 8.2). Puede hacerse entonces un análisis de probabilidad normal.

Mes	U calculada	U de tablas
Junio	17	12-19

Tabla 8.1.2 Comparación de la U calculada y U de tablas

Se realizaron pruebas similares para los meses de julio, agosto, septiembre resultando que las series pasan la prueba de recorrido descrita.

8.2 Caracterización del clima regional

Escenario base

El escenario base fue construido con los promedios mensuales de la serie 1969 a 1998; es decir, se trata de la media mensual de 30 años, siguiendo la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial para caracterizar el clima de una región. La gráfica 8.2.1 nos muestra como cambian a lo largo del año la precipitación, las temperaturas máximas y mínimas.

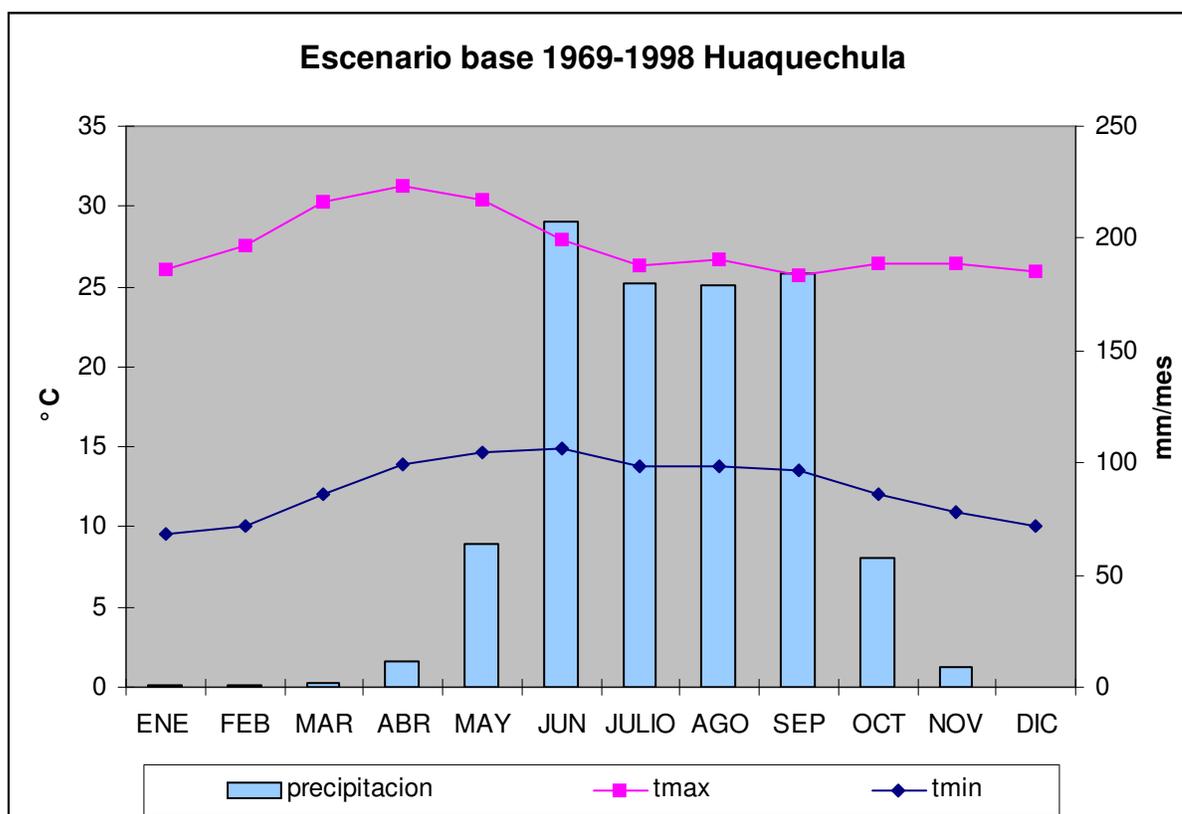


Gráfico 8.2.1 Escenario base construido con los promedios mensuales de la serie 1969-1998 de las variables: precipitación (mm), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) para la región de Huaquechula, Puebla.

En la gráfica se muestra que las temperaturas durante el año oscilan entre los 25° y 31° C, también se observa que los valores más altos de la temperatura máxima ocurren en los meses de marzo, abril y mayo, siendo abril el mes que registra la mayor temperatura. Por otro lado las temperaturas mínimas están entre 9° y 13° C, registrándose los valores más bajos en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, siendo enero el mes más frío.

Se muestra que el periodo lluvioso propiamente dicho abarca de junio a septiembre; alcanzando en junio los 207.7 mm/mes, sin embargo existe una disminución en la precipitación en los meses de julio y agosto y ello se debe al fenómeno de la canícula (ver capítulo 1).

La precipitación anual es de alrededor de 896 mm.

La percepción de la variabilidad climática de los campesinos de Huaquechula se expone a continuación:

La temporada más caliente ocurre entre abril y mayo y si es que llegan a suceder heladas, ocurren a finales de diciembre.

El período lluvioso o temporal comienza en junio y termina en octubre; los meses más lluviosos son junio y septiembre; la canícula aparece en el lapso que comprende las dos últimas semanas de julio o las primeras dos semanas de agosto y es de duración variable.

Los lugareños también reportan que la dirección de la cual viene la lluvia es muy importante para determinar su calidad; así el temporal que entra por el oriente es considerado como el de mejor calidad y abundancia “son aguas buenas”; en tanto que la lluvia que viene del Popocatepetl no es tan buena aunque no daña el cultivo; pero la precipitación que viene del sur es considerada “agua mala” o “agua bajaña” porque quema las plantas, este tipo de precipitaciones ocurren en los meses de septiembre y octubre; los productores piensan que este fenómeno es un tipo de lluvia caliente que proviene del Pacífico. Los campesinos consideran que la cantidad de humedad de la región depende más que del temporal de los huracanes o de los nortes y que por tanto en su mayoría la humedad viene del norte en la actualidad.

Algunos términos nahuas son usados para describir el clima; así “Tlapaquiahue” se refiere a la ocurrencia de 4 días cerrados de lluvia.

Por otro lado el viento se considera más fuerte en febrero y hasta la segunda semana de marzo “Febrero loco y marzo otro poco” reza el dicho popular; octubre es el mes con viento más calmado.

El granizo que sucede entre mayo y julio es un evento que sí puede dañar al cacahuate ya que resulta peligroso para la floración.

Resulta necesario considerar las variables del escenario base como el ambiente en el que se desarrolla el cultivo, por ello es importante retomar el capítulo 5 dónde se habla de los

requerimientos climáticos del cacahuete. Entre los limitantes más importantes del cacahuete están la temperatura y el régimen hídrico; Gillier y Silvestre (1970) reportan que las temperaturas óptimas para cada etapa fenológica: entre 32° y 34° C para la germinación; 30° a 33° C para el período de prefloración, 24° a 33° C para la floración y para la maduración 22 a 25° C. Los límites de temperatura dependen de la etapa fenológica pero también de la duración de estas condiciones; así tenemos que los límites para la germinación en condiciones prolongadas estaría entre 15° y 45° C pero si se recuperan las condiciones favorables la germinación ocurre; sin embargo si las temperaturas son inferiores a los 5° o sobrepasan los 54° C el embrión muere. El límite para el periodo de prefloración se encuentra en 12° C, el de la floración a los 18° C y el de la maduración a los 10° C.

La tabla 8.2.1 Resume los resultados de las entrevistas realizadas y muestra el momento de ocurrencia de las etapas fenológicas (por días después de la siembra y fechas aproximadas del mes; según nuestros informantes las fechas sólo serían aplicables de los 70's a la actualidad. Se anota también la vulnerabilidad y las labores asociadas.

Fechas	Días después siembra	Evento	Vulnerabilidad a la sequía.	Labores
Mayo				Barbecho. Aflojar la tierra para que reciba la humedad.
1-3 junio		Siembra		
9-11 junio	8 días	Nascencia	Resistente a sequía.	
16-19 junio	15 días		Muy resistente a la sequía	Arado con el objetivo de aflojar la tierra para que no crezca apretado y se desarrolle más rápido, 1ª deshierbe (antes con hoz, actualmente con herbicida)
21-23 junio	20 días		Muy resistente a la sequía	
10-13 julio	40		Muy resistente a la sequía	Otra arada y deshierbe
27 julio a 1 agosto	56-60	Inicio de la floración	Inicio de etapa vulnerable	
1 al 30 de agosto	60-90	Período de floración útil y formación de agujas (carpóforo)	Muy vulnerable. Cuando el temporal escasea la aguja se quema y ya no clava	
1ª semana agosto				Deshierbe
1 a 3 septiembre	91-94	Fructificación (aparición de zapatitos)	Vulnerable	Rayada. Volver a meter el arado para formar el surco. Deshierbe.

15 a 18 octubre	126 a 130	Maduración		
29 octubre a 1 noviembre	140 a 143	Cosecha		Con tractor o yunta para arrancar la mata

Tabla 8.2.1 Momento de ocurrencia de las etapas fenológicas de unos 30 años al presente, vulnerabilidades y labores asociadas en la región de Huaquechula, Pue.

En la región de Huaquechula uno de los principales limitantes es la temperatura mínima ya que los límites de resistencia del cacahuate si ocurren en el escenario base, lo que significa que tienen una cierta frecuencia; en cambio las altas temperaturas no lo son tanto como para amenazar alguna etapa fenológica.

Tanto Gillier y Silvestre (1970) como los productores nos mencionan que la etapa más resistente a la sequía es el periodo de prefloración; así junio y hasta la segunda semana de julio el cacahuate resistiría la escasez de agua, pero la sequía en junio no es parte de la variabilidad normal de modo que no resulta problemático para la planta. Sin embargo la floración que comienza la segunda mitad de julio y dura todo agosto está amenazada por el fenómeno de la canícula que implica una disminución en la precipitación. Otra de las amenazas mencionadas por los campesinos para esta etapa es el granizo que puede arruinar la floración. Si la sequía es muy fuerte aumenta el riesgo de plagas, pero la más ampliamente referida por los productores es la llamada “gallina ciega” (*Phyllophaga spp*).

Es importante hacer notar que el cultivo no corre riesgo de heladas ya que su ciclo de vida no alcanza los meses invernales.

Se concluye que en el sitio de estudio las condiciones de temperatura son cercanas a los valores óptimos para la producción del cacahuate, pero no así la cantidad actual de precipitación, ni las condiciones presentes del suelo ya que los campesinos mencionan un decremento en la cantidad de agua aportada por las lluvias y un desgaste del suelo a consecuencia del uso de agroquímicos.



Foto 8.2.1 Siembra de cacahuete en Huaquechula, Pue. . Fotografía tomada por Mabel Sánchez Matías (2005).



Foto 8.2.2 Periodo de floración del cacahuete en Huaquechula, Pue. . Fotografía tomada por Mabel Sánchez Matías (2005).



Foto 8.2.3 Primeras flores del cacahuete a principios de agosto del 2005 en Huaquechula, Pue. . Fotografía tomada por Mabel Sánchez Matías (2005).



Foto

8.2.4 Momento de deshierbe del cacahuete en agosto. . Fotografía tomada por Mabel Sánchez Matías (2005).



Foto 8.2.5 Momento de fructificación o aparición de los “zapatitos”. . Fotografía tomada por Mabel Sánchez Matías (2005).

Cambios en el clima regional

El clima global está cambiando aceleradamente y las variaciones a nivel regional son detectadas sobre todo por los campesinos. Así en las entrevistas realizadas los productores revelan que:

La temporada más caliente solía ser en mayo mientras que las heladas ocurrían en diciembre; de la década de los setentas hacia el presente la temporada más calurosa es abril en tanto que casi ya no ocurren heladas además de que éstas ocurren en enero.

Por otra parte el temporal (el periodo lluvioso) comenzaba en mayo, alrededor de las fiestas del 3 de mayo y a partir de la década de los setentas el temporal ha empezado muchas veces en junio, el agua escasea más frecuentemente, el temporal disminuyó y el patrón de las lluvias ha cambiado; por esta razón las fechas de siembra también cambiaron.

Algunas de estas observaciones coinciden con lo que se muestra en las siguientes gráficos:

En el gráfico 8.2.3 se observa que durante la secuencia de años que van del 56 al 65, la cantidad de precipitación estaba más uniformemente distribuida durante la época lluviosa, de modo que la canícula no se presentaba tan seca en la mayoría de los años; en cambio para los años del 66 al 75 la precipitación para el mes de mayo disminuye y la distribución de la lluvia se hace menos uniforme aumentando alrededor de 40 mm en junio pero disminuyendo aproximadamente 60 mm para julio. También se muestra que la precipitación promedio anual decadal ha disminuido (gráfica 8.2.4)

En cuanto a las temperaturas las diferencias entre las décadas se notan en los meses de octubre a enero, ya que hay un aumento en las temperaturas máximas y mínimas 0.5°C aproximadamente. Esto coincide con las observaciones de los campesinos ya que ellos reportan una menor incidencia de heladas y un cambio en el mes de ocurrencia de las mismas.

