



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**“IMPACTO DE LAS LLUVIAS EXTREMAS EN  
LA PRODUCCION DE MAIZ.  
CASO DE ESTUDIO: ESTADO DE MORELOS”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**LICENCIADA EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

**NORMA ANGÉLICA SÁNCHEZ LICONA**

DIRECTORA DE TESIS

**MTRA. MARÍA DE LA PAZ MEDINA BARRIOS**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**AGRADECIMIENTOS**

**A MI ASESORA MTRA. MARÍA DE LA PAZ MEDINA BARRIOS;  
POR SUS ENSEÑANZAS, CONSEJOS Y PACIENCIA PARA  
LA ELABORACION DE ESTE TRABAJO, A MIS SINODALES;  
DRA. LETICIA GÓMEZ, MTRO. JOSE MANUEL ESPINOZA,  
MTRO. GERMAN RAÚL VERA Y LIC. GABRIEL SÁNCHEZ;  
POR SUS ACERTADAS CORRECCIONES PARA ENRIQUECER  
Y MEJORAR ESTA TESIS.**

**DEDICATORIAS:**

***A MIS PADRES; ROSA MARÍA LICONA PEREA Y FELIX SÁNCHEZ ORTIZ  
POR HABERME ACOMPAÑADO Y APOYADO, POR CUIDARME Y  
GUIARME CON SABIDURIA Y CARÍÑO NO SOLO EN ESTE  
MOMENTO SINO A LO LARGO DE TODA MI VIDA.***

***A MIS HERMANOS ERIKA, ELIA Y LALO  
POR SER COMPLICES DE JUEGOS Y TRAVESURAS  
POR TODO LO QUE HEMOS VIVIDO Y COMPARTIDO LOS QUIERO MUCHO.***

***A MI NOVIO PABLO PEREZ OLVERA  
POR SU AMOR, COMPRENSIÓN Y PACIENCIA, POR SER  
PARTE DE MI VIDA E IMPULSARME PARA ALCANZAR MIS SUEÑOS Y METAS.***

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Capítulo 1.- EVENTOS EXTREMOS Y AGRICULTURA</b>	
1.1.- Importancia de la información climática.....	5
1.2.- Variabilidad climática.....	8
1.3.-Eventos hidrometeorológicos extremos.....	11
a) Lluvias extremas .....	13
1.4.- Importancia del clima para la agricultura.....	16
1.5.- La agricultura de temporal en México y su vulnerabilidad climática .....	19
<b>Capítulo 2.- MATERIALES Y METODOS</b>	
2.1.- Datos y materiales.....	21
2.2.- Metodología.....	24
<b>Capítulo 3.- EVALUACIÓN GEOGRÁFICA Y DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DEL ESTADO DE MORELOS</b>	
3.1.- Aspectos físicos de la región.....	28
3.2.- Características generales del clima.....	32
3.3.- Uso de suelo.....	38
3.4.- Actividad Agrícola del estado .....	40
a) Producción de maíz.....	45
3.5.- Necesidades climáticas del maíz - ciclo fenológico.....	48
3.6.- Riesgos climáticos para el maíz .....	51
<b>Capítulo 4.- EFECTOS DE LAS LLUVIAS EXTREMAS EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DEL ESTADO DE MORELOS</b>	
4.1.- Eventos históricos de lluvias extremas.....	56
4.2.- Impacto sobre la producción del maíz.....	67
4.3.- Discusión de los resultados.....	82
<b>CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS</b> .....	84
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	87
<b>ANEXOS</b> .....	91

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Parámetros que se miden en las estaciones meteorológicas.....	6
Tabla 2.- Recursos aportados por el Fonden para la atención de desastres naturales durante el 2000.....	14
Tabla 3.- Clasificación de las lluvias según su intensidad.....	15
Tabla 4.- Registros de lluvias extremas en el estado de Morelos durante 1969.....	27
Tabla 5.- Principales actividades que son causa de la degradación de los suelos en México.....	39
Tabla 6.- Necesidades climáticas del maíz. ....	48
Tabla 7.- Umbrales de precipitación extrema obtenidos mediante la FDP Gamma.....	56
Tabla 8.- Eventos de lluvias extremas más representativos dado el número de estaciones que los registraron. ....	65
Tabla 9.- Ejemplos de efectos de los eventos extremos en el estado de Morelos.....	66
Tabla 10.- Superficie siniestrada y rendimiento durante años con registros de lluvias extremas superiores a 60 mm durante el mes de octubre. ....	75
Tabla 11.- Probabilidad de ocurrencia de lluvias superiores a 60 mm según la FDP Gamma...	76
Tabla 12.- Superficie siniestrada de maíz en relación a la presencia de años el Niño en el estado de Morelos (Años Niño en color claro, años Niña en color oscuro).....	81

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Variabilidad estacional de precipitación y temperatura.....	8
Figura 2.- Variabilidad anual de precipitación y temperatura.....	8
Figura 3.- Precipitación durante años Niño.....	10
Figura 4.- Precipitación durante años Niña.....	10
Figura 5.- Porcentaje del total de registros de fenómenos meteorológicos ocurridos en México de 1960 al 2001 .....	13
Figura 6.- Distribución de la precipitación en México.....	17
Figura 7.- Principales usos del agua, datos estimados para el 2003.....	19

Figura 8.- Superficie sembrada y valor de la producción agrícola nacional.....	20
Figura 9.- Período de información de las estaciones meteorológicas dentro del estado de Morelos.....	22
Figura 10.- Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas.....	23
Figura 11.- Ejemplo de Prueba de recorrido. Estación 17005, Cuautla.....	23
Figura 12.- Número de registros y cantidad total de lluvias extremas.....	27
Figura 13.- Ubicación del estado de Morelos. ....	28
Figura 14.- Mapa de altimetría del Estado de Morelos.....	29
Figura 15.- Mapa de los principales tipos de suelo del Estado.....	31
Figura 16.- Mapa de los principales ríos dentro del Estado.....	31
Figura 17.- Mapa de climas de Morelos.....	33
Figura 18.- Mapa de distribución de la precipitación del Estado.....	33
Figura 19.- Temperatura y precipitación media de Morelos.....	34
Figura 20.- Mapa de distribución de la temperatura en Morelos.....	35
Figura 21.- Anomalías de precipitación en el estado de Morelos.....	36
Figura 22.- Principales usos de suelo del estado de Morelos.....	38
Figura 23.- Superficie (ha) dedicada a la agricultura por ciclo agrícola.....	41
Figura 24.- Tipos de riego dentro del estado de Morelos.....	41
Figura 25.- Superficie sembrada y valor de la producción agrícola, 2005.....	42
Figura 26. Superficie (%) de los principales cultivos respecto al total de superficie agrícola....	43
Figura 27.- Contribución (%) de los principales cultivos al valor total de la producción.....	43
Figura 28.- Apoyos de procampo durante 1994-2008 en el estado de Morelos.....	44
Figura 29.- % de la superficie sembrada para los principales cultivos de México.....	45
Figura 30.- Producción de maíz dentro del estado de Morelos.....	46
Figura 31.- Producción de maíz para autoconsumo, estado de Morelos.....	47
Figura 32.- Preparación de la tierra de labor.....	47

Figura 33.- Fases fenológicas del maíz.....	50
Figura 34.- Necesidades hídricas del maíz en comparación con la precipitación .....	51
Figura 35.- Cultivo de maíz en el estado de Morelos.....	52
Figura 36.- Principales causas de siniestros en el maíz en México, periodo 2001-2005.....	54
Figura 37.- Encharcamiento del suelo durante la producción de maíz.....	54
Figura 38.- Total de lluvias extremas durante los meses de mayo a octubre en el período 1960-2005.....	57
Figura 39.- Coeficiente de correlación y determinación entre la precipitación de verano con los eventos de precipitaciones extremas.....	58
Figura 40.- Total de eventos de precipitación extrema y precipitación media del estado de Morelos.....	59
Figura 41.- Umbrales de precipitación extrema durante el mes de Junio.....	59
Figura 42.- Total de eventos de precipitaciones extremas registrados en el período 1965-2005.....	60
Figura 42.- Precipitación media mensual y total de eventos extremos registrados en el período 19602-2005.....	62
Figura 43.- Contribución de las lluvias extremas a la precipitación total de verano.....	63
Figura 44.- Eventos de lluvias extremas y precipitación acumulada por estos eventos.....	63
Figura 45.- Lluvias máximas en 24 h. para el período 1960-2005.....	64
Figura 46.- Superficie dedicada a la agricultura y principales municipios productores de maíz.....	67
Figura 47.- Promedio de hectáreas sembradas de maíz; período 2001-2005.....	68
Figura 48.- Superficie sembrada, siniestrada y rendimiento de maíz en Morelos.....	69
Figura 49.- Superficie siniestrada y registros de eventos extremos.....	69
Figura 50.- Rendimiento de maíz y total de registros de eventos extremos.....	71
Figura 51.- % de precipitación originada por lluvias extremas respecto al total de verano y superficie siniestrada de maíz.....	71
Figura 52.- Superficie siniestrada y registros de eventos de precipitaciones extremas según fase fenológica del maíz.....	73

Figura 53.- Superficie siniestrada y volumen de los principales eventos de precipitaciones extremas según fase fenológica.....	74
Figura 54.-. Relación entre la superficie siniestrada de maíz con la precipitación total de verano.....	77
Figura 55.- Relación entre el rendimiento del maíz con la precipitación total de verano.....	77
Figura 56.- Precipitación durante 1985 y precipitación media (1960-2005).....	78
Figura 57.- Precipitación durante 1992 y precipitación media (1960-2005).....	79
Figura 58.- Precipitación durante 1995 y precipitación media (1960-2005).....	79

## **ANEXOS.**

Anexo 1.- Estaciones consultadas .....	92
Anexo 2.- Prueba de recorrido de las estaciones consultadas.....	93
Anexo 3.-Registros de lluvias extremas para el período 1960-2005.....	96
Anexo 4.-Posibles errores identificados en la base de datos Clicom.....	105

## INTRODUCCIÓN

Por las características geográficas de nuestro país, éste es afectado por un gran número de amenazas de carácter meteorológico como son las sequías, las precipitaciones extremas, las heladas, y las nevadas, entre otros. Estudios recientes muestran una variabilidad en la ocurrencia de estos eventos, por lo que es de suma importancia su estudio, ya que son muchos los sectores económicos a los que afecta; uno de ellos, y quizá el más vulnerable, es el sector agrícola, especialmente en los cultivos de temporal.

México es un país agrícola; muestra de esto es que más de veinte millones de hectáreas son dedicadas a esta actividad económica, en donde predomina la agricultura de temporal, siendo el maíz el cultivo de mayor representatividad espacial así como el de mayor importancia cultural. Según datos de la secretaría de agricultura ganadería y pesca (Sagarpa) para el año 2000, más de 70% de la superficie dedicada a la agricultura, era utilizada para cultivos de temporal, los cuales son afectados año a año por diversos factores de carácter meteorológico.

La producción agrícola está determinada tanto por los factores del medio físico (relieve, características edáficas, clima), así como por los tipos de tenencia de la tierra y de prácticas agrícolas; no obstante, el clima es un factor determinante, del cual, los elementos que llegan a causar mayores impactos sobre los cultivos son las variaciones climáticas y los eventos extremos.

Se han realizado varios estudios sobre la importancia que tiene el clima y los eventos extremos sobre la producción agrícola; entre algunos relacionados con la producción de maíz podemos mencionar a Conde. et al (2004) quienes identificaron al ciclo de primavera verano del cultivo del maíz, como el más vulnerable ante la disponibilidad de precipitación.

Para este estudio se eligió el cultivo del maíz puesto que, al igual que en la mayor parte de la República Mexicana, este es el cultivo de mayor representatividad espacial dentro del estado de Morelos, donde abarca más del 40% de la superficie estatal dedicada a la agricultura.

Se eligió como caso de estudio el estado de Morelos por las siguientes razones;

1. Este trabajo se realizó bajo el contexto del proyecto “Análisis estadístico de Eventos Hidrometeorológicos extremos en el sur-sureste de México” financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y el Instituto Politécnico Nacional, en colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México. El estado de Morelos forma parte de la región hidrológica del Balsas, una de las más importantes en el sureste de México.
2. Morelos es uno de los estados más ricos en recursos hídricos en proporción a su territorio; esto se debe a una manifestación secundaria de vulcanismo y a que la entidad está casi totalmente rodeada por relieves endógenos volcánicos acumulativos. En el caso hipotético de que el estado de Morelos fuera plano y la precipitación quedara distribuida en forma homogénea por toda la entidad, se formaría una lámina aproximada de 900 milímetros de espesor, cifra que contrasta con la media del país, que es de 700 milímetros anuales (Aguilar, 1990).
3. De acuerdo con los estudios realizados en últimas fechas por parte de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), se destaca que al menos en los últimos diez años, los registros de los niveles de descarga pluvial en el estado se han incrementado ocasionando, en consecuencia, serios problemas para la infiltración de las descargas pluviales, lo que traerá inundaciones por el crecimiento de barrancas, ríos y canales (Congreso de Morelos, 2004).

Dada la importancia del clima, principalmente de la precipitación para los cultivos de temporal, este trabajo tiene como objetivo central “analizar el impacto de las precipitaciones extremas ocurridas durante los meses de mayo a octubre sobre la producción de maíz de temporal durante el ciclo primavera-verano, en el estado de Morelos.”

Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos particulares:

1. Conocer los conceptos y marco teórico sobre los eventos meteorológicos extremos en particular de las lluvias extremas y su impacto sobre la agricultura.

2. Conocer las características geográficas así como de producción agrícola principalmente del cultivo de maíz de temporal en el estado de Morelos.
3. Determinar los umbrales para identificar a las lluvias extremas en cada estación.
4. Identificar espacial y temporalmente la distribución e intensidad de las lluvias extremas en la zona de estudio y su relación con la precipitación.

Debido a que la agricultura de temporal depende en gran medida de las condiciones climáticas y meteorológicas que se presenten durante el ciclo de siembra, en este trabajo se plantea la siguiente hipótesis: *“se sugiere que una mayor frecuencia de lluvias extremas tendrá un mayor impacto sobre los cultivos; entendido como una disminución en el rendimiento de maíz, o bien, en una mayor superficie siniestrada, disminuyendo así la productividad agrícola del estado de Morelos”*.

Este trabajo consta de 3 capítulos. En el primero, se menciona tanto la importancia de la información así como de los pronósticos climáticos para obtener un mejor aprovechamiento de los fenómenos meteorológicos y de la variabilidad climática; se mencionan los conceptos para entender la importancia del clima, principalmente de las lluvias extremas sobre la producción agrícola, básicamente sobre el cultivo de maíz. Dentro de este capítulo se incluye información sobre los datos utilizados y se describe la metodología empleada.

Dentro del segundo capítulo se abordó el caso específico del Estado de Morelos, en donde se describen las principales características físicas de la región, incluidos los aspectos más importantes que caracterizan el clima del estado. Se menciona la importancia de la agricultura dentro de la zona y, por lo tanto, se describen las características generales de la producción de maíz, así como las necesidades climáticas de este cultivo, por lo que se describen las principales características del crecimiento vegetativo para el caso del maíz.

En el tercer capítulo, se presentan los resultados obtenidos. Inicialmente se realizó el análisis sobre los eventos de lluvias extremas, los lugares, años y meses de mayor ocurrencia de estos eventos, así como la relación de éstos con la precipitación total de

verano; esto se realizó con datos del programa Clima Computarizado (CLICOM) para el período 1960-2005.

La segunda parte de este capítulo consistió en comprobar si las lluvias extremas tienen algún impacto sobre la producción de maíz; para esto se utilizaron datos del Sistema de información agropecuaria y de consulta (Siacon), el cual contiene información posterior a 1980, por lo que esta relación se analizó para el período 1980-2005.

Dentro de este capítulo se incluyeron algunos otros eventos relacionados con la precipitación que podrían estar relacionados con la producción de maíz dentro del estado, como son precipitación total, y el impacto del ENOS.

Si bien no se puede considerar a las condiciones climáticas como determinantes para el éxito o el fracaso de la agricultura, éstas pueden tener un importante impacto en la producción agrícola, principalmente en los cultivos de temporal. Por ello, es necesario contar con información climática y pronósticos meteorológicos que permitan tomar precauciones diarias y brindar ayuda para el rescate y asistencia posterior a un desastre y, de forma más importante, para la planificación agrícola.

## CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

*“El contar con información meteorológica permite tomar medidas preventivas para aminorar los daños ocasionados por eventos meteorológicos extremos. La prevención es posible siempre y cuando las predicciones de precipitación estén disponibles con cierta anticipación”.*  
*Madeleine Renom*

### 1.1.- Importancia de la información climática

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el organismo representante de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en México, el cual depende de la Comisión Nacional del Agua (Conagua); es el encargado del estudio de las condiciones del tiempo y de los fenómenos meteorológicos, así como de informar sobre la evolución, trayectoria e intensidad de éstos; una de sus principales funciones es alertar al Sistema Nacional de Protección Civil y al público en general sobre los eventos hidrometeorológicos.

Esta información es proporcionada tanto a escala nacional como local, y se distribuye a través de las direcciones locales de la Conagua, cuya labor es aplicar las políticas, estrategias, programas y acciones relacionadas con el recurso agua en las entidades federativas.

Para lograr los objetivos y metas establecidos, el SMN cuenta con una red de observación, la cual consta de:

- Red sinóptica de superficie, integrada por 72 observatorios meteorológicos.
- Red sinóptica de altura, la cual consta de quince estaciones de radiosondeo.
- Doce radares meteorológicos
- Estación terrena receptora de imágenes del satélite meteorológico GOES-8.
- Red hidroclimatológica de 3 mil 350 estaciones, las cuales están a cargo de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la Conagua.

El SMN es el organismo oficial encargado de concentrar, revisar, depurar, ordenar y distribuir la información climática, lo cual hace por medio de la Base de Datos Climatológica Nacional (BDCN), que se maneja mediante el programa Clicom (clima computarizado), proporcionado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Esta base de datos no sólo contiene información de las estaciones de la Conagua, sino que concentra datos de estaciones a cargo de otros organismos como son: CFE y FFCC, contando con información de 5,505 estaciones, en las que se miden los parámetros indicados en la tabla 1.

Tabla 1.- Parámetros que se miden en las estaciones meteorológicas.

CLAVE	PARÁMETRO	CLAVE	PARÁMETRO
001	Temperatura ambiente	030	Días con tormenta
002	Temperatura máxima	031	Días con granizo
003	Temperatura mínima	032	Días con niebla
005	Precipitación 24 h	043	Cobertura nubosa
018	Evaporación 24 h	091	Días con heladas

Dentro de la BDCN, se llegan a presentar problemas como son los datos faltantes, situación que complica el análisis de las variables del clima, ya que el análisis estadístico sobre las condiciones climáticas y atmosféricas que puedan presentarse en un lugar determinado es posible solo si se dispone de estadísticas continuas y confiables por períodos de tiempo suficientemente largos (treinta o cuarenta años), para poder inferir la marcha más frecuente de los eventos atmosféricos que caracterizan el clima de un lugar (Vázquez, 2006).

Entre los errores más comunes encontrados en la información climática, tenemos errores que van desde el momento de la toma de las variables meteorológicas causados por el manejo inadecuado, por la calibración o ubicación de los instrumentos, o por la capacitación del personal, entre otros, hasta los errores cometidos durante la captura y digitalización de esta información, aunque estos datos dudosos también podrían ser registros verídicos de la ocurrencia de eventos extremos, lo que complica el estudio de estos eventos, ya que al momento de validar la información climática,

muchos de estos registros son cambiados o eliminados de las bases de datos por ser considerados probables errores (Jones, 1997).

El contar con información climática permite tomar medidas preventivas para aminorar los daños ocasionados por eventos meteorológicos extremos y por la variabilidad del clima. El uso de la estadística es una herramienta sumamente valiosa; sin embargo, los valores estadísticos (frecuencia, intensidad, probabilidad de ocurrencia, entre otros) son posibles mientras la información esté disponible, sea confiable y oportuna. Es evidente la necesidad de contar con buenos datos climáticos, dado que éstos son el insumo fundamental para la administración de riesgos relacionados con variaciones climáticas y eventos hidrometeorológicos extremos (Agroasemex, 2006).

Las actividades económicas, entre ellas la agricultura, dependen de las condiciones meteorológicas, como son temperatura y radiación solar, así como de fenómenos meteorológicos como heladas, nevadas y granizadas, entre otros, que se presenten en cada región, por lo que es necesario contar con información climática y pronósticos meteorológicos que permitan tomar precauciones diarias y brindar ayuda para el rescate y asistencia posterior a un desastre, y de forma más importante para la planificación agrícola.

Para la agricultura es necesario conocer las condiciones en las que se desarrollará un cultivo; por ejemplo, la probabilidad de que una temporada de lluvias se encuentre dentro de las más lluviosas o las más secas, le permite a las autoridades y organismos correspondientes (Conagua, Sagarpa, Aserca, etc.) tomar medidas para disminuir o aprovechar el impacto de los fenómenos meteorológicos y de la variabilidad climática sobre la producción.

Esta información es útil siempre y cuando se tenga con cierta anticipación, para poder comunicar a la población sobre las condiciones climáticas que se presentarán; sin embargo, se debe entender que los estudios sobre probabilidad climática son sólo una herramienta, ya que el éxito de la agricultura depende de muchos otros factores, incluidos los de carácter socioeconómico.

### 1.2.- Variabilidad Climática.

El clima sufre cambios o alteraciones, a los cuales se les conoce como variabilidad climática. La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones por encima o por debajo de lo normal, observadas durante períodos de tiempo relativamente cortos; estas variaciones pueden ser estacionales o anuales. La variabilidad estacional son los cambios en los elementos climáticos como temperatura y precipitación a lo largo de un período, que es mayor para el caso de la precipitación en relación con la temperatura (Retana, 1999) (Figura 1).

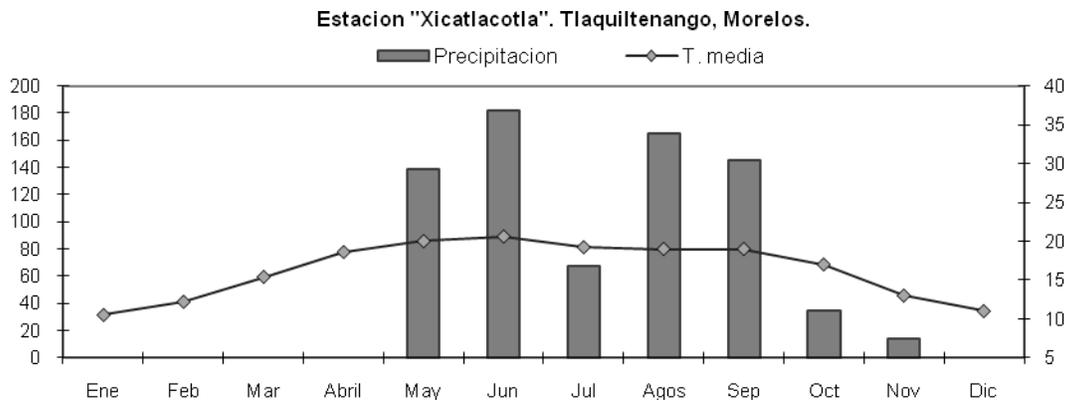


Figura 1.- Variabilidad estacional de precipitación y temperatura.

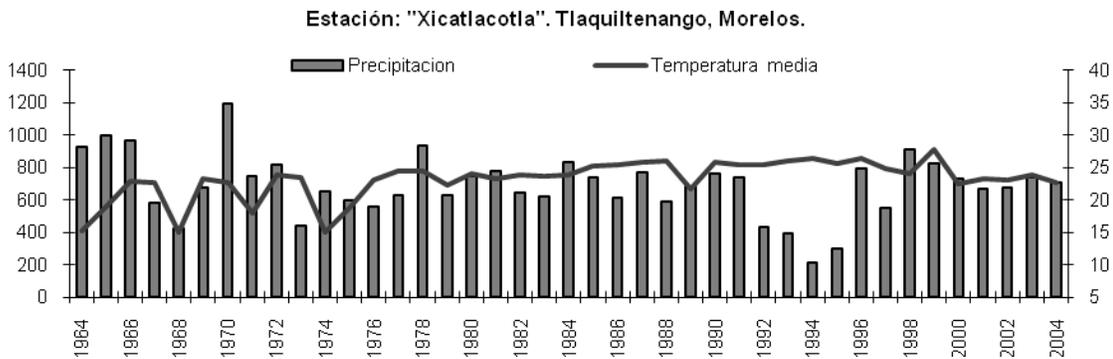


Figura 2.- Variabilidad anual de precipitación y temperatura.

En cuanto a la variabilidad interanual, ésta se refiere a los cambios en las variables climatológicas de un año a otro; esta fluctuación se establece por lo general en relación a un promedio histórico, el cual debe abarcar un mínimo de treinta años. La

variabilidad climática influye de diferente manera en múltiples sectores socioeconómicos, incluyendo la seguridad alimentaria, los recursos hídricos y la salud (Retana, 1999) (Figura 2).

Con el inicio de la temporada de lluvias de verano (entre mayo y junio) comienza la siembra de los cultivos de temporal, por lo que el establecimiento de la fecha de siembra así como la cantidad de lluvia son elementos de suma importancia para los agricultores, algunos de los cuales se basan en la observación de diferentes eventos como son el color y la forma de las nubes para saber cuál es el momento más oportuno para el inicio de la siembra.

El fenómeno de El Niño es una de las causas de la variabilidad climática a escala mundial, y corresponde a las corrientes oceánicas cálidas provenientes del Océano Pacífico Ecuatorial y que llegan a las costas de América del Sur.

Durante El Niño se altera la presión atmosférica, las presiones más altas de lo normal se presentan sobre Australia, Indonesia, el suroeste de Asia y las Filipinas lo que genera condiciones secas y cambios en la dirección y la velocidad del viento, y el desplazamiento de las zonas de lluvia sobre la región tropical. En el Océano, la corriente ecuatorial que desplaza las aguas frías de la corriente del Perú hacia el oeste se debilita, favoreciendo el transporte de aguas cálidas hacia la costa de América del Sur (Magaña, 2004).

En México, los efectos de El Niño se manifiestan como un aumento en las lluvias invernales, principalmente en Baja California y parte de Sonora; sin embargo, la señal de El Niño en verano en la mayor parte del país es de una disminución generalizada de las lluvias. A pesar de que no existe una real estadística sobre la actividad de la ZITC (Zona Intertropical de Convergencia) se ha observado que en veranos El Niño, la ZITC permanece cercana al ecuador y más alejada de México; por lo tanto, produce menos lluvias (Magaña, 2004) (Figura 3).

El déficit en precipitación puede ser tan severo que en algunos casos se traduce en sequías y problemas por la falta de agua, como fue la sequía de 1997 y parte de 1998, lo que provocó pérdidas y daños en la agricultura mexicana, además de que durante este periodo se registró un número récord en incendios forestales (Magaña 2004).

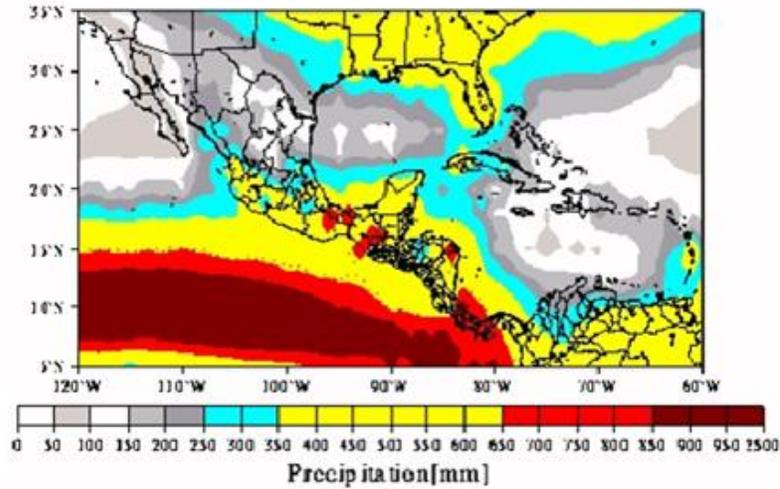


Figura 3.-Precipitación durante años Niño.  
<http://www.atmosfera.unam.mx>

Así como se habla del fenómeno “El Niño”, existe una contraparte climática conocida como “La Niña” durante este periodo; la temperatura de la superficie del mar en la región del Pacífico tropical centro-este es más baja de lo normal y los efectos en el clima del planeta son generalmente opuestos a los observados durante El Niño. Durante La Niña, la precipitación de verano en la mayor parte del país se caracteriza por ser cercana a lo normal e incluso superior; algunas de las causas de este aumento en la precipitación se deben a una mayor actividad de ondas del este y huracanes en el Caribe y Golfo de México (Figura 4).