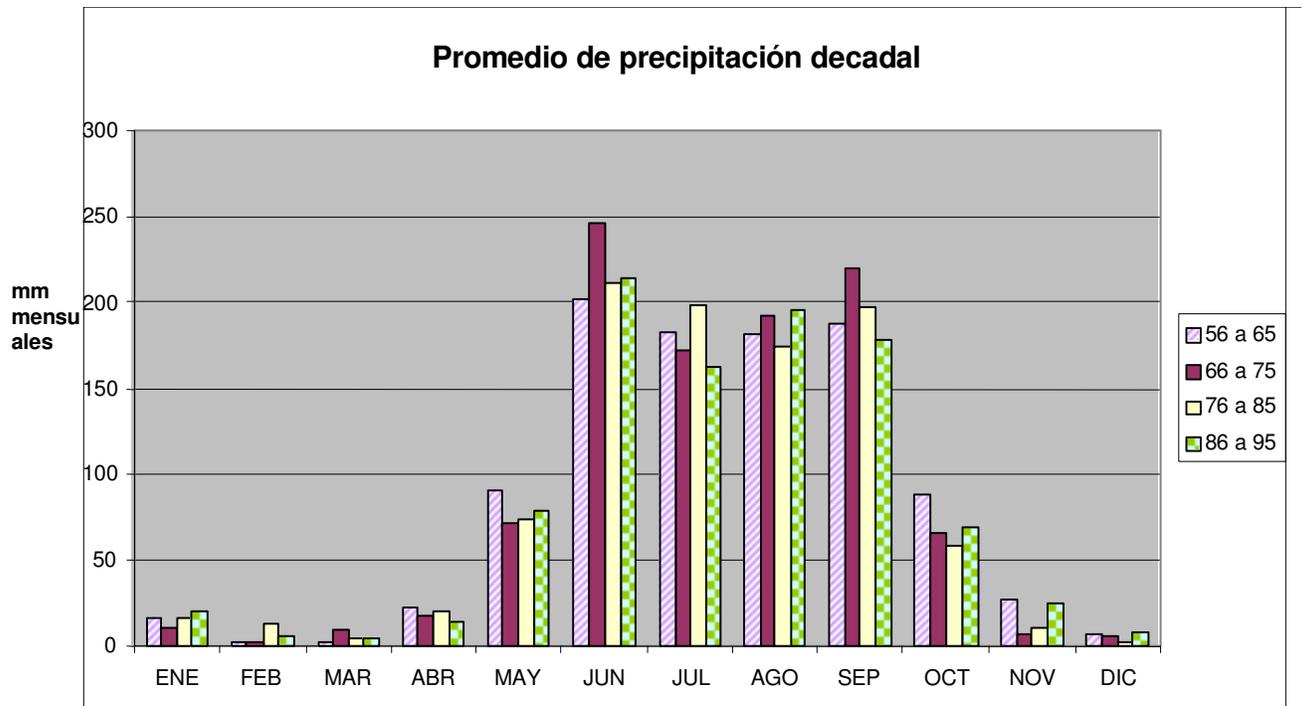
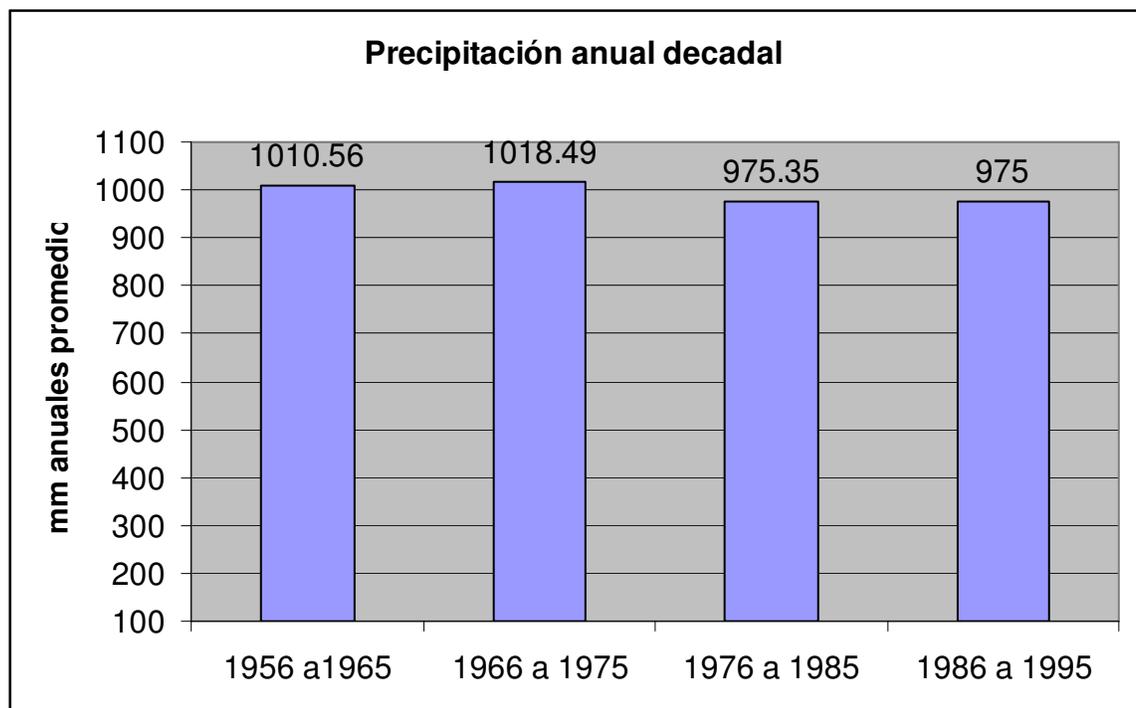


Gráfico 8.2.3 Promedio decadal de precipitación (mm) mensual de las series de años 56 a 65, 66 a 75, 76 a 85 y 86 a 95.



Gráfica 8.2.4 Precipitación anual decadal promedio de las series de años 56 a 65, 66 a 75, 76 a 85 y 86 a 95.

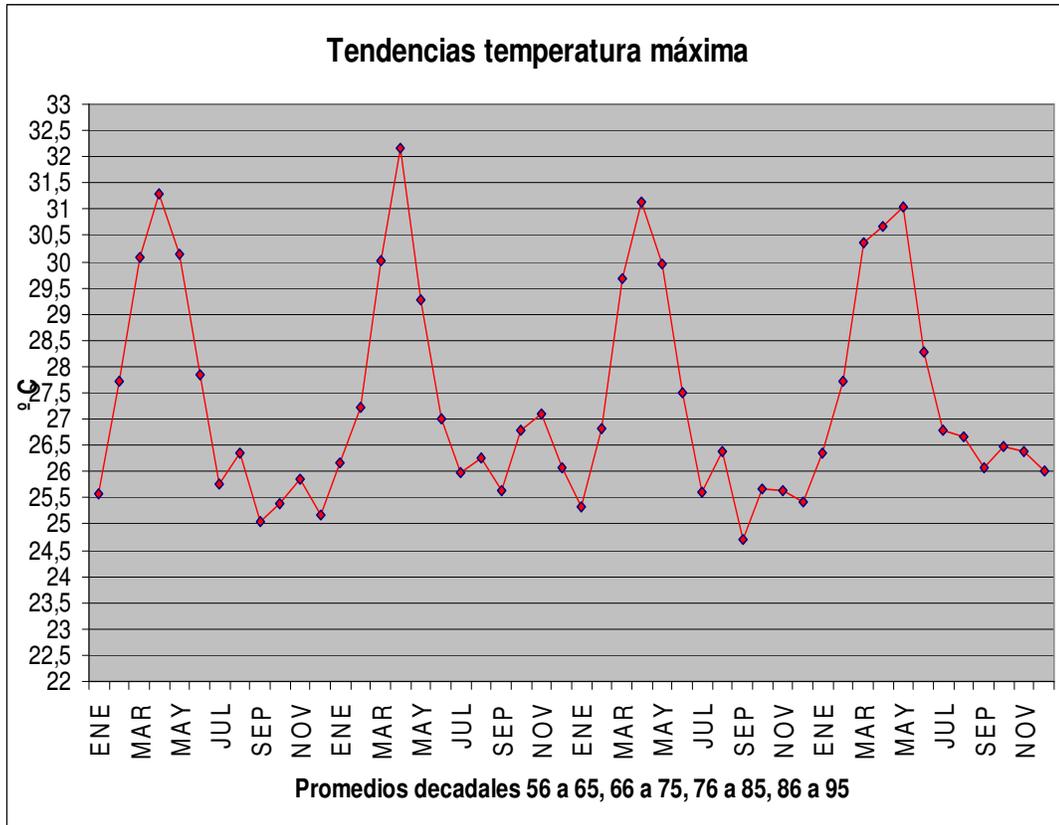
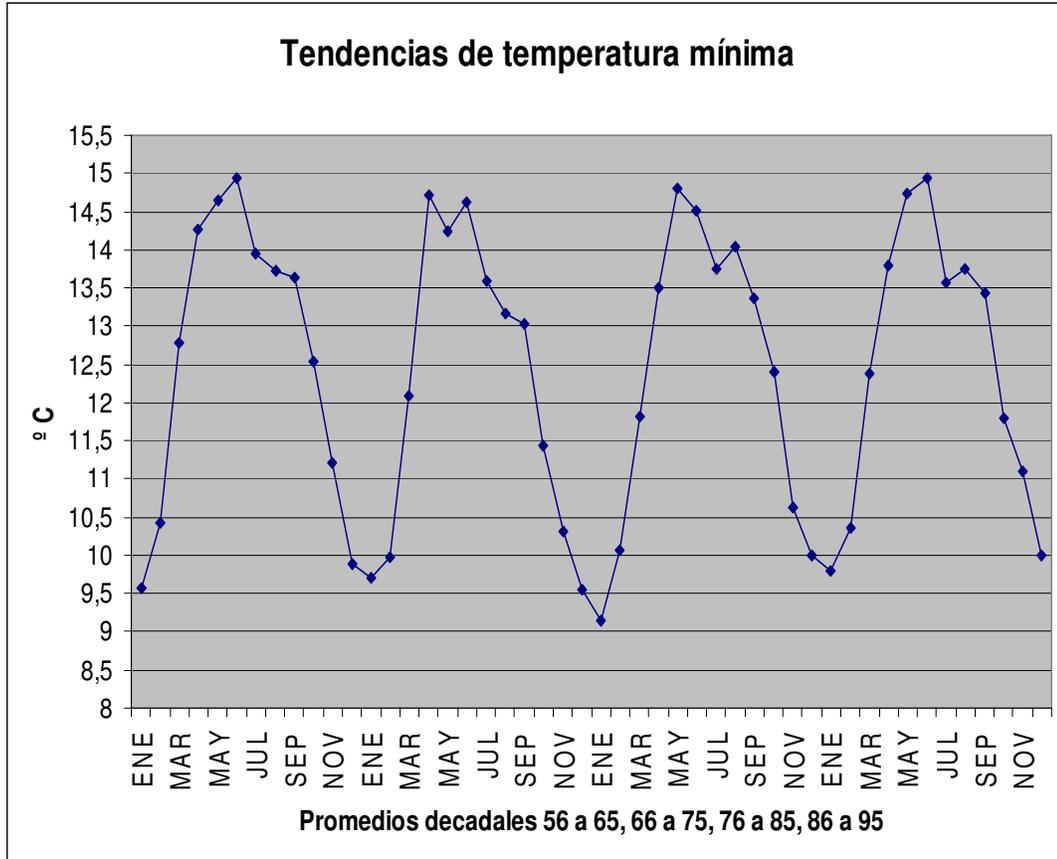


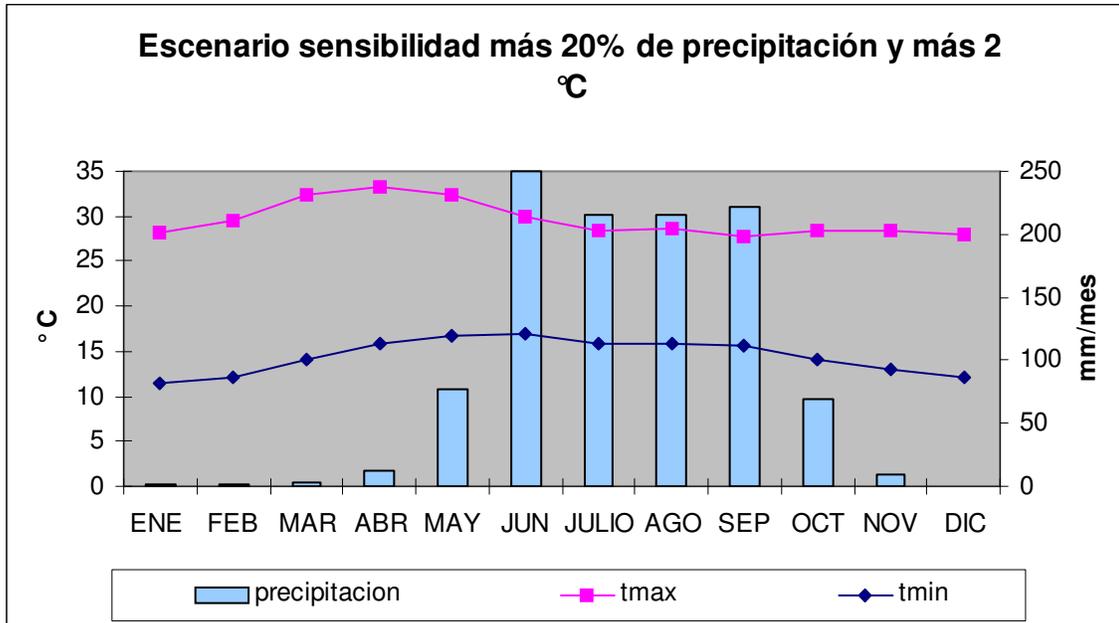
Gráfico 8.2.4 Tendencias de las temperaturas máximas mensuales de las series de años 56 a 65, 66 a 75, 76 a 85 y 86 a 95.



Tendencias de las temperaturas mínimas mensuales de las series de años 56 a 65, 66 a 75, 76 a 85 y 86 a 95.