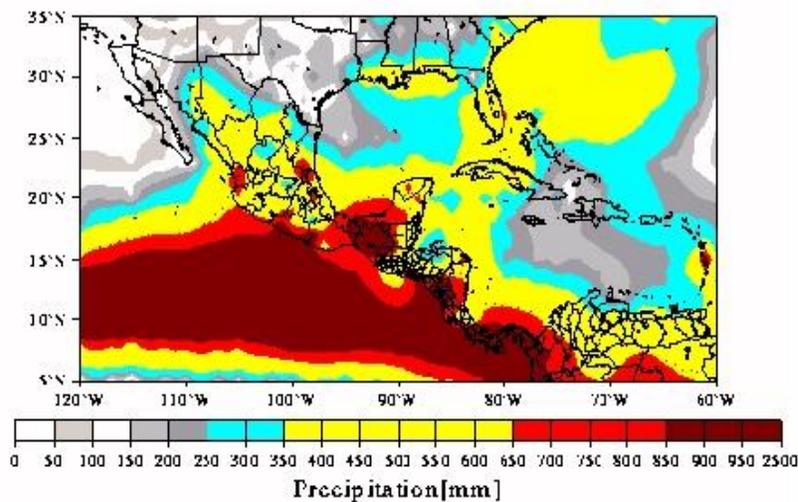


Figura 4.- Precipitación durante años Niña.  
<http://www.atmosfera.unam.mx>

Sin embargo, estos son sólo algunos de los tantos eventos océano-atmosféricos que producen variabilidad climática, ya que los huracanes y los sistemas de altas y bajas presiones, entre otros, también forman parte de un complicado sistema dinámico que produce variación climática y eventos extremos año tras año (Retana, 1999).

### **1.3.- Eventos hidrometeorológicos extremos.**

Debido a su ubicación geográfica, orografía e hidrografía, entre otros factores, México es un país afectado por un gran número de fenómenos naturales, entre los cuales los de carácter hidrometeorológico son de gran importancia debido al impacto que tienen sobre las actividades socioeconómicas. Existen diferentes métodos y conceptos para identificar a un evento extremo como tal, ya que los criterios utilizados para su tipificación pueden cambiar desde el punto de vista o disciplina que los estudie (Marengo, 2009).

Puede considerarse a un evento extremo como un evento poco frecuente, el cual varía tanto espacial como temporalmente, y cuya ocurrencia es estadísticamente poco probable. Dentro del glosario del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), se define a un evento extremo como un evento “raro” de un lugar y época del año en particular; la definición de “raro” puede variar, pero un evento extremo meteorológico puede considerarse cuando se encuentra por encima o por debajo del percentil 90 o 10 de la función de probabilidad observada” (Renom, 2005).

De acuerdo con Marengo (2009), un evento meteorológico extremo es la variabilidad positiva o negativa de un valor promedio dentro de un periodo de tiempo, y cuya probabilidad de ocurrencia es relativamente rara, por lo que define a estos eventos meteorológicos como aquellos en los que en cierta variable (por ejemplo la lluvia) alcanza un valor por encima o por debajo de un umbral dentro de una serie de tiempo y cuya ocurrencia es poco común. Para el caso de la precipitación, la anomalía positiva resultara en lluvias intensas, y en algunos casos en inundaciones, mientras que las anomalías negativas pueden ocasionar sequías.

Dada la gama de climas que se presentan en México, así como la variabilidad espacial y temporal de las variables meteorológicas como precipitación y temperatura, lo que se

considera como evento hidrometeorológico extremo en una región, puede ser normal en otra (Marengo, 2009).

Los eventos extremos se caracterizan por su variabilidad tanto en tiempo como en espacio, por lo que al presentarse con una frecuencia e intensidad no conocidas, limitan la adaptación de las actividades y de la población ante la ocurrencia de estos eventos. Las condiciones extremas en el clima, fundamentalmente aquellas relacionadas con la disponibilidad de agua siempre han preocupado a la gente, principalmente a quienes trabajan en el campo: períodos de secas han resultado en cosechas pobres y en muchas ocasiones en hambrunas (Magaña, 2007).

El impacto de los fenómenos naturales, incluidos los eventos extremos, en algunas ocasiones sobrepasan la capacidad del municipio o del Estado para poder sobreponerse a dicho impacto, por lo que en 1996 se creó el Fonden (Fondo de Desastres Naturales), el cual es un mecanismo financiero para apoyar a las entidades a disminuir los efectos de un fenómeno natural severo, y del cual posteriormente se derivaría el FAPRACC (Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas).

La ocurrencia de algunos fenómenos meteorológicos y climatológicos como son sequías, heladas, granizadas, nevadas, lluvias torrenciales, entre otros, pueden dar origen a contingencias climatológicas; Sagarpa define a estas últimas como “la afectación en los activos productivos provocados por la ocurrencia de los fenómenos hidrometeorológicos (Reglas de Operación del Programa del Seguro para Contingencias Climatológicas, 2008), de los cuales, las heladas, las sequías y las lluvias intensas, son las que tienen mayor ocurrencia en el país (Figura 5).

Pero no sólo la agricultura siente los impactos de los eventos extremos; otras actividades, como son la ganadería, la pesca, la generación de energía eléctrica y las comunicaciones, también se ven afectadas por las variaciones del sistema climático; la salud humana puede reflejar los efectos de condiciones meteorológicas extremas (Magaña, 2007).

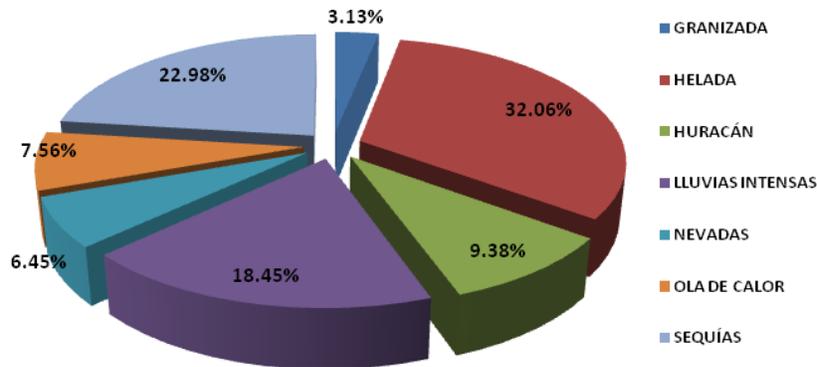


Figura 5.- Porcentaje del total de registros de fenómenos meteorológicos ocurridos en México de 1960 al 2001

Fuente: Desinventar, 2002

Debido al impacto que tienen estos eventos, se han implementado medidas de atenuación, las cuales incluyen un desarrollo de sistemas de observación, análisis y monitoreo de los cambios en las variables climáticas y los eventos hidrometeorológicos extremos, con la finalidad de contar con mejores bases de datos que permitan la identificación y probabilidad de ocurrencia de estos eventos.

Según algunos estudios realizados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) sobre variabilidad y eventos extremos, en los últimos años se muestra un cambio en la frecuencia y persistencia de estos eventos en todo el mundo, así como también se ha incrementado la intensidad con la que estos eventos se presentan, en donde una de las variables que más se modificará para el caso de México es la precipitación.

#### a) **Lluvias extremas.**

Las lluvias extremas pueden ser consideradas como aquellas que son más elevadas a la media de un lugar; de acuerdo con las reglas de operación del Fonden se considera a una precipitación diaria como extrema cuando al compararse con la serie de lluvias máximas en 24 horas del mes con relación a los datos disponibles en dicha estación, la precipitación en cuestión resulta mayor al 90% de los valores de la muestra, es decir mayor al percentil 90.

Estas precipitaciones son relativas al lugar en donde se presentan y varían de un lugar a otro, por lo que una precipitación en determinado lugar puede ser extrema, mientras que en otro, es un evento normal; por ejemplo, en Chihuahua una precipitación mayor a 25 mm es considerada como un evento extremo, mientras que en Veracruz para que sea una lluvia extrema se necesitan precipitaciones superiores a 63 mm.

Los valores extremos no varían sólo dependiendo del lugar en el que ocurran, existe también una variabilidad estacional de éstos; así, mientras lluvias mayores a 40 mm en junio se encuentran dentro del rango normal de precipitación, una lluvia de la misma magnitud en meses como febrero o marzo, sería considerada como un evento extremo.

Las lluvias extremas, que algunas veces resultan en inundaciones son eventos que generan importantes impactos; tan sólo para el año 2000, el Fonden designó más de 60% del total de los recursos de ese año para disminuir el impacto provocado únicamente por lluvias extremas (Tabla 2).

Tabla 2.- Recursos aportados por el Fonden para la atención de desastres naturales durante el 2000.

<b>RECURSOS FEDERALES</b>			
	Fonden	Recursos estatales	Total de recursos
<b>Incendios forestales</b>	46,729		46,729
<b>Sequías</b>	297,092	272,439	569,531
<b>Lluvias e inundaciones</b>	876,388	238,846	1,130,363
<b>Heladas</b>	10,224	4,382	14,606
<b>Suma</b>	1,230,433	515,667	1,761,229
<b>Fuente: Coordinación General de Protección Civil, 2002.</b>			

Si bien las lluvias extremas tienen fuertes impactos, la ausencia de estos eventos en algunos lugares, principalmente del norte del país, pueden resultar en sequías; Cabazos et al. (2008) sugieren que existe una importante relación entre el número de días con lluvias extremas y el total de precipitación, es decir, una sequía puede ocurrir cuando

disminuye el número de días con lluvias, pero ocurre con mayor frecuencia cuando disminuyen los eventos de lluvias extremas.

Las precipitaciones extremas pueden ser confundidas con precipitaciones intensas; estas últimas se refieren a la cantidad de lluvia por unidad de tiempo; suelen medirse en milímetros por hora, y cuando se trata de precipitaciones muy intensas se pueden medir en milímetros por minuto. De acuerdo a su intensidad se pueden clasificar como se indica en la tabla 3.

Tabla 3.- Clasificación de las lluvias según su intensidad.

intensidad	
Débiles	$\leq 2$ mm/h.
Moderadas	$> 2$ mm/h y $\leq 15$ mm/h.
Fuertes	$> 15$ mm/h y $\leq 30$ mm/h.
Muy fuertes	$> 30$ mm/h y $\leq 60$ mm/h.

<http://www.imta.gob.mx/>

Las lluvias extremas se refieren al total precipitado a lo largo del día, por lo que representan condiciones muy diferentes, ya que no causa el mismo impacto una precipitación de 60 mm ocurrida en unos minutos que la misma cantidad acumulada a lo largo de todo el día, por lo que se considera de mayor riesgo la intensidad de la precipitación, más que la cantidad de ésta (Maderrey, 2005).

Las precipitaciones extremas se caracterizan por su baja frecuencia temporal, por la intensidad con la que se presentan, así como por su distribución espacial poco común, características que complican su estudio, ya que las series pluviométricas normalmente disponibles pueden ser poco adecuadas para poder tener un mejor análisis tanto de las precipitaciones extremas, como de las condiciones que prevalecían en el lugar en donde se presentaron (Marengo.2009).

Los eventos hidrometeorológicos extremos, incluidas las lluvias extremas, son causa de incertidumbre en el agricultor sobre los resultados a obtener, por lo que muchas veces estos deciden invertir lo mínimo en la cosecha anual, creando condiciones de baja productividad y aumentando los riesgos, situación que se incrementa en el caso de la agricultura de temporal, ya que la mayoría de estos agricultores no cuentan con los insumos necesarios para implementar medidas de atenuación de riesgos.

#### **1.4.- Importancia del clima para la agricultura.**

La producción agrícola está determinada tanto por los factores del medio físico (relieve, características edáficas, clima), así como por los modos de tenencia de la tierra y tipos de prácticas agrícolas; no obstante, el clima es un factor determinante en donde los elementos de éste que llegan a causar mayores impactos en la agricultura son las variaciones climáticas y los eventos extremos.

La temperatura controla la proporción de reacciones químicas involucradas en los procesos de crecimiento de la planta. La mayoría de las especies vegetales sobreviven a temperaturas que, en general, varían de los 0° a los 32° C, aunque cada especie tiene ciertas temperaturas críticas que definen los requerimientos de calor necesarios para su crecimiento y desarrollo, a las cuales se les conoce como temperaturas cardinales; estas temperaturas incluyen la mínima, la óptima y la máxima para que un cultivo se pueda desarrollar).

Una de las dificultades en la determinación de la temperatura óptima para un cultivo es que cada etapa fenológica tiene sus propios requerimientos tanto de temperatura como de precipitación, en donde la temperatura óptima para la germinación de la semilla es frecuentemente más baja que la temperatura óptima para el desarrollo vegetativo (Ortiz, 1984).

Una de las características de la precipitación respecto a los demás parámetros meteorológicos, es su variabilidad tanto en tiempo como en espacio. La ubicación del país es uno de los factores más importantes en la distribución e intensidad de la precipitación ya que las zonas más lluviosas (superiores a 1500 mm anuales) se encuentran al sur del paralelo 22° N, comprendiendo las pendientes montañosas del centro y sur del país, las cuales se encuentran expuestas a los vientos alisios, a los nortes y a los ciclones tropicales. En contraparte, existen otras regiones como la parte norte de la altiplanicie, la cual es una zona árida con menos de 300 mm anuales, en parte ocasionado por su ubicación con respecto a la faja subtropical de alta presión, así como a la orientación general de las sierras, ya que la limitan y aíslan de los mares (García, 2003).