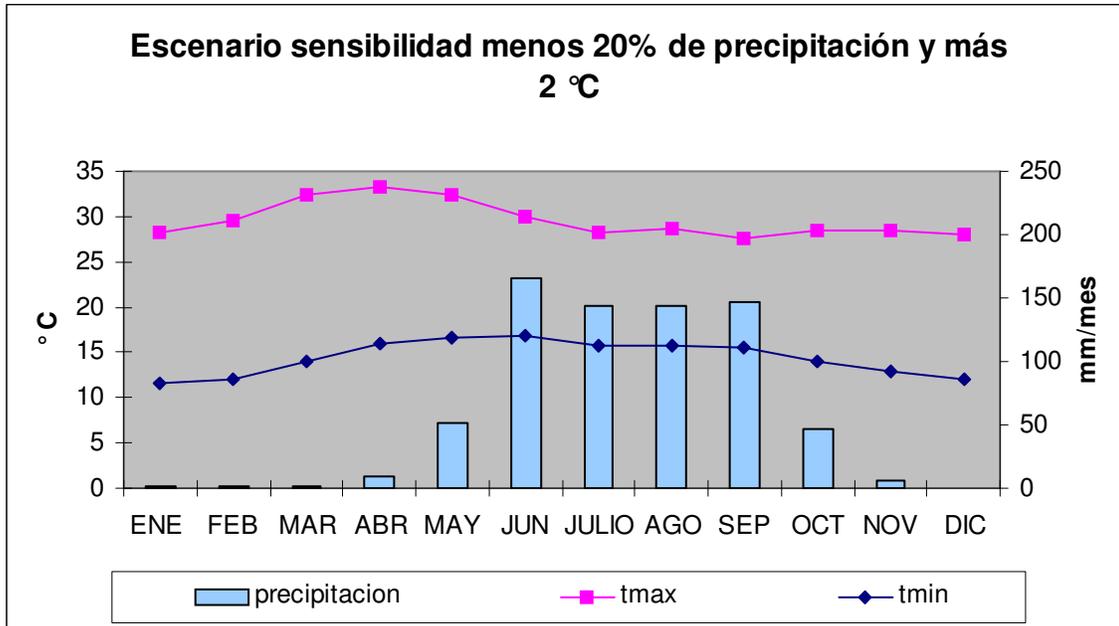
Escenario de sensibilidad

A partir del escenario base se crearon escenarios hipotéticos donde aumenta o disminuye la lluvia en un 20% y las temperaturas máximas y mínimas aumentan en 2° C o en 4° C, en cada mes. Los datos generados se introdujeron en el modelo agrícola CROPWAT para observar qué ocurría con los rendimientos de cacahuate. Para ilustrar cada uno de estos escenarios se presentan las siguientes gráficas.



Gráfica 8.2.2 Se muestra un escenario hipotético donde la precipitación de la región aumenta un 20% y la temperatura aumenta en 2° C.

De acuerdo con este escenario, las temperaturas máximas oscilan entre los 27.6° y 33.3° C, siendo los meses más cálidos marzo abril y mayo, siendo abril el que registra más altas temperaturas. Por otra parte las temperaturas mínimas asentadas abarcan un rango de 11.5° a 16.87° C, registrándose para enero el punto más álgido, los meses con temperaturas mínimas más bajas incluyen a noviembre, diciembre, enero y febrero. La precipitación anual sería de 1075 mm/mes y en junio (el mes con mayor cantidad de lluvia) llegaría a alcanzar los 250 mm/ mes.



Gráfica 8.2.3 Escenario hipotético en el que ocurre una disminución del 20 % en la precipitación y aumenta la temperatura 2° C.

Para este escenario las temperaturas máximas oscilan entre los 27.6° y 33.3° C, siendo los meses más cálidos marzo abril y mayo, siendo abril el que registra más altas temperaturas y septiembre sería el mes con temperaturas máximas más bajas. Por otra parte las temperaturas mínimas asentadas abarcan un rango de 11.5° a 16.5° C, registrándose para enero el punto más álgido; en tanto que las temperaturas mínimas más elevadas ocurrieron en junio. Los meses con temperaturas mínimas más bajas incluyen a noviembre, diciembre, enero y febrero. La precipitación anual sería de 717.12mm/mes y en junio(el mes con mayor cantidad de lluvia) llegaría a alcanzar solo 166 mm/ mes.

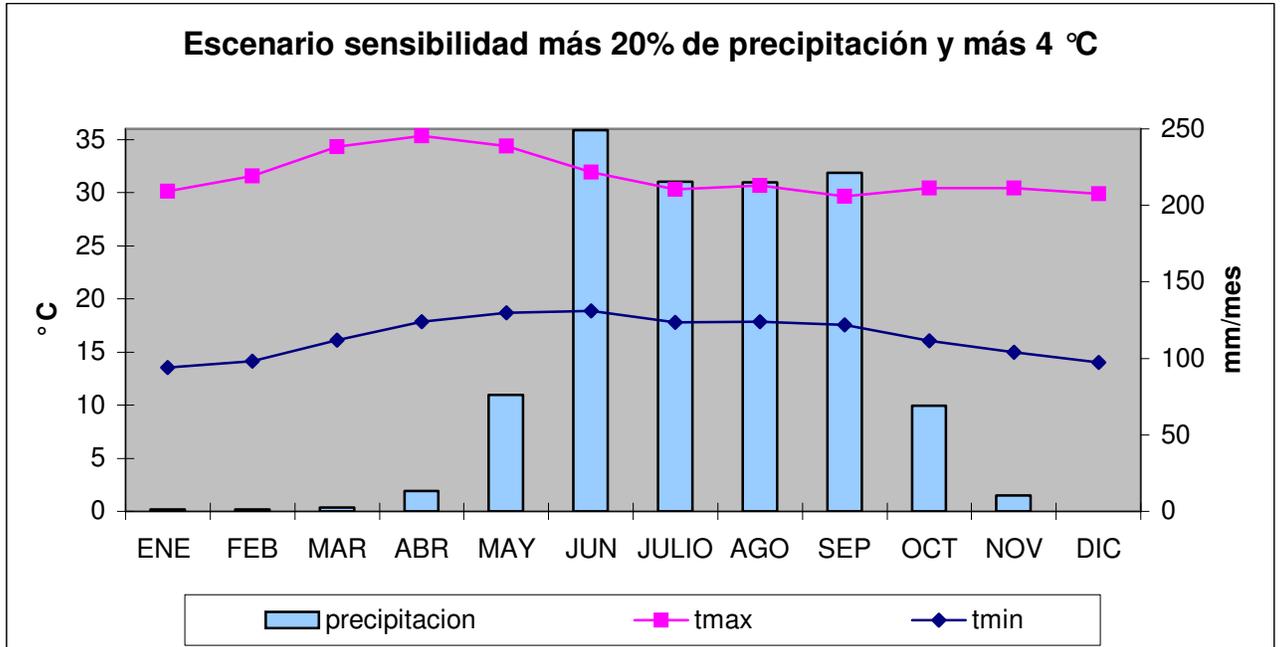


Gráfico 8.2.4 Escenario hipotético donde aumenta 20% de precipitación y mas 4° C la temperatura.

Este escenario hipotético nos expone que las temperaturas máximas oscilan entre los 29.6° y 35.3° C, siendo los meses más cálidos marzo abril y mayo, siendo abril el que registra más altas temperaturas y septiembre sería el mes con temperaturas máximas más bajas. Por otra parte las temperaturas mínimas asentadas abarcan un rango de 13.5° a 18.5° C, registrándose para enero el punto más álgido; en tanto que las temperaturas mínimas más elevadas ocurrieron en junio. Los meses con temperaturas mínimas más bajas incluyen a noviembre, diciembre, enero y febrero. La precipitación anual sería de 1075 mm/mes y en junio(el mes con mayor cantidad de lluvia) llegaría a alcanzar los 250 mm/ mes.

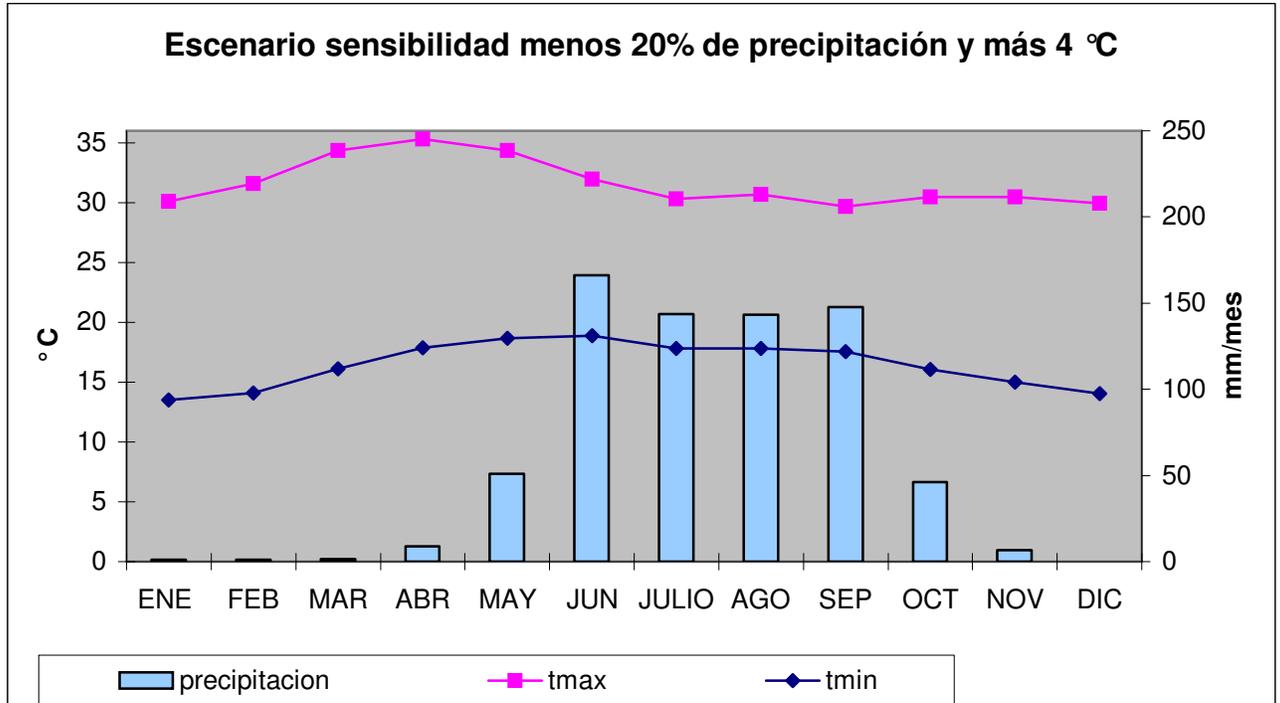


Gráfico 8.2.5 Escenario hipotético en el que ocurre una disminución del 20% de precipitación y la temperatura aumenta 4° C.

Este último escenario hipotético nos muestra que las temperaturas máximas oscilan entre los 29.6° y 35.3° C, siendo los meses más cálidos marzo abril y mayo, siendo abril el que registra más altas temperaturas y septiembre sería el mes con temperaturas máximas más bajas. Por otra parte las temperaturas mínimas asentadas abarcan un rango de 13.5° a 18.5° C, registrándose para enero el punto más álgido; en tanto que las temperaturas mínimas más elevadas ocurrieron en junio. Los meses con temperaturas mínimas más bajas incluyen a noviembre, diciembre, enero y febrero. La precipitación anual sería de 717.1 mm/mes y en junio (el mes con mayor cantidad de lluvia) llegaría a alcanzar sólo los 166 mm/ mes.

Los escenarios más riesgosos para el cacahuate son aquellos dónde se considera una disminución del 20% de la precipitación, ya que el cacahuate es una planta termófila y un aumento de la temperatura le permitiría alcanzar los valores óptimos para las etapas fenológicas de germinación, prefloración y floración. En cambio una disminución de la precipitación en los meses de julio y agosto resulta crítico para la floración y la fructificación, de modo que se compromete la producción de los frutos.

8.3 Relación entre el episodio cálido del ENSO y la precipitación de la región

La señal del MEI (por sus siglas en inglés: Multivariate ENSO Index) se comparó con la anomalía estandarizada para precipitación para mostrar la influencia del ENSO sobre la región. (Para mayor información consultar apartado 7.3)

El gráfico 8.3.1 es resultante de esta comparación.

Se observa que en general, cuando la señal del MEI de cierto año, es mayor a 1 (Niño fuerte), la precipitación disminuye, lo que indica influencia del evento ENSO fase cálida sobre las lluvias de la región. Según Conde (2003), un criterio para decidir la intensidad de El Niño en función del MEI es considerar los valores mayores de 1 del MEI como Niños fuertes. Así los fenómenos intensos de ENSO fase cálida de la serie mostrada serían: 1972-1973, 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992, 1997-1998.

La comparación aquí presentada se basa en la precipitación y la señal del MEI de los bimestres: mayo-junio, junio-julio, julio-agosto, agosto-septiembre, septiembre-octubre.