La orografía es un factor significativo para la distribución de la precipitación, ya que actúa como una barrera, ocasionando la condensación de la humedad y, por lo tanto, la concentración de la precipitación en las zonas de barlovento, y una disminución de la misma en las zonas de sotavento. (Mapa 1)

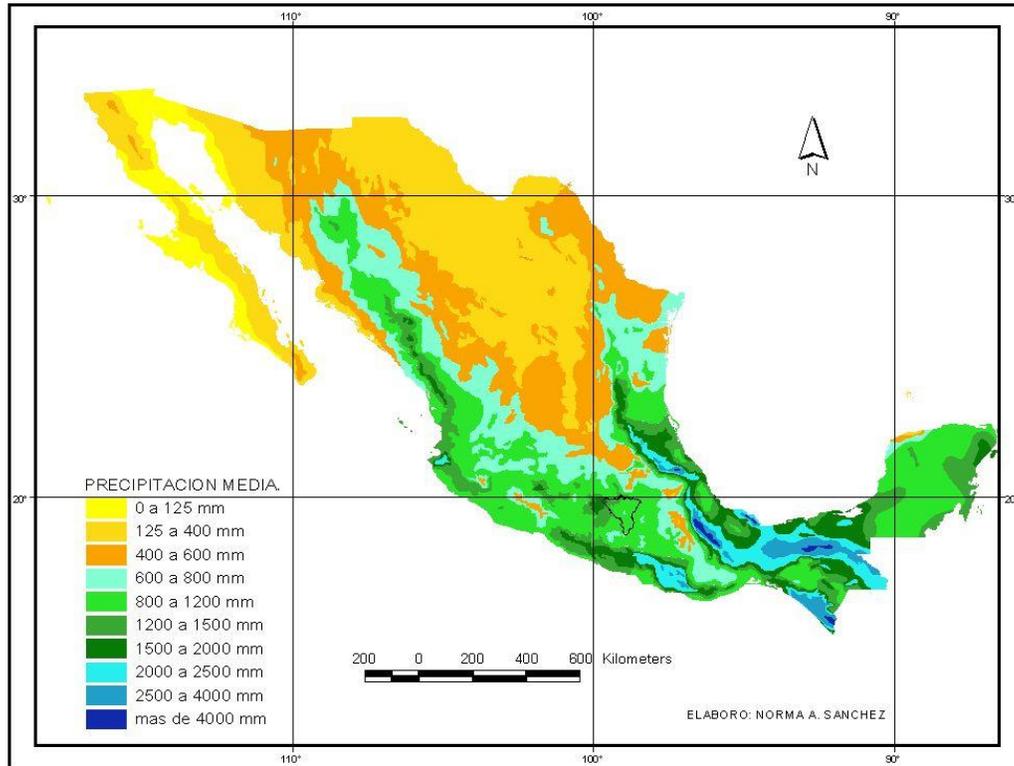


Figura 6.- Distribución de la precipitación en México.  
Fuente: Conabio, 2009

En la mayor parte de la República mexicana el régimen de lluvia es de verano, es decir que la precipitación se acumula en los meses de mayo a octubre, la variabilidad en las lluvias depende en gran medida de las causas que originen la precipitación; las cuales son diferentes de un lugar a otro, no obstante, dentro de las principales causas de la precipitación en México podemos mencionar:

- 1) El traslado de norte a sur de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) ya que durante el verano se encuentra en el hemisferio norte, por lo que prácticamente todo el país queda bajo la influencia de los vientos alisios provenientes del Atlántico, los cuales acarrearán humedad del Golfo de México.

- 2) Los ciclones tropicales, que tienen su mayor frecuencia en septiembre y que afectan las condiciones del clima del país, debido a que muchas de sus trayectorias corren paralelas a las costas o se internan en el continente (INE, 2005).
- 3) Los "nortes", que son vientos producidos por las masas de aire frío que se desplazan en invierno desde Canadá y Estados Unidos hacia el sur.
- 4) Las ondas del este, que producen gran parte de la precipitación del verano y principios del otoño.
- 5) La presencia del fenómeno de El Niño ya que estudios recientes muestran que los regímenes de lluvias de invierno y verano se ven afectados por este fenómeno, por lo que de manera general podemos decir que las lluvias de invierno se intensifican durante años El Niño (Magaña, 1999).

La falta o el exceso de precipitaciones generalmente llevan a severas sequías e inundaciones que, por no existir una política de manejo de agua basada en pronósticos o escenarios del clima, se traducen con frecuencia en desastres. Según datos de precipitación de los últimos cincuenta años, existe una tendencia de mayor precipitación en los estados del norte por el contrario, en el centro y sur del país, se observa una tendencia a menores precipitaciones ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)).

El clima no es únicamente los promedios de temperatura y de precipitación, ya que la variabilidad climática y, en especial, la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos, son elementos de suma importancia para todas las actividades económicas, incluida la producción agraria. Dependiendo de la intensidad y duración de una anomalía en la lluvia o la temperatura, así como del grado de vulnerabilidad de una sociedad o de un ecosistema, los impactos del clima pueden variar de imperceptibles a desastrosos (Bert, 2007).

### 1.5.- La agricultura de temporal en México y su vulnerabilidad climática.

En México la agricultura es muy importante; puesto que más del 27% de la población económicamente activa se emplea total o parcialmente dentro de esta actividad es decir, más de una cuarta parte de la población mexicana depende de la agricultura; es la actividad económica a la que más superficie se le destina; según datos de la Sagarpa para el año 2003, más de veinte millones de hectáreas eran utilizadas para la agricultura, que era así mismo la actividad que consumía el mayor porcentaje de agua (Figura 7).

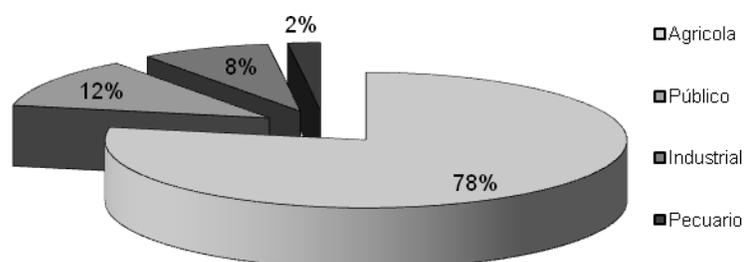


Figura 7.- Principales usos del agua, datos estimados para el 2003.  
Fuente: CONAGUA, 2005

La agricultura mexicana es sumamente diversa, comprendiendo productos que van desde regiones tropicales hasta zonas templadas y frías; los cereales son los cultivos de mayor representatividad espacial con más de nueve millones de hectáreas, siguiéndole en importancia los cultivos forrajeros y los industriales.

En la actualidad, la mayoría de las prácticas agrícolas en México corresponden a cultivos de temporal; según datos de la Sagarpa (2003), dentro del sector agrícola mexicano estos cultivos ocupaban más de 75% de la superficie total agrícola. A pesar de la superficie dedicada a la agricultura, ésta no contribuye en igual proporción al Producto Interno Bruto (PIB), ya que su aportación a éste es de aproximadamente 5%. Debemos aclarar que superficie no es igual a valor, pues existen cultivos como son las hortalizas, que abarcan relativamente poca superficie pero contribuyen en gran valor al PIB; en cambio, los cereales a pesar de abarcar la mayor parte de la tierra de labor, son menos redituables (Figura 8).

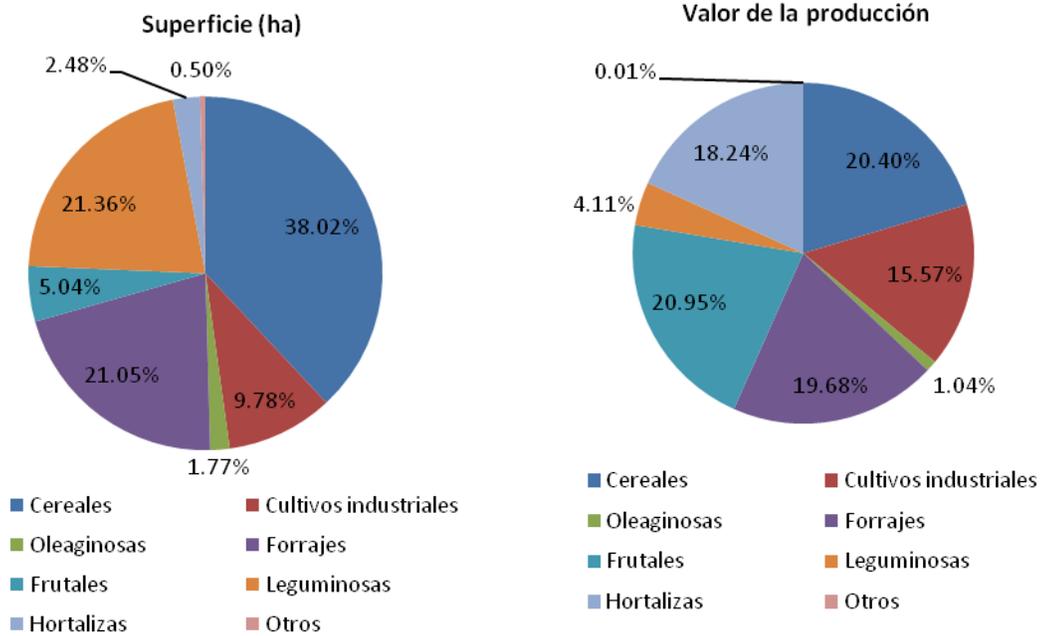


Figura 8.- Superficie sembrada y valor de la producción agrícola nacional.  
Fuente: SIAP, 2003

Los efectos del clima se magnifican o disminuyen por el grado de vulnerabilidad de los cultivos; la vulnerabilidad se considera como la susceptibilidad de sufrir daños y deriva de un conjunto de factores como pueden ser la insuficiencia de medidas preventivas y de mitigación de riesgos. La vulnerabilidad de la agricultura ante eventos extremos aumenta para los cultivos de temporal, siendo de mayor amenaza los eventos meteorológicos relacionados con la cantidad y distribución de la precipitación, es decir, las sequías y lluvias excesivas (Cenapred, 2001).

La fenología del cultivo es un factor que puede aumentar o disminuir el impacto del clima, puesto que, hay períodos vegetativos en los cuales los cultivos son más vulnerables a ciertos fenómenos como pueden ser la falta o el exceso de lluvia, por lo que es necesario considerar las características y necesidades agroclimáticas para entender el impacto de los fenómenos meteorológicos ([www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)).

La vulnerabilidad de la agricultura no es sólo consecuencia de la variabilidad del clima, sino también de la imposibilidad de predecir completamente su comportamiento; debido a esto, es importante tanto para la toma de decisiones como para la planeación conocer y entender los mecanismos que controlan el clima (Bert, 2007).

## CAPITULO 2. – MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1.- Datos y materiales.

Para este trabajo se utilizó información de la base de datos del Clicom<sup>1</sup> 2009 del Servicio Meteorológico Nacional; dicha información fue revisada a través del programa R- Climdex<sup>2</sup>, por medio del cual se elaboraron gráficas de precipitación, con la finalidad de conocer el período de información disponible, así como la distribución temporal de la información (numero de años consecutivos con datos).

Para un análisis estadístico más confiable de los umbrales de precipitación extrema, las series de datos deben ser suficientemente largas y continuas, situación que resulta un tanto complicada, puesto que dentro de la información disponible, si bien se cuenta con series de datos relativamente largas muchas de éstas tienen vacíos de información por varios años, por lo que se realizó un filtro para identificar las estaciones que cumplieran con los siguientes criterios:

1. Que tuvieran un mínimo de cuarenta años de información (número de años sugeridos para el estudio de eventos extremos).
2. Que contaran con 80 % o más de los datos disponibles.
3. Que contaran con información disponible al 2005, debido a que en la base del Clicom la mayoría de las estaciones del estado de Morelos no tienen información posterior a dicho año. (Figura 9)

---

<sup>1</sup> Clicom.- Clima computarizado. Programa proporcionado por la OMM, para el manejo de bases de datos.

<sup>2</sup> R-Climdex.- Programa basado en Microsoft Excel, para el cálculo de índices de extremos climáticos.

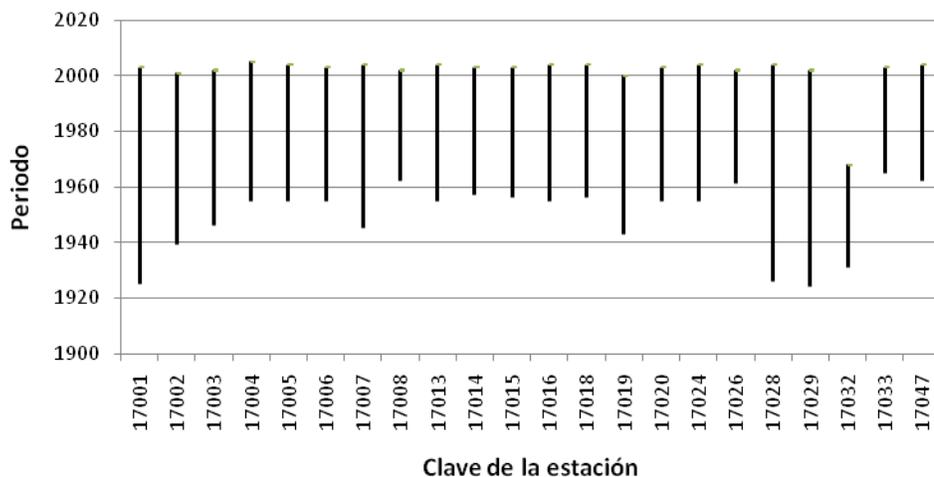


Figura 9.- Período de información de las estaciones meteorológicas dentro del estado de Morelos.  
Fuente: Clicom, 2009.

De acuerdo con los criterios propuestos anteriormente se obtuvo un total de once estaciones climatológicas a consultar para el análisis estadístico de este trabajo (Figura 10) (Anexo 1).

Para poder utilizar las estaciones identificadas se realizó un control de calidad de los datos de precipitación, para poder establecer si la información podía ser considerada como homogénea o heterogénea, lo cual se hizo mediante el método de Sved-Eisenhart, conocido como prueba de recorrido o Run Test.

Esta prueba consiste en ordenar y graficar los totales de lluvia mensuales del mes más lluvioso en orden cronológico y sobreponer a éstos el valor de la media y la mediana. Después, se cuenta el número de veces en que la serie cambia de valores superiores (+) e inferiores (-) respecto a la media y la mediana; si este valor cae dentro de un intervalo dado según el número de años con información, se considera a la estación como homogénea; si el número de cambios está fuera del rango, la información será considerada como una estación heterogénea (Figura 11).