Los años Niño de mayor magnitud según la gráfica 8.3.1 son 1982 y 1998 en los que la región registra una drástica disminución de precipitación y la prolongación del estrés hídrico durante los meses de verano críticos para el desarrollo del cacahuete (julio-agosto y agosto –septiembre)

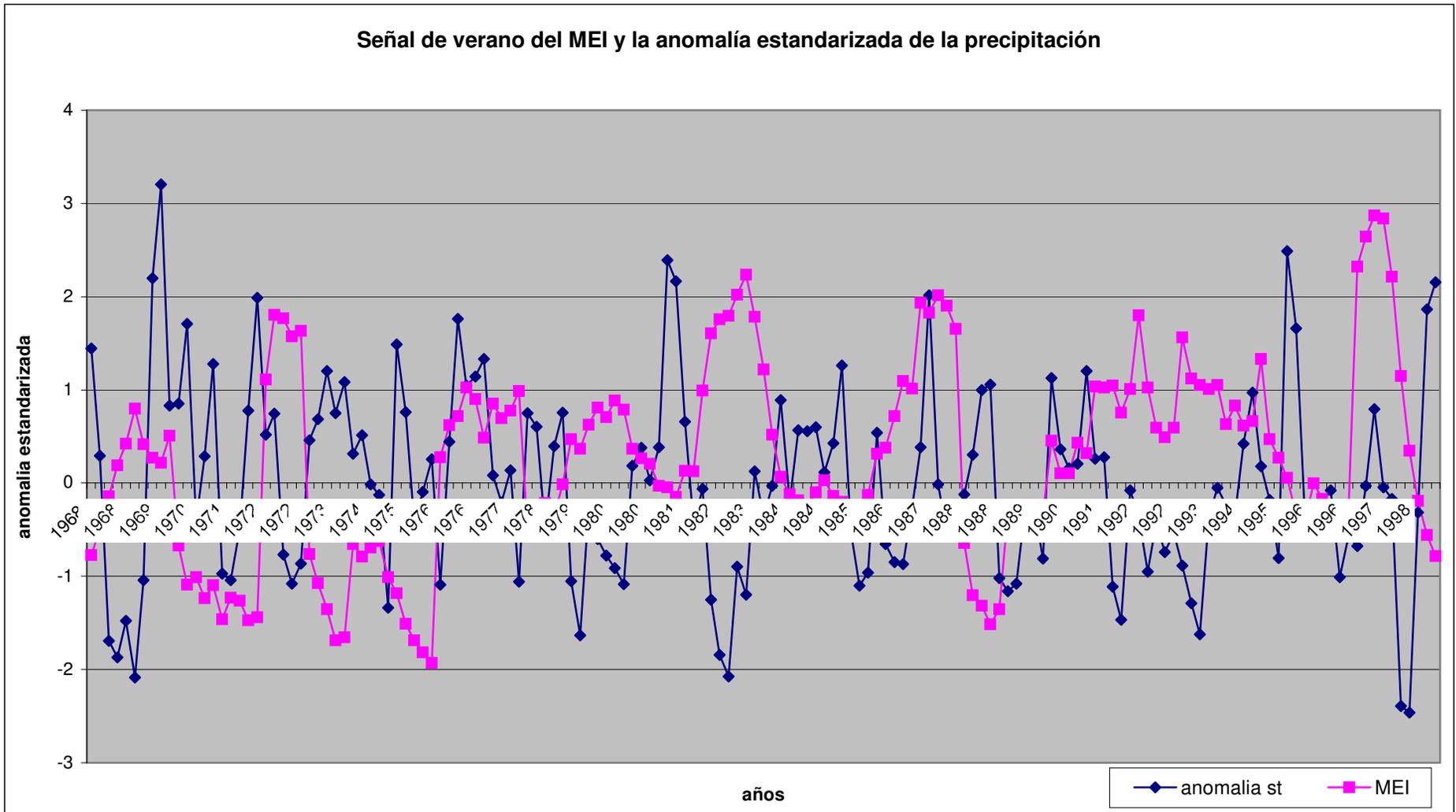


Gráfico 8.3.1. Serie de 1969 a 1998 que muestra las anomalías de verano del MEI y la anomalía estandarizada de la precipitación de la estación 17020

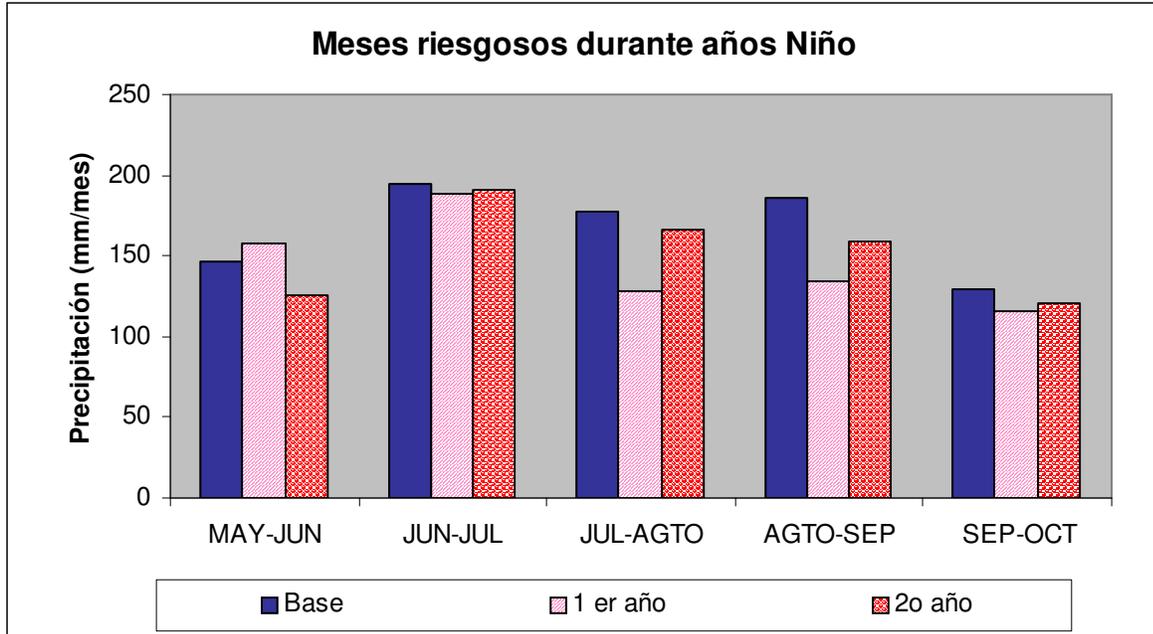


Gráfico 8.3.2 Muestra el promedio bimestral de precipitación del escenario base; así como la media bimestral de precipitación de los años 1972, 1982, 1986, 1991 y 1997 correspondientes al primer año del fenómeno del Niño; se compara con la media bimestral de precipitación de los años 1973, 1983, 1987, 1992 y 1998 que incumben a los segundos años en los que se presentó el Niño.

La gráfica 8.3.2 muestra los meses más riesgosos durante años Niño y esto resultan ser, en primer lugar, los meses de julio y agosto para el primer año del fenómeno en cuestión, esto se debe probablemente a un aumento en la intensidad de la canícula; en cambio para el segundo año los meses más riesgosos son agosto y septiembre; en ambos casos la disminución en la precipitación resulta notoria e implica necesariamente riesgos mucho mayores para el ciclo de vida del cacahuete.

Julio y agosto son los meses en los que el cacahuete es más vulnerable porque es cuando florea y de acuerdo con la gráfica 8.3.2 el primer año del fenómeno del Niño es el más riesgoso para la producción de cacahuete.

8.4 Escenarios de cambio climático

Se plantean los posibles escenarios de acuerdo a dos modelos HADCM3 y CGCM2 y los escenarios A2 y B2 de cada uno. Se obtuvo de esta forma los posibles escenarios para el municipio de Huaquechula para años centrados en el 2020 (ver tablas 8.4.1, 8.4.2, 8.4.3, 8.4.4 y gráfica 8.4.1) y el 2050 (ver tablas 8.4.5, 8.4.6, 8.4.7, 8.4.8 y gráfica 8.4.2).

Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	1.4	2	-4
FEB	-0.1	0	-11
MAR	0.2	0.6	9
ABR	1.1	1.2	-12
MAY	1.4	1.1	-15
JUN	1.7	1.2	-7
JULIO	2.1	1.1	-16
AGO	3	1.1	-20
SEP	1.5	0.9	-20
OCT	0.7	0.6	3
NOV	0.7	1.1	6
DIC	0.6	1.1	12

Tabla 8.4.1 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el HADCM3 A2 para el 2020.

Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	1.1	1.4	3
FEB	0.3	0	4
MAR	0.3	1.1	-1
ABR	1	1.3	7
MAY	0.1	0.8	2
JUN	0.5	1.1	2
JULIO	1.3	0.8	-29
AGO	2.5	0.9	-32
SEP	1.5	0.9	-23
OCT	1.5	1.2	-2
NOV	1.6	1.8	15
DIC	0.6	0.7	11

Tabla 8.4.2 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el HADCM3 B2 para el 2020.

Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	0.5	0.1	-16
FEB	0.6	0.7	6
MAR	0.5	0.4	-13
ABR	0.3	0	-18
MAY	1	0.8	-15
JUN	0.5	0.8	22
JULIO	0.7	0.2	-37
AGO	0.8	0.5	-12
SEP	0.6	0.4	-6
OCT	0.8	0.7	5
NOV	0.8	0.5	-6
DIC	0.8	0.8	14

Tabla 8.4.3 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el CGCM2 A2 para el 2020

Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	0.7	0.5	-13
FEB	0.7	0.7	-1
MAR	0.6	0.7	-6
ABR	0.4	0.4	4
MAY	0.8	0.9	-2
JUN	0.6	0.7	16
JULIO	0.7	0.4	-28
AGO	1	0.5	-19
SEP	0.7	0.8	5
OCT	1	1	0
NOV	0.7	0.4	-13
DIC	0.7	0.8	-3

Tabla 8.4.4 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el CGCM2 B2 para el 2020.

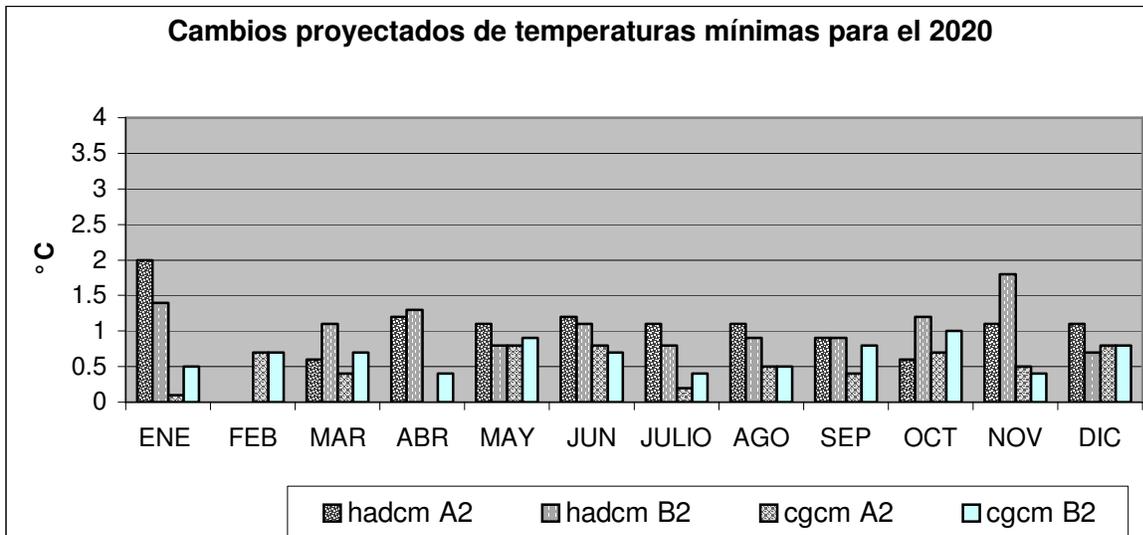
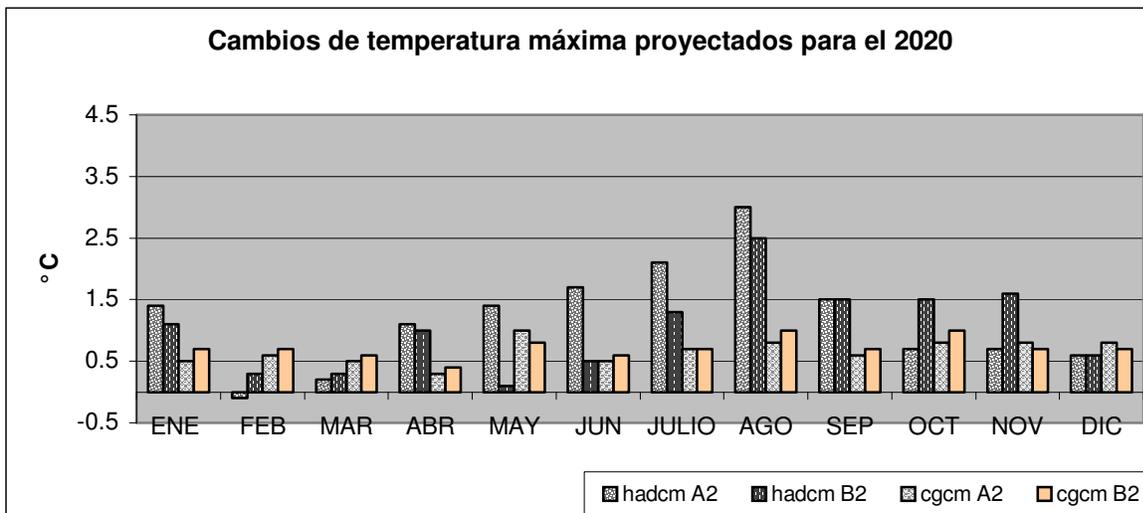
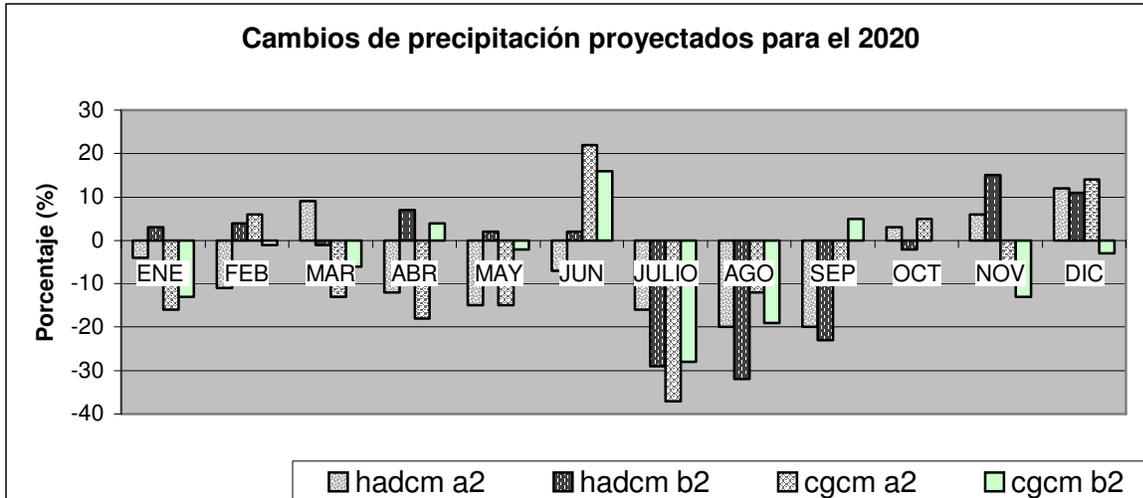


Gráfico 8.4.1 Cambios proyectados de distintos modelos y escenarios centrados en el año 2020 para las variables de precipitación (mm/mes), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C).

En general los aumentos de temperaturas planteados por los distintos escenarios no comprometen el desarrollo del cacahuate, más aún podrían contribuir a alcanzar temperaturas óptimas para las etapas de germinación y prefloración y considerando que *A. hypogaea* es una planta termófila un aumento en temperaturas mínimas facilitaría su desarrollo.

Sin embargo, los cambios del patrón de lluvias afectarían de manera negativa la producción de cacahuate. Así observamos un aumento de precipitación entre 5 y 23% para el mes de junio según HADCM B2, CGCM A2 y CGCM B2; durante el parte del periodo de prefloración justo cuando la planta es más resistente a la escasez de agua. Los campesinos reportan disminuciones en la productividad cuando ocurre un aumento de la cantidad de agua en esta etapa ya que se acelera el crecimiento del follaje pero la cantidad de frutos vanos es mayor.

La gráfica 8.4.1 muestra que los cambios más drásticos ocurrirían con un escenario A2; es decir con un mundo con alto crecimiento económico y un desarrollo a nivel regional. Sin embargo todos los modelos y escenarios consultados plantean una disminución de las lluvias de julio (15 a 35%), agosto (15 a 32%) y septiembre (5 a 23%) lo cual afectaría negativamente las etapas de floración y fructificación, los momentos de mayor vulnerabilidad del cacahuate al estrés hídrico. Por otra parte los lugareños reportan que el impacto de la disminución de las lluvias sobre la productividad se exagera debido a que las plagas se dispersan más fácilmente con el viento seco ya que aumentan su población y su área de distribución.

En general las tendencias de los cambios continuarán para el 2050 según los escenarios HADCM A2, HADCM B2, CGCM A2 y CGCM B2 y se muestran en la gráfica 8.4.2 y las tablas 8.4.5, 8.4.6, 8.4.7 y 8.4.8. La precipitación disminuirá para julio entre 18 y 32%, la de agosto entre 11 y 38% y septiembre entre 5 y 35%, lo cual resulta crítico para el desarrollo del cacahuate ya que las disminuciones planteadas ocurrirían cuando los requerimientos hídricos son mayores.

Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	3.5	3.1	-7
FEB	1.9	1.8	-2
MAR	2	2.2	11
ABR	1	2.1	5
MAY	2	2.1	-9
JUN	2.5	2.2	6
JULIO	3.2	1.1	-17
AGO	4.1	2.1	-38
SEP	4	1.9	-38
OCT	3	2.4	4
NOV	3.2	3.5	28
DIC	2.2	2.5	14

Tabla 8.4.5 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el HADCM3 A2 para el 2050.

Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	1.9	2.6	15
FEB	1.8	2.1	5
MAR	2	2.3	6
ABR	0.7	2	8
MAY	2.2	2.2	-11
JUN	1.7	1.8	0
JULIO	3.2	0.8	-20
AGO	4	1.7	-22
SEP	2.4	1.5	-25
OCT	1.8	1.8	0
NOV	1.3	1.5	27
DIC	2.4	2.4	5

Tabla 8.4.6 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el HADCM3 B2 para el 2050.

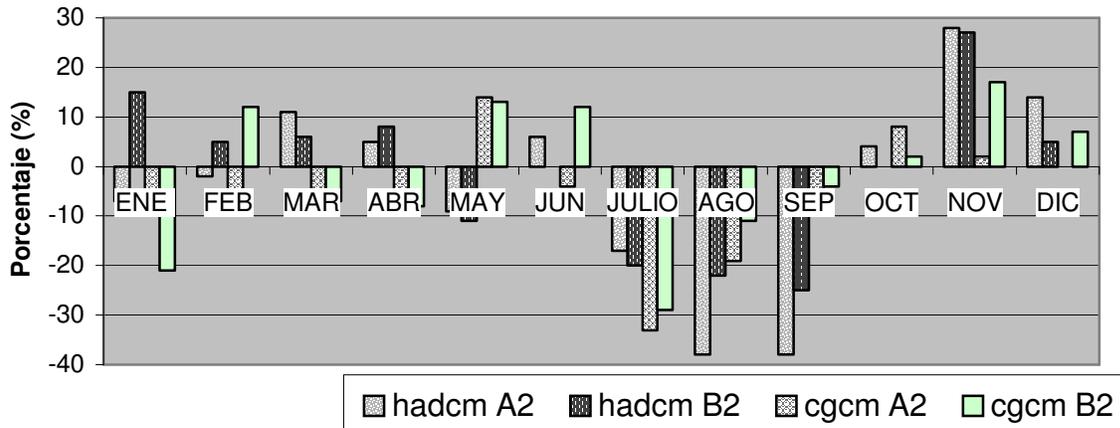
Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	1.4	1.1	-5
FEB	1.1	1	-5
MAR	0.9	1	-10
ABR	1.3	1.2	-9
MAY	1.7	2	14
JUN	1.4	1.5	-4
JULIO	1.2	1	-33
AGO	1.4	1.3	-19
SEP	1.4	1.2	-7
OCT	1.7	1.6	8
NOV	1.6	1.6	2
DIC	1.6	1.5	0

Tabla 8.4.7 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el CGCM2 A2 para el 2050.

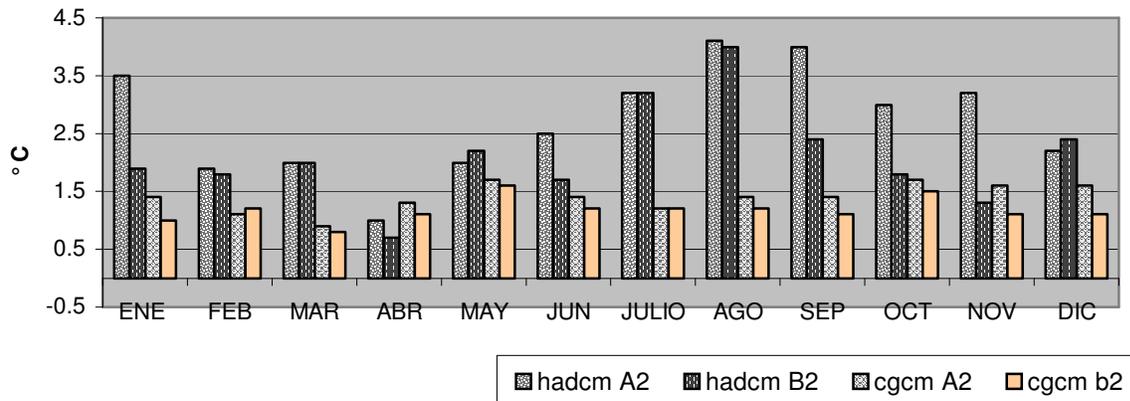
Meses	Cambios en temperatura máxima (°C)	Cambios en temperatura mínima (°C)	Cambio (%) en la precipitación
ENE	1	0.5	-21
FEB	1.2	1.3	12
MAR	0.8	1	-7
ABR	1.1	1	-8
MAY	1.6	1.8	13
JUN	1.2	1.2	12
JULIO	1.2	1	-29
AGO	1.2	1.1	-11
SEP	1.1	1.2	-4
OCT	1.5	1.3	2
NOV	1.1	1.1	17
DIC	1.1	1.1	7

Tabla 8.4.7 Cambios proyectados en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por el CGCM2 B2 para el 2050.

Cambios en precipitación proyectados para el 2050



Cambios de temperatura máxima proyectada para el 2050



Cambios proyectados de temperatura mínima para el 2050

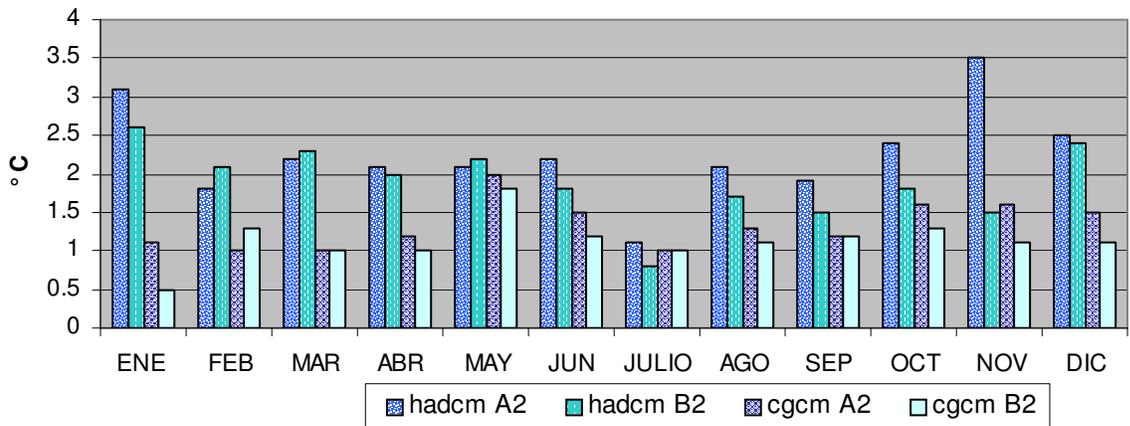


Gráfico 8.4.2 Cambios proyectados de distintos modelos y escenarios centrados en el año 2050 para las variables de precipitación (mm/mes), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C).

El calentamiento global está reflejado en las proyecciones de temperatura para el municipio de Huaquechula para el 2050, según todos los modelos con sus respectivos escenarios consultados (HADCM A2, HADCM B2, CGCM A2 y CGCM B2) proveen un aumento en las temperaturas máximas y mínimas. Así el incremento de temperatura máxima sería del orden de 1° a 4° C, las temperaturas más elevadas se registrarían en los meses de julio, agosto y septiembre según el modelo hadley (hadcm). Las temperaturas mínimas se elevarían entre 0.5° a 3.5° C y el incremento se notaría principalmente en los meses típicamente fríos (enero y diciembre). Las diferencias entre las proyecciones mostradas en temperatura dependen más de los modelos que de los escenarios.

Me parece importante resaltar que los modelos B2 (crecimiento económico moderado y más apegado al cuidado de las condiciones ambientales) no muestran mejores condiciones climáticas para la producción de cacahuete, lo que podría significar que el daño está hecho y que solo podemos mitigar los impactos derivados del cambio climático, ya que aún cuando se mejoren las condiciones ambientales es altamente probable una disminución importante de la lluvia en meses críticos para el desarrollo del cacahuete.

Por otra parte el IPCC WGII, 2001 prevé un aumento de la frecuencia de eventos cálidos del ENSO, lo que significaría una merma aún mayor de las lluvias para ciertos años y la magnificación de los efectos de la canícula.

8.5 Resultados de los experimentos de simulación

Experimento de sensibilidad en el modelo agrícola CROPWAT

Los escenarios base y de sensibilidad descritos en el apartado 8.2 fueron introducidos al modelo agrícola y se obtuvieron los resultados que se muestran en la gráfica.

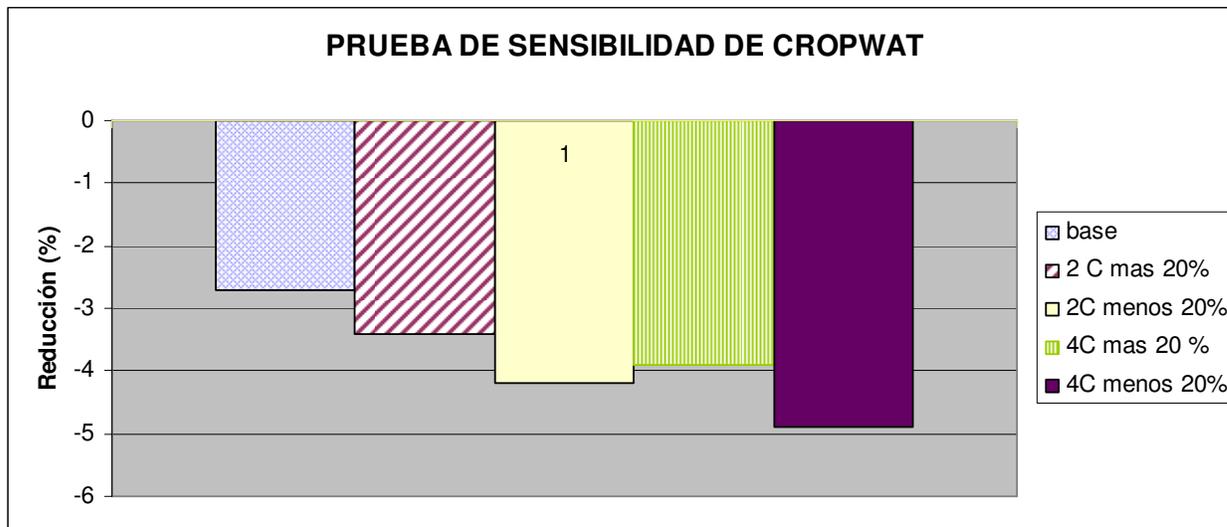


Gráfico 8.4.1. Experimento de CROPWAT para el cacahuete *Arachis hypogaea* ante distintas combinatorias climáticas.

Para el escenario base se obtuvo una reducción del rendimiento de 2.7%.

Para las distintas condiciones climáticas se obtuvieron diferencias en rendimiento:

1. 2° C mas y 20 % más en precipitación se obtuvo -3.4%
2. 2° C mas y 20 % menos en precipitación se obtuvo - 4.2 %
3. 4° C mas y 20 % más en precipitación se obtuvo - 3.9%
4. 4° C mas y 20 % menos en precipitación se obtuvo - 4.9%

Las disminuciones en rendimiento probablemente están subestimadas por que el modelo CROPWAT considera condiciones del clima locales promedio y mensuales, y no otros factores climáticos (como eventos extremos: granizadas, heladas, vientos fuertes, etc. que pueden presentarse a nivel diario). También resulta fundamental aclarar que los aumentos en temperatura propuestos no comprometen de manera importante el desarrollo del cacahuete ya que se trata de una planta termófila pero que en cambio la disminución en la precipitación condiciona de manera importante el rendimiento. Así se muestra que las principales reducciones ocurrirían en caso de una disminución en el 20% de la precipitación.