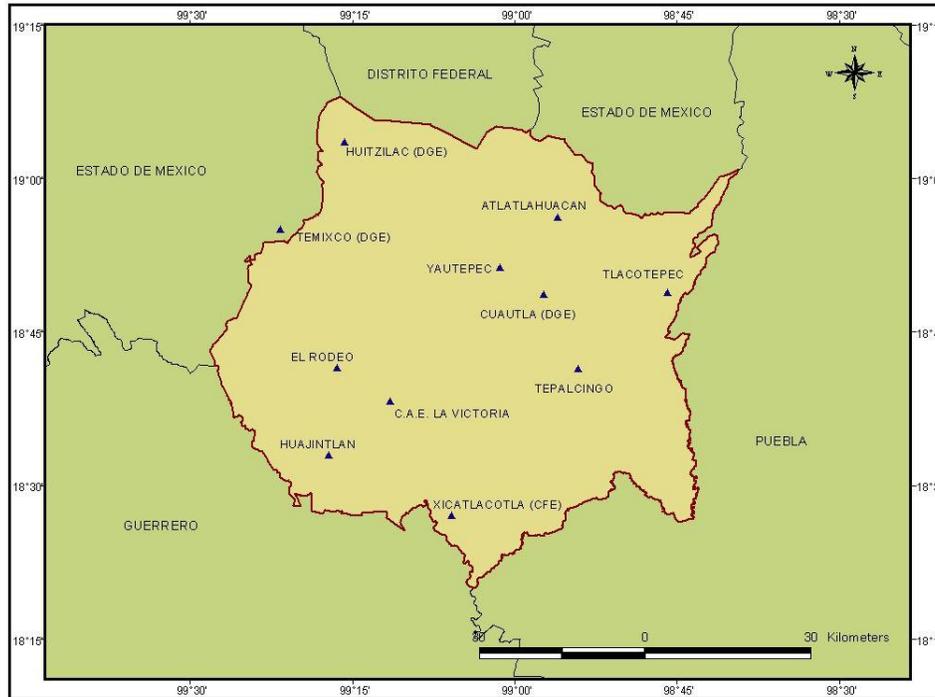


Figura 10.- Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Uno de los requisitos para la prueba de recorrido es la continuidad de la información, por lo que en las estaciones con datos faltantes se utilizó el período más largo con datos continuos. Con esta prueba se estableció que el 100% de las estaciones analizadas son homogéneas, lo cual permite un análisis estadístico más confiable sobre las lluvias extremas (Anexo 2).

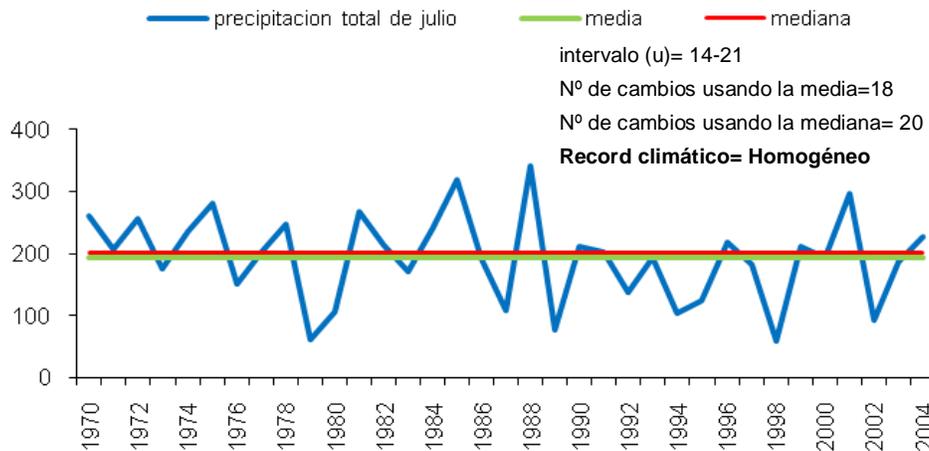


Figura 11.- Ejemplo de Prueba de recorrido. Estación 17005, Cuautla.

En cuanto a los datos sobre producción agrícola para este trabajo se utilizó la base de datos creada por Sagarpa, llamada Sistema de Información Agropecuaria y de Consulta (Siacon), de donde se obtuvieron datos a nivel estatal para el período 1980-2005. Se estableció este período puesto que no se dispone de información agrícola anterior a 1980, además de que los datos climáticos sólo se encuentran disponibles al 2005.

Las variables agrícolas que se consultaron en el SIACOM fueron:

- Superficie sembrada (ha).
- Superficie cosechada (ha).
- Superficie siniestrada (ha).
- Rendimiento (ton/ha).

Dado que en algunas ocasiones, solo se encuentran disponibles la superficie sembrada y la cultivada, la superficie siniestrada se obtiene mediante la diferencia de las dos primeras.

## **2.2.- Metodología.**

Para definir los eventos extremos se pueden utilizar diferentes metodologías como pueden ser el uso de los percentiles, que consiste en ordenar de manera ascendente los valores de precipitación diaria y determinar qué valor se encuentra por encima del percentil 90 o 95 del resto de los datos ordenados. De acuerdo con el FONDEN se considera una lluvia extrema cuando ésta resulta mayor a 90% de los datos disponibles para las lluvias máximas del mes en cuestión.

Una de las metodologías más usadas para definir los valores de lluvias extremas consiste en el uso de la función de probabilidad (FDP) Gamma, puesto que la lluvia en la mayor parte de México no corresponde a una distribución normal, abierta en ambos sentidos, por lo que se utiliza la distribución gamma, la cual es asimétrica, tiene sesgo positivo y se extiende hacia la derecha puesto que sus límites varían de 0 a  $+\infty$ , coincidiendo con la forma en que se distribuye la precipitación (Fernández, 1996).

La FDP Gamma está definida por la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} \exp(-x/\beta)}{\beta^\beta \Gamma(\beta)}$$

Que, al igual que la distribución normal, tiene dos parámetros de forma y escala que la definen:

- 1)  $\beta$  es un parámetro de escala similar al de la desviación típica
- 2)  $\alpha$  es un parámetro que depende de la forma de la curva.

Ambos parámetros se pueden calcular mediante las siguientes fórmulas:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + 4A^2/3} \right) \quad \beta = \text{media} / \alpha$$

$$A = \ln \text{media} - \frac{\sum \ln X}{n}$$

Para determinar los valores extremos de precipitación diaria se utilizaron; los registros de precipitación diaria que fueran superiores a 0.1 mm, para cada una de las estaciones consultadas. Con estos datos se calcularon los parámetros de forma y escala de la FDP Gamma. Ejemplo de parámetros para el mes de junio en la estación 005, Cuautla:

$$\alpha = 0.91746295$$

$$\beta = 14.1611142$$

$$A = 0.49353516$$

$$\text{media} = 12.9922977$$

Total de datos = 766

Se dividió la distribución de los valores de precipitación de los 45 años utilizados para el mes en cuestión en percentiles; de acuerdo con Fonden se identificó el valor de precipitación diaria que se encontrara en el percentil 90, los cuales se consideraron como los valores extremos de precipitación diaria. Cabe destacar que estos valores sólo tienen una probabilidad de ocurrencia de 10% por lo que pueden ser considerados como poco frecuentes.

Para poder estimar qué cantidad de precipitación se encuentra en el 90% de los datos, se busca en las tablas de la fila  $A= 0.9174$  los valores de  $x/\beta$  para  $f(x)$  90, debido a que el valor de  $A$  se encuentra entre 0.5 y 1, a los cuales les corresponde un valor en la frecuencia 90 de 3.126 y 3.89 respectivamente; se realizó una interpolación de los valores de  $A$ , para obtener el valor que le corresponde a  $A= 0.9257$ . Así tenemos:

Si a  $(0.5-1)$  le corresponde  $(3.126 - 3.89)$ , a  $Z$  le corresponde  $(0.5 - 0.9174)$

$$Z = (0.5 * 0.41746295) / 0.764 = \mathbf{0.27320873}$$

Por lo que a  $A= 0.9257$  le corresponde un valor de  $f(x)$   $P.90 = 3.39920873$ , el cual se multiplica por el valor de  $\beta$ , para obtener la precipitación que corresponde al percentil 90:

$$x_{90} = f(x) P. 90 * BETA = \mathbf{48.1365832}$$

Para el ejemplo anterior, correspondiente al mes de junio para la estación de Cuautla, vemos que de acuerdo con la FDP Gamma el valor que se puede esperar en 90% de los datos es inferior a 48.1, por lo que las lluvias mayores a esta cantidad serán las consideradas como eventos extremos.

Una vez calculado el valor de precipitación que se encontrara en el percentil 90, se realizó un filtro en Excel para identificar los días con precipitaciones superiores a dichos valores durante los meses de mayo a octubre de 1960 al 2005. Cabe mencionar que los valores identificados constituyen el total de registros de lluvias extremas, pero dado que se consultaron varias estaciones, un mismo evento pudo ser registrado en varias estaciones, lo cual puede originar que un evento se cuantifique varias veces (Figura 12).

Como se muestra en la tabla 4 durante 1969 existen 36 registros de lluvias extremas en sumatoria de todas las estaciones consultadas, mientras el número real de lluvias extremas para ese año corresponde a 9 eventos.

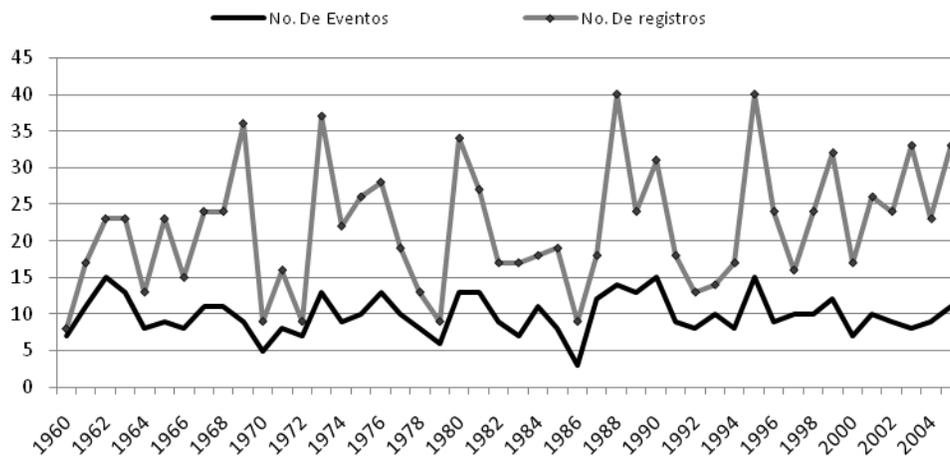


Figura 12.- Número de registros y cantidad total de lluvias extremas.

Para poder identificar el número total de lluvias extremas y no el total de registros se compararon las fechas de registro de estos eventos en cada estación, evitando así que un evento fuera cuantificado varias veces.

Tabla 4.- Registros de lluvias extremas en el estado de Morelos durante 1969

1969									
MES	DÍA	estación	mm	MES	DÍA	estación	mm		
6	19	006	55.5	8	26	005	41		
		005	50.8			006	71.5		
		015	70			014	50.4		
		026	65.9			020	47.4		
8	3	005	50.9			024	48		
		015	50			9	2	005	84.5
		024	44					020	45.4
		047	80.5					047	80.5
8	14	006	56.5			9	17	005	<b>108</b>
		015	51	020	53.4				
		033	40.2	026	51				
8	21	005	45.3	10	13			007	40
		020	62.5	Total	9				
		024	61						
		047	89.1						



De acuerdo con los resultados que presentó el II Censo de Población y Vivienda en el 2005, el estado de Morelos contaba con un total de 1, 612,899 habitantes, de los cuales 86% corresponde a población urbana, mientras que 14% era rural.

Las elevaciones dentro del estado varían desde elevaciones superiores a los 5000 m.s.n.m en una franja montañosa que corre de este a oeste en la parte norte del Estado, en donde las elevaciones mas importantes corresponden a la Sierra de Tepoztlán, Tlaltizapán y Huautla, llegando a presentarse las mayores altitudes en las cercanías del Popocatepetl (Aguilar, 1990).

Conforme desciende la latitud, también disminuye la altitud de la región; las altitudes entre 3000 y 4000 m s. n. m. se encuentran en la zona limítrofe con la Ciudad de México. Al sur de ésta última, se ubican localidades como Apapasco, y Tres Cumbres, que registran altitudes entre 2000 y 3000 msnm y, al sur de la entidad se presentan las menores altitudes que corresponden a 720 msnm cerca del poblado de Huaxtla, cabe mencionar que; en los municipios de Tlaquiltenango y Tepalcingo colindantes con el Estado de Guerrero la altitud vuelve a ascender, en lo que corresponde a las estribaciones de la sierra de Huautla (Figura 14).

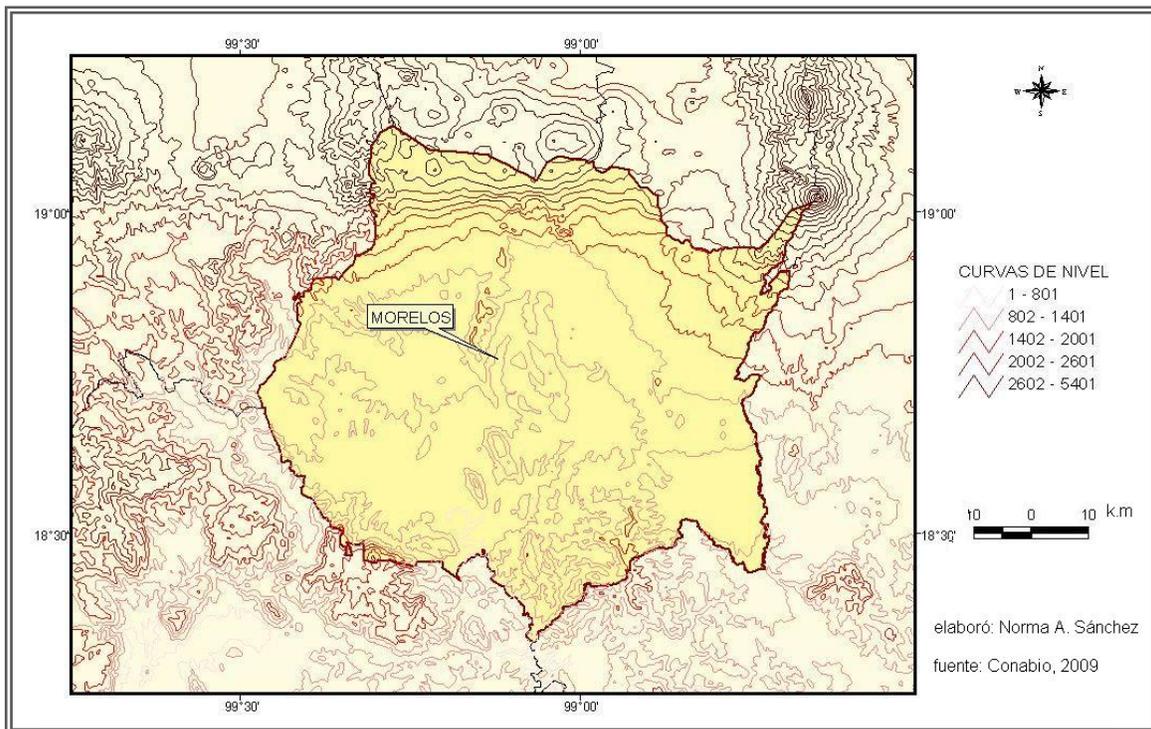


Figura 14.- Mapa de altimetría del Estado de Morelos.

En la parte norte del estado el relieve es en general endógeno volcánico acumulativo del Cenozoico, originado por el Sistema Volcánico Transversal; la región centro esta constituida por relieve exógeno acumulativo ocupado por los valles de Cuernavaca y Cuautla, mientras que en las zonas plegadas de las sierras de Yautepec y Xochicalco el relieve es endógeno de montañas de plegamiento cretácicas. (Batllori, 2002)

Dentro de la entidad existe una gran variedad de suelos; los feozem y los vertisoles, se concentran en la región central, en la parte norte predominan los andosoles en una franja que va de oeste a este, y los suelos de mayor representatividad espacial son los litosoles, concentrados en la parte sur del estado; existen otros suelos menos representativos como son los regosoles y luvisoles que se encuentran dispersos por todo el estado (Figura 15).

Las pendientes y tipo de geología que se presentan en el norte del estado han contribuido a la presencia de suelos poco desarrollados; en cambio, en los valles como el de Cuernavaca, las topoformas han beneficiado la formación de suelos de alta y mediana profundidad. En la mayoría de los suelos dedicados a labores agropecuarias se presentan procesos de desgaste por la erosión eólica e hídrica (Batllori, 2002).

El estado de Morelos se encuentra casi en su totalidad dentro de la cuenca del Río Grande Amacuzac, correspondiente a la región hidrológica del Balsas, dentro de la subregión del alto Balsas. Es una entidad rica en manantiales, ríos y lagos, debido en parte a que los relieves endógenos volcánicos acumulativos favorecen la condensación, la precipitación y la infiltración del agua que procede del Golfo de México, transportada por los vientos alisios (Aguilar, 1990)

Entre los principales ríos que alimentan la región se encuentran los ríos Tepalcingo, Cuautla, Yautepec, Salado, Tetlama, Tembembe y el Chalma, los cuales desembocan en el Río Amacuzac. Entre los lagos destaca el de Tequesquitengo, el cual se ubica entre los municipios de Puente de Ixtla y Jojutla. En el municipio de Axochiapan se encuentran dos presas importantes que llevan por nombre Los Carros y Cayehuacán; en cuanto a manantiales, uno de los más importantes es el de Las Estacas que se localiza en el municipio de Tlaquiltenango (Figura 16).

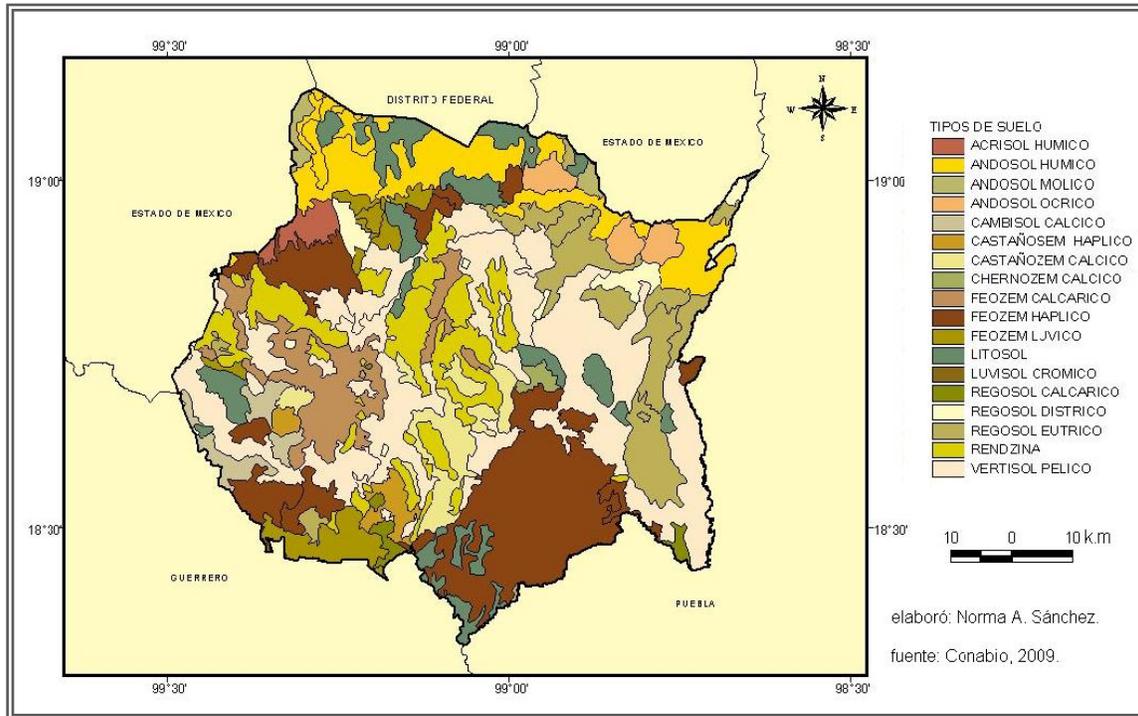


Figura 15.- Mapa de los principales tipos de suelo del Estado.

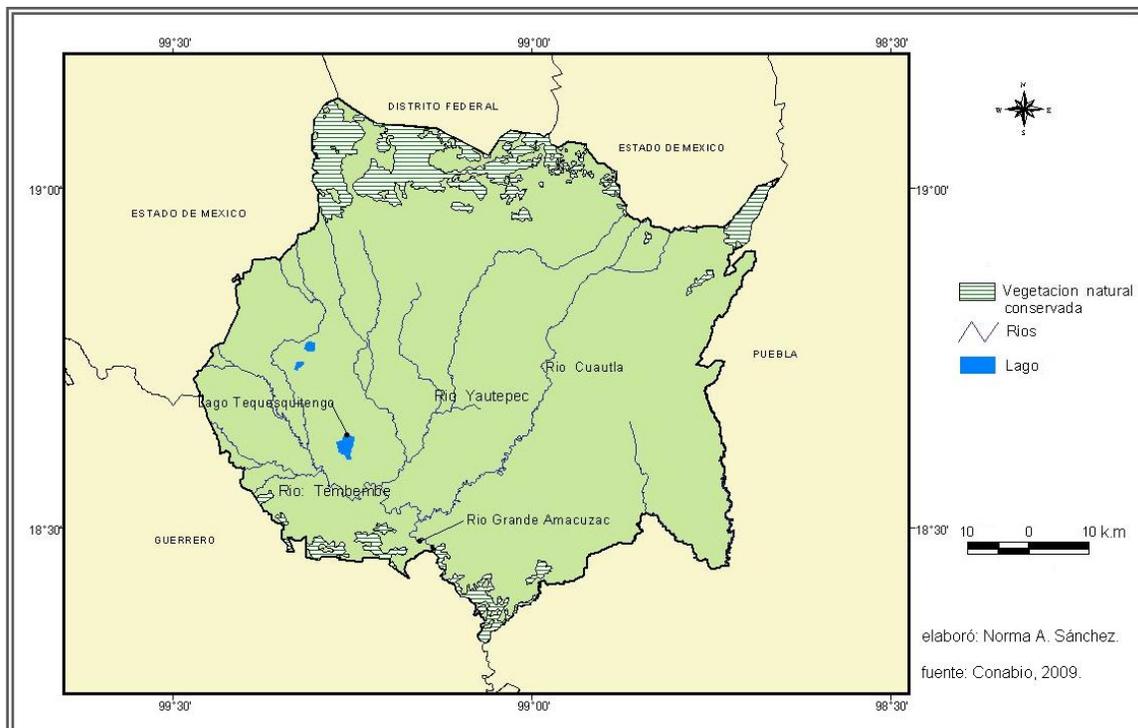


Figura 16.- Mapa de los principales ríos dentro del Estado.

En cuanto a la vegetación, los bosques de pino-encino se presentan en elevaciones que van de los 2000 a los 3000 metros, concentrados en municipios como Tepoztlán y Tetela del Volcán; el bosque mesófilo se presenta en los límites de Cuernavaca y Huitzilac; conforme descende la altitud se encuentra selva baja caducifolia, que es la vegetación predominante en el estado y abarca más de 60% de la superficie total; el matorral rosetófilo se ubica en la parte suroriental del estado. En los últimos veinte años Morelos ha perdido más de 60 mil hectáreas de bosques y selvas, lo que nos indica un ritmo anual de pérdida de tres mil hectáreas de bosques y selvas (Batllori, 2002).

### **3.2.- Características generales del clima**

El estado de Morelos presenta una gran diversidad climática; así, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García, para la entidad se identificaron los siguientes tipos de clima: cálido húmedo, el cual se concentra en la parte centro y sur de la región; al norte del estado se presenta un clima templado con lluvias en verano; los climas semifríos se reducen a pequeñas áreas ubicadas en las partes más altas de la región norte en una franja que va de este a oeste en la zona de transición entre la sierra y los valles, y finalmente en el extremo sur del estado se encuentran algunas regiones con clima seco (Figura 17).

La precipitación media anual del estado oscila alrededor de los 890 mm, en donde la influencia orográfica juega un papel primordial en la distribución de la precipitación; las precipitaciones más altas se registran en la parte norte, en lo correspondiente a la zona de mayor altitud en las estribaciones elevadas de la Sierra del Chichinautzin y en los límites de Huitzilac y Lagunas de Zempoala, así como en las laderas del volcán Popocatepetl, en donde se registran precipitaciones anuales superiores a 1,500 mm.

Conforme descende la altitud, la precipitación disminuye; así localidades como Cuernavaca, Tepoztlán, Tlayacapan, Tlalnepantla y Totolapan, presentan precipitaciones entre 1000 y 1500 mm al año. Finalmente, lo que puede considerarse como la región del valle intermontano y la zona sur del estado registra precipitaciones menores a 1000 mm (Figura 18).

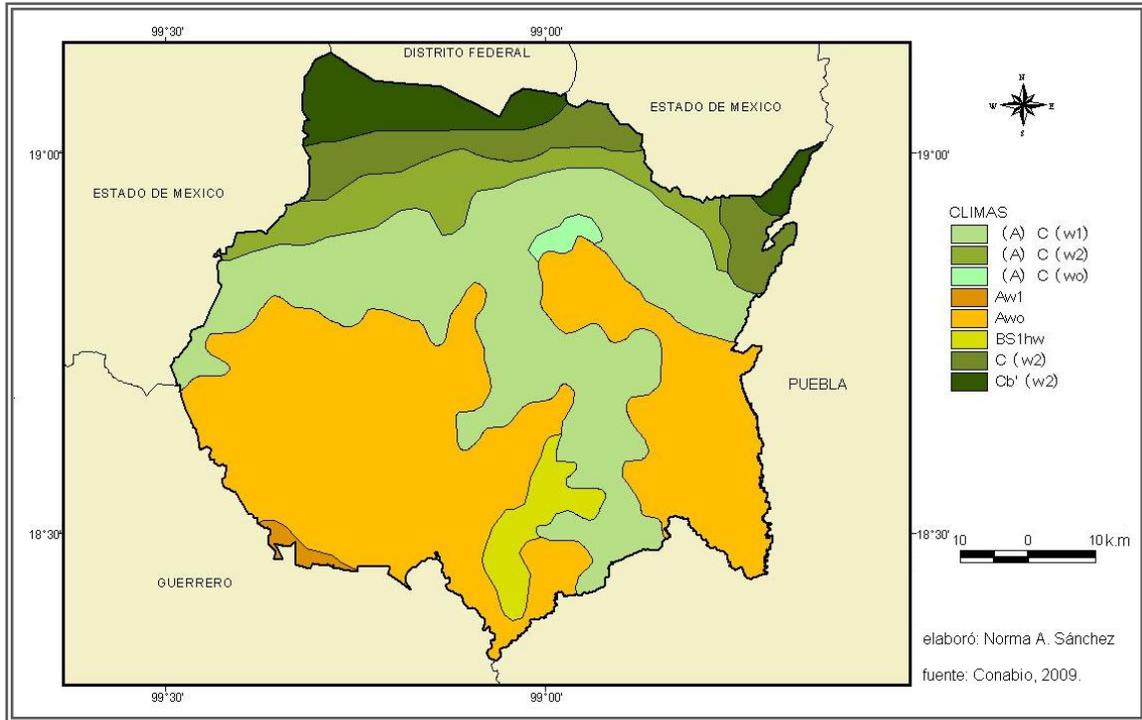


Figura 17.- Mapa de climas de Morelos.

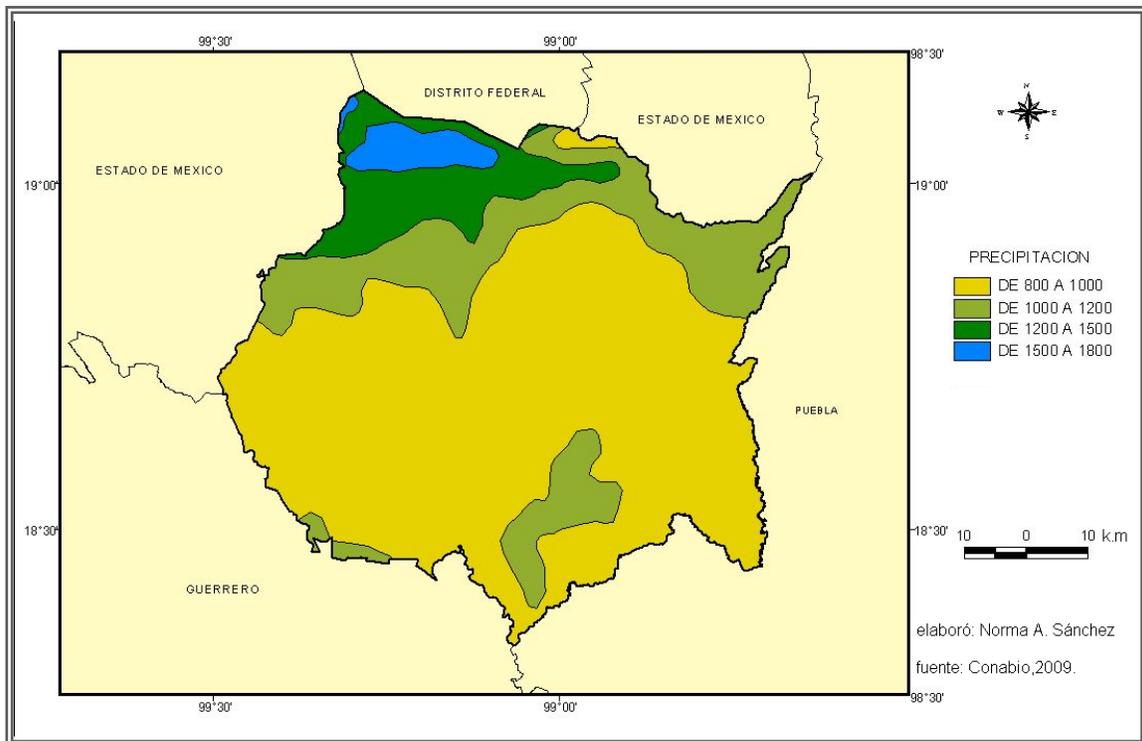


Figura 18.- Mapa de distribución de la precipitación del Estado.