Por otra parte es interesante notar que el programa simula para todos los casos una reducción en rendimiento aún para el escenario base, lo que nos indica que de acuerdo con los criterios del programa CROPWAT el cacahuete no tiene los requerimientos suficientes (climatológicos, edafológicos y/o de manejo de cultivo, por ejemplo riego) en el lugar

como para alcanzar el rendimiento promedio esperado si las condiciones fuesen óptimas. Así los informantes reportan que en los años 50's y 60's eran capaces de producir hasta 3 ton/ha que comparados con los rendimientos obtenidos durante los 70's representan el doble del promedio obtenido durante los últimos años; es decir que considerando que el escenario base fue construido con la serie de años de 1969 a 1998 y que los productores reportan que de los 70's hacia la actualidad todas las cosechas han representado pérdidas, se puede decir que el modelo ha simulado correctamente la disminución de productividad de la región para esos años.

Comparación entre reducciones reales y reducciones simuladas en CROPWAT para la serie de años 1981 a 1998.

Se realizaron experimentos de CROPWAT para la serie de años que va de 1981 a 1998, la reducción simulada se comparó con la reducción reportada por el INEGI en los anuarios estadísticos. Resulta relevante percatarse acerca de qué tan acertadas resultan las simulaciones de este modelo agrícola y por eso se cotejan los resultados reportados y aquellos simulados. La gráfica 8.4.2 nos muestra ambos resultados. Se muestra que las reducciones simuladas subestiman la reducción real, aunque en cualquier caso se reportan pérdidas. Estas diferencias se deben a que el modelo no contempla las condiciones del clima locales (granizo y “agua bajeña”), plagas locales y su exacerbación debida a la sequía, manejos del cultivo, condiciones socioeconómicas de los productores (precios de producción y/o insumos, por ejemplo), envejecimiento, etc.

Por otra parte, las entrevistas realizadas nos dan una idea de la percepción de los campesinos de los impactos acaecidos en los últimos años. La gran mayoría de los informantes mencionan que el año 1980 a 1981 no hubo temporal y que todo se secó, lo mismo ocurrió para los años 1981 y 1982; todos los lugareños entrevistados coinciden en señalar que el año 1982 fue el peor de todos. Los campesinos más ancianos recuerdan los años 1954, 1957, 1968, 1972, 1976, 1978 como especialmente escasos de lluvias en que la cosecha se perdió parcial o totalmente. Parece ser que incluso en el año de 1978 se hizo una misa en la “piedra máscara” (una piedra de origen prehispánico) para pedir por las lluvias. También indican que de los

años 80's a la actualidad no ha habido años buenos como los que solía haber y consideran que justamente el año pasado (2005) fue uno de los peores años más recientes.

Otro evento de distinta índole se reporta para 1944 en el que ocurrió una granizada tan intensa que el hielo blanqueaba los montes. Además que anteriormente granizaba en menor frecuencia.

Los campesinos observan que a partir de los 70's a la actualidad hay una mayor incidencia de ventarrones.

Los productores también afirmaron que desde hace unos 4 a 6 años el temporal depende de los ciclones y huracanes.

Año	Evento	Impacto
1944	Granizo intenso	Pérdida parcial de las cosechas
1954	Escasez de lluvia	Pérdida parcial de las cosechas
1957	Escasez de lluvia	Pérdida total de las cosechas
1968	Escasez de lluvia	Pérdida parcial de las cosechas
1972	Escasez de lluvia	Pérdida parcial de las cosechas
1976	Escasez de lluvia	Pérdida parcial de las cosechas
1978	Escasez de lluvia	Pérdida parcial de las cosechas
1980	Escasez de lluvia	Pérdida parcial de las cosechas
1982	Sequía prolongada	Pérdida total de las cosechas

Tabla 8.5.1 Resumen de los eventos más intensos con impactos negativos para la producción reportados por los campesinos.

Las reducciones en rendimiento expresadas en la gráfica se corresponden con lo expresado por los campesinos, ya que todos los entrevistados mencionaron 1982 como el peor de los últimos años.

Como se había mencionado en el apartado 8.3 El Niño ejerce una influencia importante en la variabilidad climática de la región; esto se ve reflejado en los impactos a la producción, ya que los años en los cuales se reportan las mayores pérdidas son año Niño: 1982 y 1991. Coincide con lo expuesto en el gráfico 8.3.2 en el cual se observa que los años más riesgosos son los primeros años en los meses de julio y agosto. En los otros años Niño también ocurrieron pérdidas importantes; es relevante señalar que aunque en 1986 no se registraron pérdidas

propiamente lo que sucedió es que los campesinos no sembraron, pero definitivamente fue un año malo para siquiera sembrar.

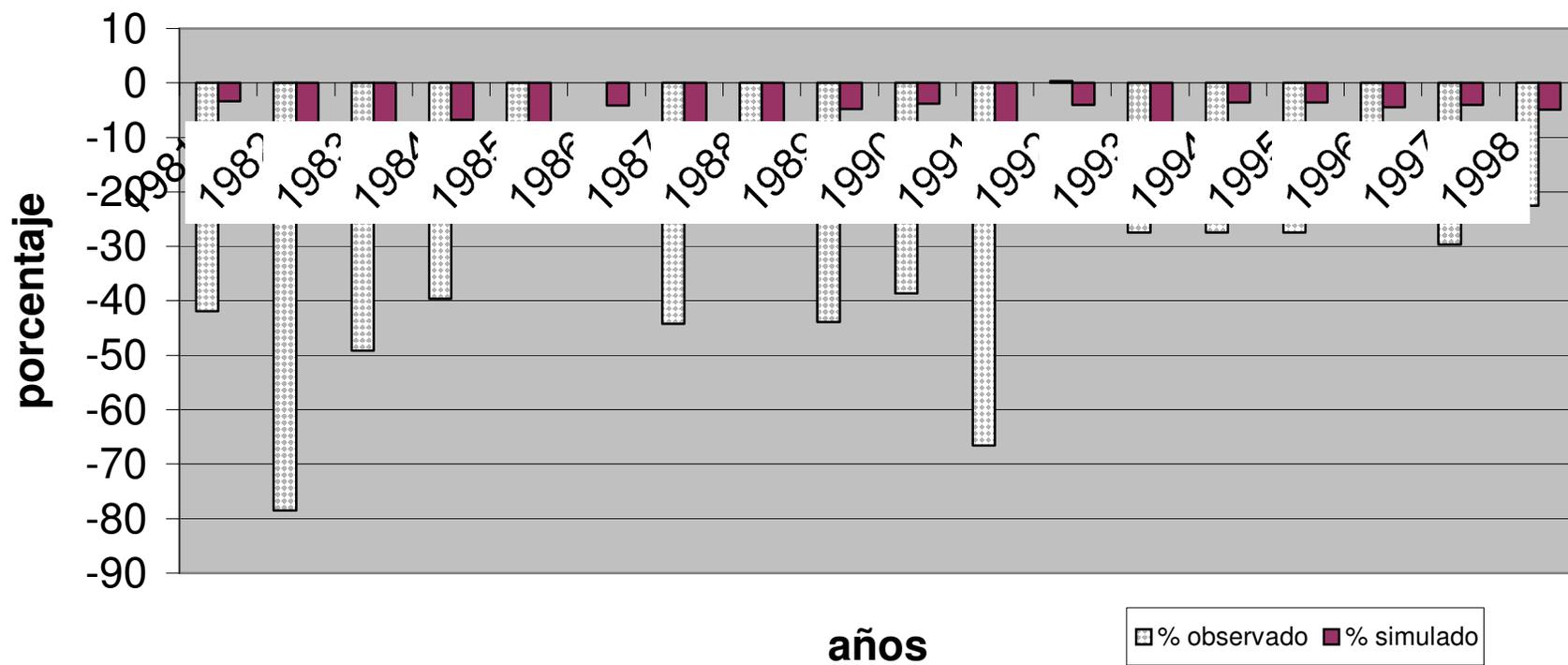
El año de 1972 también es recordado por los lugareños como un año escaso de temporal con disminuciones importantes en la cosecha y es un año Niño.

La evidencia anterior sirve para subrayar la importancia del Niño como un evento climático determinante en la producción de la región.

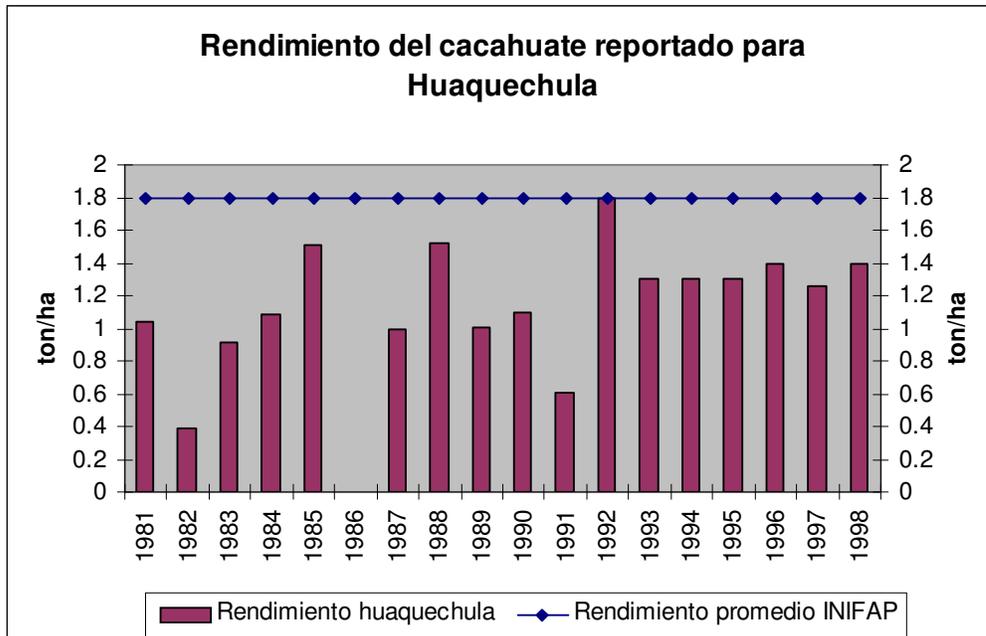
El rendimiento del cacahuate criollo 1.793 ton/ha indicado por Torres y Linares (1996) es el valor que se tomó como 100% y partir del cual se calcularon todas las pérdidas. Los autores argumentaban que las nuevas variedades Río Balsas y Huitzucó-93 tenían un mejor rendimiento (2.61 y 2.67 respectivamente) para las condiciones de la región. Sin embargo, los productores mencionan que en años buenos en los 50's y los 60's el rendimiento llegó a alcanzar 3 ton por hectárea, esta cifra supera los rendimientos de las dos variedades arriba mencionadas. Tanto las simulaciones como el rendimiento observado para el municipio muestran que hay pérdidas en la serie de años 1981 a 1998, esto concuerda con el hecho de que los campesinos reporten que sólo hay pérdidas de los años 80's a la actualidad (gráficas 8.4.2 y 8.4.3).

Los rendimientos de la serie de años 1981 a 1998 (gráfica 8.4.3) da una idea general de la variación de los rendimientos entre los años que puede ir desde media ton/ha hasta 1.8 ton/ha. Esto es un aspecto importante de la vulnerabilidad de las poblaciones en los últimos años ya que no cuentan con una producción más o menos estable.

Reducciones de rendimiento observadas y simuladas del cacahuate



Gráfica 8.4.2. Reducciones de rendimiento reportadas en el INEGI y reducciones de rendimiento simuladas en el CROPWAT en porcentaje para el lapso temporal de 1981 a 1998.

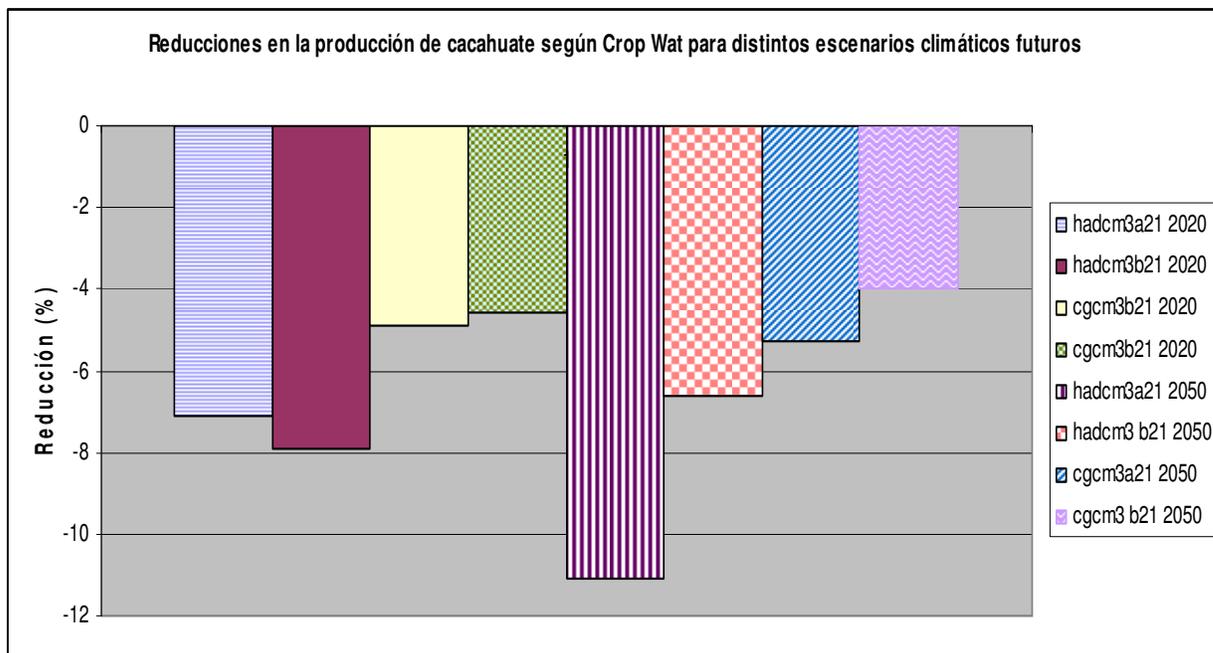


Gráfica 8.4.3 Rendimiento (ton/ha) del cacahuate reportado para el municipio de Huaquechula de la serie de años 1981 a 1998 con respecto al rendimiento promedio según Torres y Linares (1996)

Experimentos en CROPWAT para cambio climático

Se efectuaron simulaciones de CROPWAT con proyecciones de cambio climático generados a partir de la información del escenario base y de la información proporcionada por los escenarios de cambio climático del instituto canadiense para estudios climáticos (<http://www.cics.uvic.ca/scenarios/plots/select.cgi>).

Se realizaron proyecciones alternativas para el 2020 y 2050 de los modelos y escenarios: HADCM A2, HADCM B2, CGCM A2, CGCM B2. (Ver gráfica 8.4.3)



Gráfica 8.4.3. Reducción del rendimiento simulada (porcentaje) en CROPWAT proyectada para un cambio climático futuro para el cacahuete en el municipio de Huaquechula, Puebla.

Tomando en cuenta las diferencias entre las pérdidas reales y las simuladas, se puede decir que las reducciones en rendimiento también están subestimadas ya que las limitaciones del modelo no permiten introducir la influencia de las plagas o los fenómenos climáticos locales. Por esto es que los resultados deben ser considerados con cautela. Los modelos de circulación general (CGCM) son más optimistas que los hadley (HADCM) ya que estos últimos proyectan mayores pérdidas. El porcentaje de reducción más alto simulado sería de 11% y ocurriría en el contexto del escenario HADCM A2 para el 2050, en contraste la menor reducción en rendimiento ocurriría en el 2050 según CGCM B2.

Resulta importante hacer énfasis que según las simulaciones de CROPWAT y de acuerdo a los escenarios consultados el mejoramiento de las condiciones ambientales podría hacer que los impactos negativos en productividad disminuyeran, los escenarios B2 del 2050 muestran mejoras con respecto a los del 2020. En cambio si continua un alto crecimiento económico (A2), la reducción en rendimiento de cacahuete sería mayor.

Fuentes de información climática.

Las fuentes de información climática nos hablan de la percepción del clima de los campesinos y de la manera en que interactúan con la variabilidad climática; así ellos mencionan que las “señas de los antiguas” resultan útiles para predecir el tiempo, así como

el calendario de Galván. Sin embargo, ellos aluden a que desde los años 70's este sistema de referencias ya no funciona tan acertadamente como solía hacerlo y el calendario de Galván perdió su predicibilidad desde hace unos 10 años.

Entre este conjunto de señales se encuentran:

1. La posición de la luna nueva, si ésta es vista más horizontal entonces se dice que está normal; en tanto que si la luna tiene una posición más vertical entonces indica buen temporal.
2. Cuando se da mucho guamuchil (*Phytocellobium dulce*) significa que viene bueno el temporal; es decir tiene una floración y fructificación abundante en los meses de diciembre y enero.
3. Cuando el ave llamada pijón (*Corvus imparatus*) canta al interior del follaje de los árboles significa que habrá buen temporal y si canta encima indica que el tiempo va a estar seco.
4. Si las hormigas andan alborotadas (están muy dispersas y con mucho movimiento) quiere decir que va a llover en unas cuantas horas.
5. Si las golondrinas vuelan bajo casi arrastrándose significa que va a llover en 2 o 3 días
6. Los remolinos de viento en febrero y marzo anuncian el inicio del temporal.

Las señales que la mayoría de los campesinos consideran que todavía funcionan frecuentemente son: cuando se da mucho guamuchil (*Phytocellobium dulce*), las hormigas alborotadas y cuando las golondrinas vuelan bajo.

Percepción de los productores de los recursos edafológicos.

Los productores describieron el uso que se le da a un determinado tipo de suelo ; esto fue mencionado por los campesinos durante las entrevistas como un factor muy importante en la producción. Ellos expusieron que,

Los suelos al noreste del municipio son arenales y de acuerdo a una leyenda local dice que se formó porque cayó una culebra de agua. Éstos facilitan la siembra y cosecha de cacahuate pero tienen menos nutrientes.

Al sur se encuentran los barros que es la tierra más difícil de trabajar, ya que la siembra y cosecha de cacahuate resulta más ardua, pero la mejor en cuanto a nutrientes.

Al noroeste se encuentran las tierras blancas que son las más pobres y delgadas; rodeando a estas tierras tenemos el *tlanezque* que es la tierra que tiene tepetate y sólo de 20 a 30 cm de tierra.

Las plagas

Las plagas mencionadas repetidamente por los productores son: la gallina ciega (*Phyllophaga spp.*) que es descrito como un gusano gordo y blanco se come la raíz principal, aumenta la población en condiciones de sequía y ocurre frecuentemente en agosto y septiembre afectando por tanto la floración. Esta plaga ataca por un tiempo pero que luego desaparece y aumenta su dispersión durante la sequía por lo que los impactos en la producción se exacerban. Son larvas de escarabajos relativamente grandes. Las larvas llegan a medir hasta 5 cm de largo, son de color blanco, y tienen un cuerpo encorvado y robusto y con patas torácicas.

Los hongos por otra parte afectan el momento de fructificación ya que pudren los “zapatitos”, no se pudo identificar exactamente de qué tipo de hongo se trata.

También se describe el chocolatillo como una enfermedad que mancha las hojas, este síntoma de manchas foliares se asocia a un hongo del género *Cercospora*.

8.6 Las adaptaciones

Según Conde (2003) la adaptación se refiere al ejercicio de la capacidad adaptativa, es el proceso mediante el que se puede enfrentar, manejar y sobreponerse a los riesgos u oportunidades climáticos. (Para mayor información ver apartado 1.5).

Las acciones potenciales de adaptación que propone el Consejo Consultivo de Cambio Climático (2006) se cuentan:

- Recolección de agua de lluvia con métodos tradicionales (pequeños embalses, jagüeyes, sistemas de canales, terrazas y semi-terrazas, etcétera)
- Riego por goteo y sistemas tecnificadas similares
- Cultivos con especies con raíces profundas, perennes, que requieren poca agua, tolerantes a la sal, etcétera
- Rotación de cultivos y métodos relacionados
- Desarrollo y cultivo de variedades mejor adaptadas a las condiciones cambiantes del clima del suelo

- Almacenamiento de granos y alimentos para compensar cosechas magras
- Cultivo de conservación (sin uso del arado)
- Diversificación de especies y variedades de cultivos y ganado
- En los sistemas ganaderos, ajustes en los coeficientes de agostadero, cambios de ubicación de abrevaderos, cambios de regímenes de pastoreo y manejo de hatos, utilización de especies y/o razas alternativas de ganado, etcétera.
- Manejo de escorrentía. Tecnología en uso desde tiempos antiguos en África y el Medio Oriente, e utilizada en el Desierto de Negev para producir cosechas en áreas con precipitaciones anuales de sólo 100 mm. Aplicada recientemente en Israel, Libia, Túnez y otros países, para mejorar los rendimientos unitarios de cultivos básicos, forrajeros y árboles frutales. Permite co-beneficios como la reducción de la erosión hídrica.
- Prácticas agrícolas ancestrales con genotipos y cultivos tradicionales en zonas de montaña (ayuda a mantener la agricultura tradicional de ladera, conservar hábitats y biodiversidad natural, y a conservar el capital genético de los cultivos para la adaptación y mejoramiento de variedades tanto tradicionales como comerciales)
- Cambios en prácticas agrícolas (fechas de siembra, técnicas de arado, riego, fertilización, secuencia de cultivación, intensidad de producción, etcétera) para ajustar a las nuevas condiciones de las temporadas de producción.
- Cambios en la distribución de tierras cultivadas y de pastoreo
- Remoción de incentivos que distorsionan el mercado de insumos y productos, o que frenan los cambios estructurales requeridos
- Estrategias eficaces de riesgo compartido (políticas públicas de seguros en caso de siniestros, respaldadas por aseguradoras y re-aseguradoras privadas y públicas, nacionales e internacionales) y servicios ambientales
- Establecimiento y mantenimiento de una cubierta arbórea mínima en tierras agropecuarias (p. ej., 10% de la superficie), para conservar servicios ambientales (sombra para ganado y trabajadores, infiltración del agua, biodiversidad, etc.)

Las adaptaciones históricas existentes en la región de estudio provienen en su mayoría del conocimiento tradicional campesino, se alude a aquellas detectadas a través de las entrevistas realizadas:

- Hay un cambio en las fechas de siembra para aprovechar de mejor manera el temporal
- El uso de la variedad “güero” para su comercialización ya que rinde más.

- La redistribución de la riqueza en este caso mediante las festividades de días de muertos ya que los familiares de todos los muertos fallecidos durante el año ofrecen comida y bebida en estas fechas.
- Las técnicas tradicionales para predecir el tiempo.
- El uso de fertilizantes orgánicos como: basura orgánica, heces del ganado y “abono de talatas” (desecho de las hormigas)
- Alteramiento de la proporción de maíz – frijol sembrado.
- El cultivo de cacahuete es por sí mismo una adaptación ya que es más resistente a la sequía que el maíz.
- La tecnología que se usa entre algunos productores como los tractores o las trilladoras, pero es muy costosa y sólo una minoría tiene acceso a ellas.
- Las variedades de maíz de color tienen un ciclo más corto y son menos vulnerables a la sequía.
- Rotación de cultivos
- Prácticas agrícolas ancestrales con genotipos y cultivos tradicionales.

Estas prácticas pueden ser retomadas en condiciones de cambio climático, para disminuir los impactos y aumentar la capacidad adaptativa de los productores de cacahuete en Huaquechula.

También el uso de pronósticos climáticos en el caso de eventos de El Niño fuerte si se tiene con anticipación podría contribuir a decidir fechas de siembra, variedades, inversiones, etc.

Conclusiones

Condición actual de la producción de cacahuete en México.

En la actualidad el cacahuete es el cuarto cultivo más importante dentro de la producción de oleaginosas (Ortega y Ochoa, 2003). Entre los principales productores se encuentra China con 40%, India con 24% y Estados Unidos con 6%.

A nivel mundial la cantidad de cacahuete producido por Mexico no es relevante; sin embargo, debe reconocerse que por ejemplo en 1998, la Republica Mexicana obtuvo ingresos por más de 3,000 millones de dólares por concepto de exportaciones de cacahuete hacia E.U.A.

ASERCA (1995) pone énfasis en la potencialidad del cacahuete como producto de exportación pero para obtener más ingresos se requiere darle valor agregado que este en función de la calidad del cacahuete y del sometimiento de éste a procesos de obtención de derivados que se comercialicen en el mercado tales como la harina y el aceite de cacahuete.

En México 12% de la producción se destina a la elaboración de aceite, crema de cacahuete y otros productos industrializados como: tintas, lápices labiales, colores y jabón. Pese a los requerimientos de la producción de cacahuete de las industrias nacionales, en la actualidad éstos no son cubiertos por la producción de México ya que en los últimos años se introdujo cacahuete chino, argentino y estadounidense que aunque no compiten en calidad el precio es más bajo, esta situación ha traído como consecuencia que los industriales castiguen el precio pagado a los productores nacionales.

La situación del municipio de Huaquechula como región de productora de cacahuete es un ejemplo típico de lo que sucede a nivel nacional, así pues este análisis es un primer paso hacia una visión integral de las soluciones posibles a los problemas del campo mexicano.

Conclusiones

En general podemos decir que la producción agrícola está en función de factores naturales y socioeconómicos. Dentro de los factores naturales se encuentran el clima, el suelo, las propiedades intrínsecas de la planta y entre los factores socioeconómicos

están: el manejo del cultivo, la condición económica del productor, la demanda del producto, la competencia de precios.

El análisis de una parte de estos factores se refleja en el cumplimiento de los objetivos planteados:

El clima regional es un tipo semicálido con lluvias en verano, sin embargo esto no es suficiente para la simulación en CROPWAT, ya que se requiere datos más específicos; el escenario base cumplió con esta función ya que se obtuvieron datos mensuales promedio para cada una de las variables climáticas necesarias y observar fenómenos como la canícula.

Para complementar la información que proporciona el escenario base, los resultados de las entrevistas muestran la percepción de los campesinos referentes al clima de la región y de los cambios que este ha tenido en los últimos años. Entre los cambios detectados se encuentran: disminución de la precipitación, alteración del patrón de lluvias, aumento de temperatura en general, cambio de fecha de heladas y aumento de eventos de granizo; estas alteraciones ocurrieron según los productores a partir de los años setentas. Los efectos de las condiciones climáticas promedio sobre la producción de cacahuate fueron estimadas a través de los resultados de las simulaciones de CROPWAT que indican que las condiciones climáticas y edafológicas de la región no son las óptimas ya que se observa una reducción en el rendimiento de 2.7%. Sin embargo es necesario contemplar estos resultados en perspectiva: los años en los que se fundamenta estos resultados (1969 a 1998) son aquellos en los que los campesinos reportan que ocurrieron los cambios (disminución en precipitación y la alteración del patrón de lluvias) aunado al uso prolongado de agroquímicos provocó una disminución general del rendimiento del cacahuate.

Para evaluar los impactos del fenómeno El Niño fue necesario determinar si, efectivamente, existe una influencia del ENSO fase cálida sobre la precipitación de la región (principal limitante del desarrollo del cacahuate); así se estableció una relación entre el índice MEI y la anomalía estandarizada de precipitación que muestra que cuando ocurre un Niño las lluvias disminuyen. La mayor disminución en rendimiento durante años Niño se muestra en los resultados de las simulaciones, en los cálculos basados en observaciones reales y en las apreciaciones de los campesinos, así por ejemplo el año 1982 fue un año Niño cuyos efectos se reflejan como la peor pérdida de toda la serie analizada. Por otra parte la comparación entre las disminuciones en rendimiento observadas y simuladas hace pensar que las segundas están subestimadas.