Las primeras precipitaciones se presentan a finales del mes de abril, pero más de 90% de la precipitación total anual se concentra de mayo a octubre; este ciclo anual de la precipitación de verano se caracteriza por alcanzar dos máximos, el primero en el mes de junio y el segundo en septiembre, entre estos meses se observa una disminución de la precipitación a la cual se le conoce como canícula, o sequía intraestival (Figura 19).

La canícula es una característica común de los climas subhúmedos; esta disminución de la precipitación es considerada como uno de los principales riesgos para la agricultura en México.

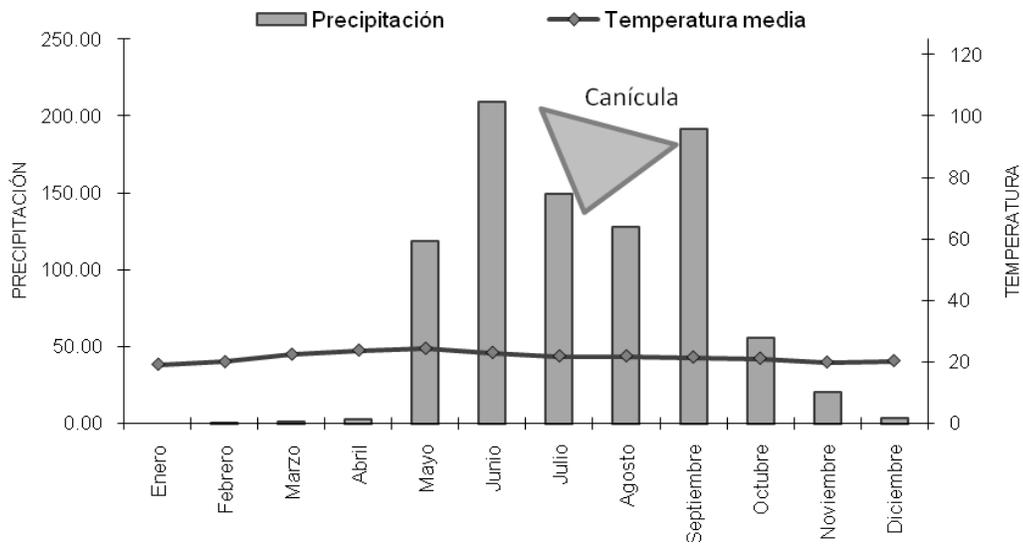


Figura 19.- Temperatura y precipitación media de Morelos.  
Fuente: Clicom, 2007.

En el verano, la cantidad de lluvia excede la capacidad de filtración del suelo, presentándose así escurrimiento superficial dentro del estado, por lo que es muy importante que en la temporada lluviosa la precipitación sea mayor que la evaporación, para que pueda existir un buen período húmedo y, por lo tanto, que la agricultura de temporal tenga buenas cosechas.

La temperatura media anual oscila alrededor de 22.5°; el período en el que se registran las temperaturas medias mas alta es de marzo a junio, y las más bajas de noviembre a enero; no obstante, la oscilación entre la temporada cálida y la fría es relativamente poca.

En la región norte del estado, en localidades como Huitzilac, Tlalnepantla, Tetela del Volcán y Hueyapan, la oscilación anual es menor de 5°C, por lo que se considera una región isotermal. La región centro-sur de Morelos registra una oscilación anual de 5 y 7°C, y en las localidades como Axochiapan, Puente de Ixtla, San Pablo Hidalgo, Tequesquitengo, Xicatlacotla y Yautepec presenta una oscilación térmica superior a 7°C.

La distribución espacial de la temperatura está relacionada con la altitud del terreno (gradiente térmico); las temperaturas más bajas se presentan en la parte norte del estado en una franja que va de este a oeste, llegando a registrarse en los puntos con mayores altitudes temperaturas inferiores a 0° (Figura 20).

La temperatura aumenta gradualmente conforme desciende la altitud; así localidades como Tres Cumbres, Huecahuasco y Apapasco, tienen temperaturas medias anuales comprendidas entre 12 y 18°C; el centro de la entidad conjuntamente con la montaña sur constituye el 60% de la superficie estatal y aquí se registran temperaturas medias anuales entre 22 y 26°C; en la parte sur de la región se presentan temperaturas máximas superiores a 40° C.

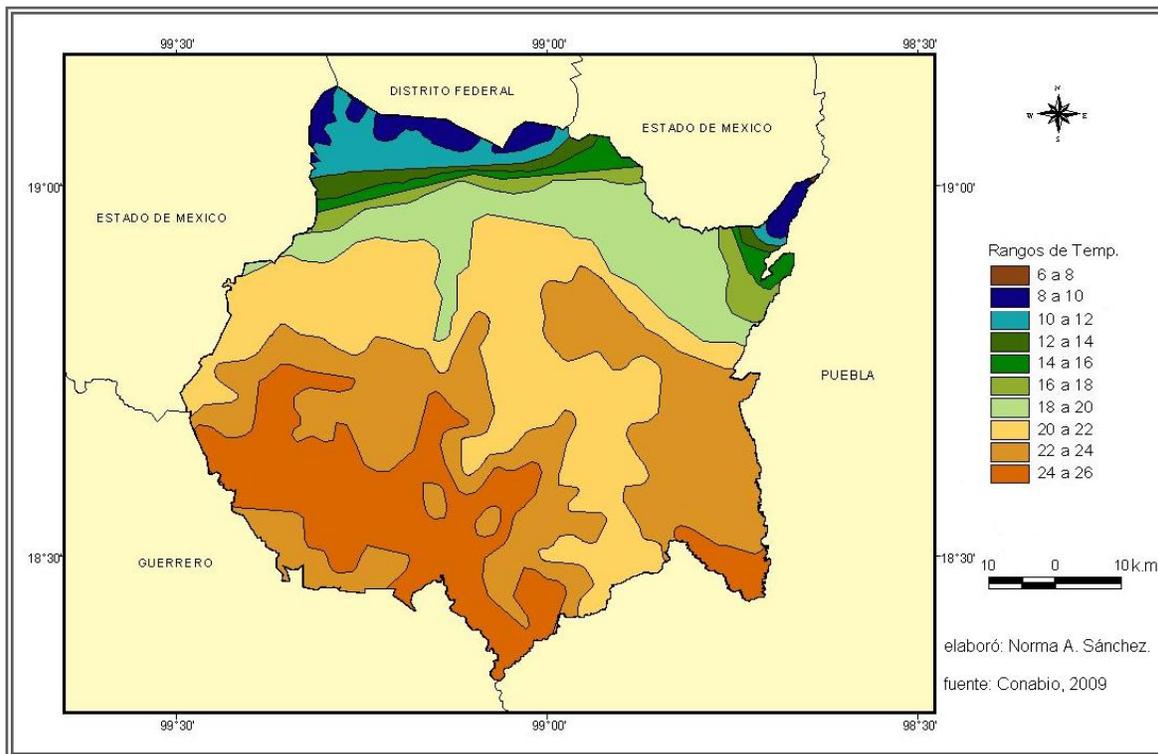


Figura 20.- Mapa de distribución de la temperatura en Morelos.

La marcha anual de la temperatura y la precipitación son elementos de suma importancia para la agricultura, no sólo para satisfacer las necesidades de la planta, sino porque influyen en las actividades previas al cultivo; durante abril y Mayo comienza la mayoría de tareas agrícolas anteriores a la siembra, las cuales consisten en labrar la tierra abriendo surcos, controlar la maleza y romper los terrones para que la semilla quede envuelta en tierra húmeda, entre otras actividades, que son recomendables realizar antes de que inicie la temporada de lluvias.

Una de las causas de la variabilidad anual de precipitación en el estado está relacionada con el ENOS; así, se observa que en la mayoría de los años con presencia de El Niño la precipitación media del estado en general disminuye, mientras que aquellos años con registros más altos de precipitación corresponden a años normales y años Niña.

Las anomalías anuales de precipitación de verano oscilan entre los 250 mm positivos y negativos; el año con una mayor anomalía positiva y por lo tanto, en el que se registró la mayor precipitación fue 1990 y aquél con la mayor anomalía negativa y, por lo tanto, una menor precipitación, corresponde a 1982 (Figura 21).

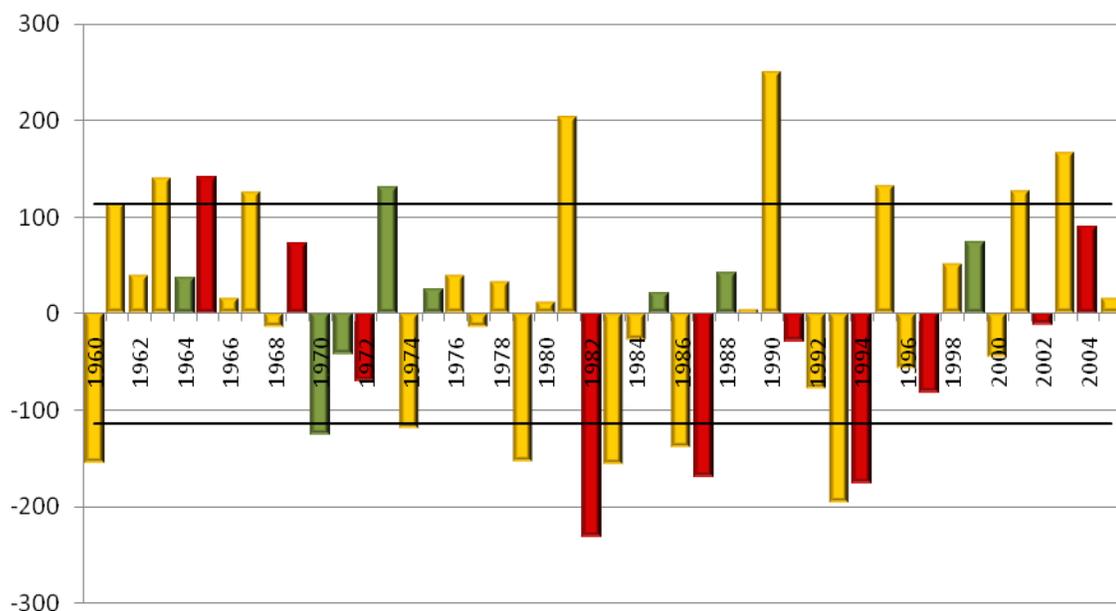


Figura 21.- Anomalías de precipitación en el estado de Morelos.

En color rojo se presentan los años Niño, en verde los años Niña y, en amarillo los años normales, la línea negra continua es el valor de una desviación estándar positiva y negativa.

Si bien en la mayoría de años Niño se observa una disminución en la precipitación, no en todos los casos corresponden a anomalías, es decir, que esta disminución en la precipitación forma parte de la variabilidad natural del clima. Así, de los diez episodios Niño identificados, solo en tres años (1982, 1987 y 1994) se registraron precipitaciones inferiores a una desviación estándar, por lo que sólo estos casos son considerados como años con anomalías negativas de precipitación.

Los cinco años restantes en donde se presentan anomalías negativas correspondientes a 1960, 1979, 1983, 1986 y 1993, pertenecen a años normales; igualmente, aquéllos con anomalías positivas, como son 1963, 1967, 1981, 1990, 1995, 2001 y 2003, son considerados como años normales.

Dada la situación anterior, es importante mencionar que El Niño es sólo una de las causas de la variabilidad anual, ya que existen otros fenómenos atmosféricos que son causa de la variabilidad de la precipitación, por lo que no se puede atribuir al Niño todos los años con disminución de precipitación.

### **3.3.- Uso del suelo.**

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable, el cual está determinado por las condiciones lito-climáticas, el drenaje y la historia geomorfológica del lugar, entre otros elementos.

Debido a los diferentes procesos que participan en su formación, mantiene diversas funciones; tal vez, una de las más conocidas es el suministro de nutrientes para las plantas; sin embargo existen otras funciones como la regulación del sistema hidrológico, que influye en la retención y la pérdida de agua.

Para el caso de la zona de estudio, uno de los principales usos de suelo es el agrícola, especialmente para cultivos de temporal, en donde los cultivos de mayor importancia son el maíz, el frijol, la calabaza y el sorgo, los cuales se concentran en la zona centro y norte del estado, ubicándose muchos de estos cultivos en zonas de barrancas y laderas, sin prácticas de conservación edáficas y en suelos agrícolas de baja productividad (Soto, 2000).

La agricultura de riego se concentra básicamente en el centro del estado, en municipios como Ayala, Tlaltizapán, Jojutla y Puente de Ixtla, siendo la caña de azúcar el cultivo de mayor importancia, seguido de algunas hortalizas como el jitomate.

El uso de suelo urbano se presenta principalmente, en las ciudades de Cuautla y Cuernavaca, en las cabeceras municipales y algunas localidades aisladas ubicadas básicamente en el centro y norte de la región. Considerando las características físicas del valle de Cuernavaca en donde predominan los feozem y los litosoles, la aptitud de estos tipos de suelos es silvícola (selva baja caducifolia); sin embargo, son apropiados también para el uso de suelo urbano, por su bajo nivel de fertilidad (Soto, 2000).

El uso forestal que representa más de 30 % del territorio; corresponde a áreas de bosque que se localizan al norte y en las márgenes de las barrancas que corren de norte a sur, así como a selva baja caducifolia y subcaducifolia. Estas zonas son las que han sufrido un notable decremento, ya que muchas de las prácticas agrícolas y de pastoreo, así como asentamientos humanos han invadido gran parte de zonas forestales, con lo que se ha contribuido considerablemente a su degradación (Figura 22).