A partir de estos resultados podemos concluir que el desarrollo del cacahuate está más condicionado por la precipitación (cantidad y distribución) que por el aumento de temperatura, también resulta relevante considerar que una disminución de lluvias provoca un aumento poblacional de la plaga conocida como gallina ciega.

Los impactos proyectados por los modelos y escenarios consultados para los años centrados en el 2020 y 2050 nos reportan pérdidas en caso de cambio climático, mismos que deben tomarse con cautela ya que el modelo usado subestima las pérdidas.

Los impactos del cambio climático son tangibles en la reducción del rendimiento y evidencian la vulnerabilidad de la población sobre todo a eventos extremos tales como El Niño que, al aumentar en frecuencia amenacen la existencia de la agricultura de subsistencia.

Entre las adaptaciones de los campesinos destacan: cambio de fechas de siembra, técnicas tradicionales para predecir el tiempo y el cultivo de cacahuate ya que es una planta resistente a estrés hídrico.

Limitaciones del trabajo

Las limitaciones del trabajo están asociadas principalmente a la falta de simulaciones más exactas, por lo que se requiere el mejoramiento de los modelos agrícolas de modo que se puedan simular otros factores tales como plagas y condiciones meteorológicas especiales como la lluvia “agua bajaña” .

Recomendaciones

La situación económica de la región es difícil, los campesinos no obtienen suficientes ingresos de la venta del cacahuate, los agricultores activos sobrepasan los 40 años y la población joven se encuentra trabajando en Estados Unidos; es decir, la economía regional depende de las remesas.

La experiencia de los productores y sus aseveraciones indican que la región es capaz de obtener rendimientos de hasta 3 toneladas por hectárea en condiciones de temporal y con técnicas tradicionales de cultivo, este es también el rendimiento obtenido en el INIFAP Chihuahua con condiciones de riego, planeación y tecnificación.

Resulta factible pensar que para mejorar los rendimientos del cacahuate se requiere de la creación de sistemas de riego, la recuperación de los suelos y el mejoramiento del

precio del producto. El programa CROPWAT potencialmente también sirve para generar estas estrategias de planeación.

Los aumentos en temperatura proyectados por los modelos y escenarios de cambio climático, podrían ser aprovechados para mejorar las aptitudes del cultivo, pero se requiere de la implementación de sistemas de riego.

Pero dado que la producción de riego en el país y en esta región es muy limitada y su distribución provoca conflictos derivados de la competencia por el agua en el municipio, se puede optar por un mejoramiento de la calidad y sabor del producto que implica el cambio de la variedad “guero” por la “criolla”.

La creación de industrias locales que permitan darle un valor agregado al producto y hacerlo rentable representa una oportunidad para mejorar la producción de cacahuate destinada a la comercialización en grandes escalas.

Las soluciones propuestas deberán tener enfoque interdisciplinario para que las soluciones generadas sean integrales; así la agricultura tradicional podría contribuir a aumentar los rendimientos y alentar al aprovechamiento de recursos generados pero no comerciales tales como el uso de plantas arvenses como medicina o parte de la alimentación. De este modo conjuntando técnicas tradicionales menos agresivas al ambiente aunadas a ventajas tecnológicas permitirían generar un sistema productivo eficiente y sustentable.

Referencias

- Abler D.G. y J.S. Shortle. 2000. **Climate Change and Agriculture in the Mid-Atlantic Region**. En: Climate Research. Vol. 14: 185-194.
- Acevedo Sandoval A. 1992. **Efecto del macroelemento Calcio en la producción y calidad del cacahuete. (*Arachis hypogaea*) en Tarimorio, Guanajuato**. Tesis de Maestría en Edafología. UNAM. México. Pp:7-21.
- Adams R.M., B. Hurd, S. Lenhart, N. Leary. 1998. **Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review**. En: Climate Research. Vol. 11. Pp:19-30.
- Alcalá J., E. Buendía, O. García, A. Meulenert, U. Ramirez y M. García. 2005. **Sequía de medio verano (canícula) durante la presencia de ENSO en Jalisco**. En el marco del congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y XIV Congreso Mexicano de Meteorología. Cancún. 6 pp.
- ASERCA (Apoyos y servicios a la comercialización agropecuaria). 1995. **El cacahuete una oleaginosa con potencial de exportación**. Claridades Agropecuarias. Número: 28. Pp: 14-23.
- Becker H. 1998. **Unique Peanuts Bring Nations Together**. En Agricultural Research.
- Binford L. 2003. **“Migración acelerada” entre Puebla y los Estados Unidos**. En: Etnografía del Estado de Puebla. Masferrer K. E., B. Díaz, J. Mondragón. Secretaría de Cultura del Estado de Puebla. Puebla. Pp: 58-66
- Brady N. C. y W. E. Collwell, 1945. **Yield and quality of large seeded peanuts affected by certain combination of potassium, magnesium and calcium**. Journal American Society of Agronomy. 37: 429 a 442.
- Burck, B. and J. C. Delouche. 1959. **Water absorption by seeds**. Proc. AOSA. 49:142
- Conde C. 2003. **Cambio y variabilidad climáticos: dos estudios de caso en México**. Tesis de doctorado. Doctorado en Ciencias de la Tierra. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM.

Conde C., R. M. Ferrer y D. Liverman. 2000. **Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal en mediante el modelos CERES – Maize**. Capítulo VI en: México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UNAM, USCSP. 119 –141.

Conde C., R. M. Ferrer, R. Araujo, C. Gay, V. Magaña, J. L. Pérez, T. Morales, S. Orozco. 1999. El Niño y el clima. En: Magaña, V. (editor). **Los Impactos de El Niño en México**. México. UNAM, IAI; SG. Pp: 103-135. (<http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>).

Conde, C., Liverman, D., Flores, M., Ferrer, R., Araujo, R., Betancourt, E., Villarreal, G., Gay, C. 1997. **Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change**. *Climate Research*. **9(1)**:17-23.

Conde, C., R. Ferrer, S. Orozco. 2006. **Climate change and climate Variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study**. *Atmósfera* 19(3): 181-194.

Consejo Consultivo de Cambio Climático. 2006. **Resultados de la Consulta Pública para una Estrategia Nacional de Acción Climática**. México. D.F.

CRRH (Ramirez P. y A. Brenes), 2001. **Informe sobre las condiciones de sequía observadas en el Istmo Centroamericano en el 2001**. San José, Costa Rica.

Cubero J. I. y Moreno M.T. 1983. **Leguminosas de grano**. Ed. Mundi-Prensa. Pp: 15-25.

Darold L. 1982. **Growth physiology**. En Pattee Harold E (editor). *Peanut Science and Technology*. American Peanut Research and Education Society, Inc. Texas. USA.

Ferrer Perdomo R. M. 1999. **Impacto del cambio climático en la agricultura tradicional en el municipio de Apizaco, Tlaxcala**. Tesis de licenciatura. Biología. Facultad de Ciencias. UNAM.

García de M., E. 1981. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen**. Tercera edición, Enriqueta García, México D.F.

García L.A., W Fernández, T. Rivas. 2003. **Aspectos generales de la canícula y sus impactos en el salvador**. En: Top. Meteorológica Oceanográfica. 10 (2): 63-68.

Geographers. Número 80, vol. I. Pp: 49-72.

Gillier P. y P. Silvestre. 1970. **El cacahuete o maní**. Editorial Blume. Barcelona.

INEGI. 1987. Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Puebla. INEGI. México, D. F. Programación y presupuesto del INEGI. 1984. Carta Edafológica 1:250 000. Cuernavaca E14-5. INEGI. México D.F.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, WGI (Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group I). 2001. **Climate Change 2001: The scientific Basis**. A Report of Working Group I of Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC, WGII (Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II). 2001. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. J.J. MacCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, F. J. Dokken, K.S. White (eds). Cambridge University Press. 1032 pp.

Jáuregui E. y A. Tejeda. 2000. **Un escenario de las condiciones bioclimáticas en la Ciudad de México para una duplicación de la concentración de CO₂**. En: México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UNAM, USCSP. 145-159.

Joaquín I. y O. Ayala. 1996. **Río balsas y Huitzucó-93 nuevas variedades de cacahuete para Puebla, Morelos y Guerrero**. INIFAP, SAGAR. Folleto de productores número 6. Iguala.

Krapovickas, A. 1969. **Origin, variability and distribution of groundnut (*A. hypogaea*)**. En: The domestication and exploitation of plants and animals. Ucko, P.J. and G. Dimbleby Eds. London, V.K: Duckworth. Pp: 427 – 441.

Krapovickas, A. & W. C. Gregory. 1994. **Taxonomía del género *Arachis* (Leguminosae)**. Bonplandia. 8:151. Corrientes.

- Liverman, D. 1990. **Drought Impacts in Mexico: Climate, Agriculture, Technology, and Land Tenure in Sonora and Puebla.** Annals of the Association of American.
- Lourdes Villers-Ruiz e Irma Trejo-Vázquez. 2000. **El Cambio Climático y la Vegetación en México.** En: *México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México.* Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UNAM, USCSP. 119 –141.
- Maderey L. E. , A. Jiménez . 2000. **Los recursos hidrológicos del centro de México ante un Cambio Climático Global.** En: *México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México.* Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UNAM, USCSP. 145-159.
- Magaña V. y A. Quintanar, 1997. **Numerical simulations in the enviromental and earth science.** Cambridge.
- Magaña V. y T. Morales. 1998. **Variabilidad Climática y Agricultura en México.** En: *Claridades Agropecuarias.* Número 57. Pp: 32 –39
- Magaña V., J. Amador, S. Medina. 1999 a. **The Midsummer Drought over México and Central America.** En: American Meteorological Society. Pp: 1577 –1587.
- Magaña V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrisoza, J. Pérez. 1999 b. **El Niño y el clima.** En: Magaña, V. (editor). *Los Impactos de El Niño en México.* México. UNAM, IAI; SG. Pp: 23-68. (<http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>).
- Malpica S. 2003. **Cosmovisión y ritualidad en Tochimilco.** En: *Etnografía del Estado de Puebla.* Masferrer K. E., B. Díaz, J. Mondragón. Secretaría de Cultura del Estado de Puebla. Puebla. Pp: 196-203
- Malpica S. y M. Castellanos. 2003. **Arqueología prehispánica de Tochimilco.** En: *Etnografía del Estado de Puebla.* Masferrer K. E., B. Díaz, J. Mondragón. Secretaría de Cultura del Estado de Puebla. Puebla. Pp: 168-177
- Marroni, M. 2000. **Las campesinas y el trabajo rural en México de fin de siglo.** Puebla. BUAP. Pp: 102-103

- Marroni, M. G. 2003. **Indígenas del Valle de Atlixco en Nueva York: una migración internacional reciente**. En: Etnografía del Estado de Puebla. Masferrer K. E., B. Díaz, J. Mondragón. Secretaría de Cultura del Estado de Puebla. Puebla. Pp: 204-213
- Martínez Hernández A. 1996. **Prueba de adaptación y rendimiento de 100 variedades de cacahuate bajo condiciones de temporal en Salvatierra, Guanajuato**. Tesis licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Mazani, B. 1963. **Plantas oleaginosas**. Salvat Editores. Barcelona.
- Medina M.P. 1995. **Metodología para obtener índices agroclimáticos**. Tesis de licenciatura en geografía. Filosofía y letras. UNAM.
- Nakicenovic, et al. 2000. **Special Report on Emissions Scenarios**. Cambridge University Press, Cambridge. UK
- Naturland, 2000. **Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico, guías para 18 cultivos: El maní (cacahuete)**. Alemania.
- Ortega C. y R. Ochoa. 2003. **El cacahuate y su potencial productivo en México**. Claridades Agropecuarias. Num. 116. Pp: 3-15.
- Rosales G.T. 2005. **Un caso para la planeación agrícola para las comunidades de la sierra de “El Carmen” en el suroeste del Estado de México**. Tesis de licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Paredes Martínez C. S. 1991. **La región de Atlixco, Huaquechula y Tochimilco**. CIESAS, FCE, Estado de Puebla. México, D.F.
- Reddy T.Y. V.R. Reddy y V. Anbumozhi. 2003. **Physiological responses of groundnut (Arachis hypogaea) to drought stress and its amelioration: a critical review**. En: Plant Growth Regulation. 41: 75-88.
- Rodríguez Apreza A. V. 2003. **Los pueblos de Atlixco, Huaquechula y Tochimilco**. En: Etnografía del Estado de Puebla. Masferrer K. E., B. Díaz, J. Mondragón. Secretaría de Cultura del Estado de Puebla. Puebla. Pp: 188-191
- Rosenzweig C., A. Iglesias, X. B. Yang, P. Epstein, E. Chivian. 2000. **Climate Change and U.S. Agriculture: The impact of Warming and Extreme Events on Productivity,**

Plant Diseases and Pests. Publicado por: Center for Health and the Global Environment. Boston.

Sánchez Domínguez S. 1992. **Taxonomía, origen y dispersión del cacahuete.** UACH. Dirección de Difusión Cultural Departamento de Publicaciones. Texcoco, México.

Sivakumar M.V.K. y P. S. Sarma.1985. **Studies on Water Relations of Groundnut.** En Agrometeorology of Groundnut. Proceedings of an International Symposium. World Meteorological Organization (WMO). Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). International Crops Research Institute for Semiarid Tropics (ICRISAT). India.

Spedding C.R.W. 1988. **An introduction to Agricultural Systems.** Elsevier Applied Science. London and New York. Pp: 129 – 130.

Tol, R. S.J. 1998. **Socio- Economic Scenarios.** Chapter 2 in: Handbook on methods or Climate Change Impacts Assessment and Adaptation Strategies. Feenstra, J., I. Burton, J. B. Smith, and R.S.J. Tol (eds). United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, and Institute for Environmental Studies, Amsterdam, The Netherlands, 448 pp.

Wayne H. 2002. **Implications of Atmospheric and Climate Change for Crop Yield and Water Use Efficiency.** En: Crop Science. 42: 131-140