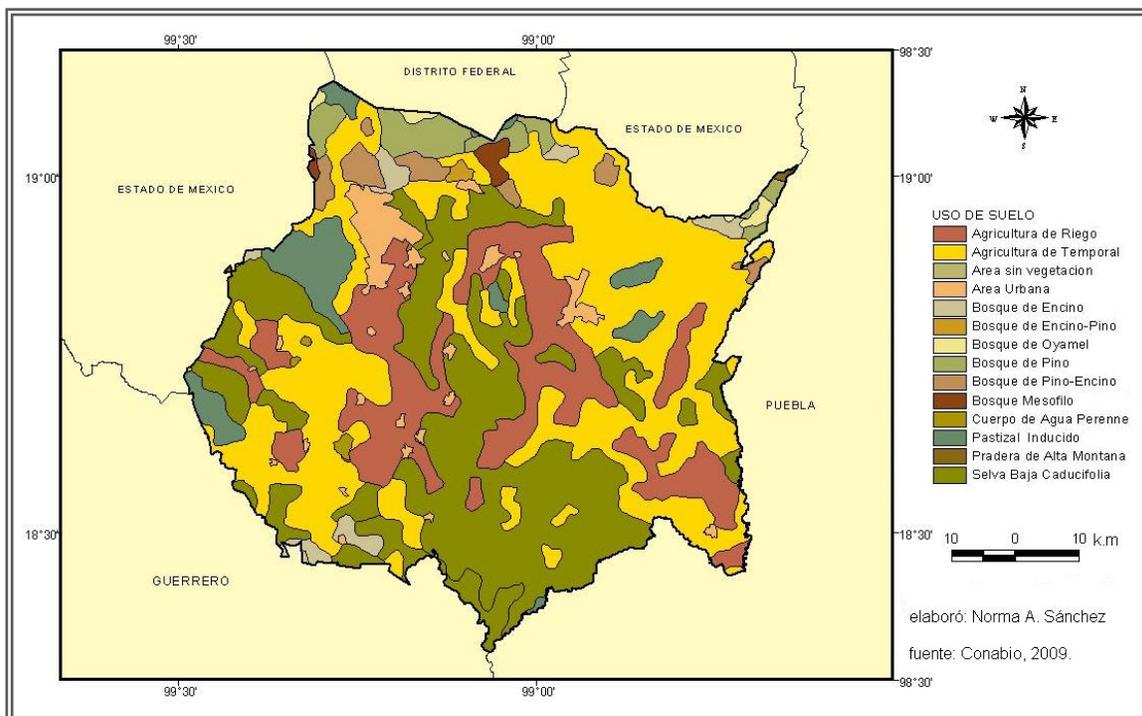


Figura 22.- Principales usos de suelo del estado de Morelos.

Estudios recientes demuestran que 64% de los suelos del país presentan problemas de degradación en diferentes niveles que van de ligera a extrema, y sólo el 26% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen actividades productivas sustentables sin degradación aparente. Para el estado de Morelos sólo el 18.5% de los suelos no tiene problemas de erosión, se trata de planicies profundas en las que se desarrolla la agricultura de riego así como las partes altas de las sierras que todavía tienen bosques más o menos bien conservados (www.conafor).

Las causas de degradación de los suelos varían de un lugar a otro dependiendo de las características geográficas y socioculturales de un lugar determinado, Elvira, J. identifica como principales causas de la degradación de suelos en nuestro país a la deforestación y el sobre pastoreo (www2.ine.gob) (Tabla 5).

Dentro del estado de Morelos, las principales causas de degradación del suelo son;

1. Las prácticas agrícolas inadecuadas y el sobrepastoreo, principalmente de caprinos, en pastizales y áreas forestales.
2. La erosión hídrica, la cual se presenta en las cabeceras de las cuencas hidrográficas sobre pendientes deforestadas y surcos agrícolas descuidados, donde se acumula el agua en la temporada de precipitación; la erosión eólica se acentúa en los lugares desprovistos de vegetación y el suelo se deteriora más con el incremento de la velocidad del viento en época de estiaje, en especial febrero, marzo y abril (Batllori, 2002).

Tabla 5.- Principales actividades que son causa de la degradación de los suelos en México.

Causa	%	Causa	%
deforestación	29%	Extracción de leña	7%
Prácticas agrícolas inadecuadas	28%	Industria y urbanización	1%
Sobre pastoreo	35%		

Fuente: www2.ine.gob.mx/publicaciones.

Los municipios que presentan una mayor degradación de suelo son Miacatlán, Mazatepec y Puente de Ixtla, en los cuales se presentan suelos susceptibles a erosión por rotaciones y asociaciones de cultivos insuficientes, mal trazado de riego con surcos demasiado

largos sin control de caudales principalmente en suelos con pendientes, en los cuales el cultivo de mayor representatividad espacial es el maíz (Soto, 2000).

Existen algunas prácticas de conservación del suelo, como es el caso de las fajas en Tlayacapan, las terrazas en Tlanepantla y los surcos en contorno en Yautepec. Se recomienda la siembra de árboles en las áreas expuestas a la erosión eólica y en las márgenes de los ríos desprovistos de vegetación, conservar el rastrojo para proteger el suelo y la siembra de pastos, en especial cuando las siembras están empezando a desarrollarse y los terrenos se encuentran sin protección cuando llegan las lluvias, lo que aumenta el desgaste de la tierra (Batllori, 2002).

### **3.4.- Actividad agrícola del estado**

La agricultura es una de las actividades económicas de mayor importancia a nivel nacional, tanto por la superficie que se destina a este sector, como por la población ocupada y dependiente de dicha actividad económica. Para el caso de Morelos, aproximadamente 120 mil hectáreas son utilizadas para esta actividad, lo cual equivale a más del 23% de la superficie total estatal. La mayoría de las prácticas agrícolas son de temporal, cultivos que abarcan más de 83 mil hectáreas, equivalente a 74% de la superficie agrícola, por lo que la productividad de la región depende en gran medida de la distribución y cantidad de lluvia que se presente cada año.

Debido a que el régimen de lluvias es de mayo a octubre, la agricultura se concentra en el ciclo primavera-verano, período en el cual se siembran alrededor de 105 mil hectáreas, es decir, más de 89% de la superficie agrícola; el clima húmedo que se presenta en la región generalmente le brinda al agricultor buenas temporadas de lluvias, permitiendo un buen desarrollo de los cultivos (Figura 23).

La superficie siniestrada dentro del estado es en promedio, de 5% para el caso de la agricultura de temporal, mientras que para la agricultura de riego se reduce a 2.17%, sin embargo, debido en parte al incremento de los costos que implica contar con sistemas de riego, así como por la cantidad de precipitación disponible durante el ciclo agrícola, la mayoría de las prácticas agrícolas son de temporal.

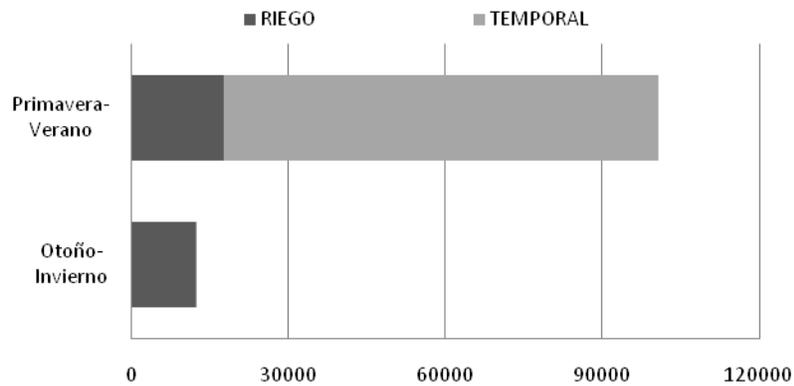


Figura 23.- Superficie (ha) dedicada a la agricultura por ciclo agrícola.  
Fuente: www.siap.gob

Algunos agricultores han recurrido a sistemas de riego con la finalidad de asegurar la disponibilidad de agua, y lograr disminuir el riesgo en los cultivos o, bien, con la intención de obtener cosechas durante el ciclo otoño- invierno, que les permitan mayores ingresos y menor superficie siniestrada, es decir, de superficie que se siembra pero no se cosecha.

En general, las zonas en donde se han implementado sistemas de riego se localizan en el centro del estado, en municipios como Tepalcingo, Jojutla, Cuautla, y Tlaltizapán. Según datos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el tipo de sistema de riego que predomina dentro del estado es el de Compuerta, por lo que la Presa Emiliano Zapata y la Poza, así como el lago de Tequesquitengo son de suma importancia. (Figura 24)

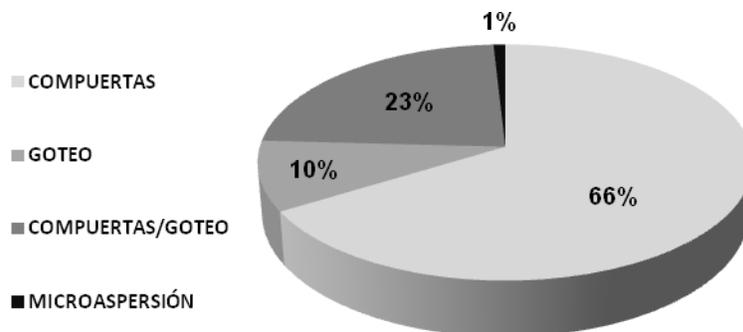


Figura 24.- Tipos de riego dentro del estado de Morelos  
Fuente: www.inta.mx.

El aumento de la superficie siniestrada para los cultivos de temporal, aunado a los menores ingresos de estos cultivos en relación a los cultivos de riego, son algunos de los factores que han originado una significativa diferencia de la superficie sembrada y el valor de la producción de los cultivos de temporal en comparación con los cultivos de riego (Figura 25).

Los ingresos que se obtienen de la agricultura, la falta de tecnología que le permita al agricultor mejorar la calidad de los cultivos, así como los elevados costos de los fertilizantes y abonos (según datos del Congreso Morelense tan sólo del 2007 al 2008, los fertilizantes tuvieron un aumento de más de 100%) entre otros problemas, han originado que la agricultura sea una actividad de tiempo parcial, ya que la mayoría de los agricultores cuentan con otro empleo como fuente principal de ingresos, por lo que deciden invertir cada vez menos en el sector agrícola.

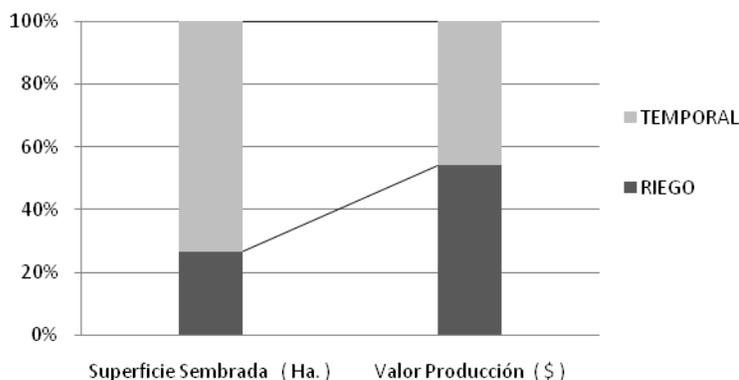


Figura 25.- Superficie sembrada y valor de la producción agrícola, 2005.  
Fuente: www.siap.gob

Uno de los fenómenos socioeconómicos que se ha observado dentro del estado es el aumento de la renta de tierras agrícolas, ya que muchos ejidatarios, han dejado de sembrar y prefieren rentar sus tierras a los campesinos que no cuentan con parcelas propias, los cuales tienen que pagar un promedio de \$600 por “Tarea”, lo cual equivale a 1000m<sup>2</sup>.

Así mismo se observa un incremento en la agricultura para autoconsumo, en donde principalmente se siembran productos de la canasta básica, como son maíz, chile y frijol,

con la finalidad de disminuir los gastos en los alimentos de la familia, y no tanto con el objetivo de comercializar estos productos (Gay, 2000).

Por las condiciones de clima, suelo y relieve que se manifiestan dentro del estado, se presenta una gran variedad de cultivos, en donde el maíz es el cultivo que ocupa una mayor extensión, abarcando 46% de la superficie agrícola total (Figura 26).

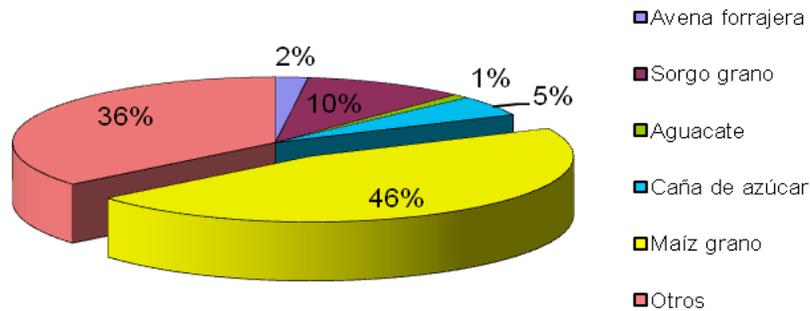


Figura 26. Superficie (%) de los principales cultivos respecto al total de superficie agrícola.

Fuente: [www.siap.gob](http://www.siap.gob)

Otro de los cultivos de mayor importancia es la caña de azúcar, cultivo característico de la agricultura de riego dentro del estado; su importancia radica más en el valor de su producción que en el número de hectáreas sembradas, mientras que sólo ocupa 5% de la superficie sembrada, contribuye con casi 10% al valor total de la producción (Figura 27).

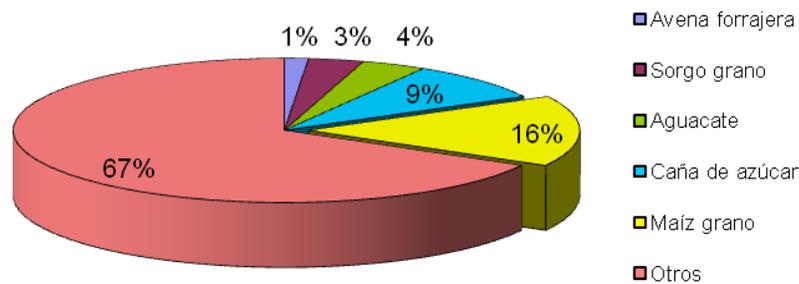


Figura 27.- Contribución (%) de los principales cultivos al valor total de la producción.

Fuente: [www.siap.gob](http://www.siap.gob)

También se cultivan algunos frutos, como son naranjas y duraznos; las primeras se concentran principalmente en el centro de la región, en donde se encuentran las menores

altitudes y los climas cálidos, los segundos se concentran en la parte noreste, en lo que corresponde a los municipios de Zacualpan de Amilpas, Tetela del Volcán y Ocuituco, en donde se presentan las temperaturas frías adecuadas.

Con el propósito de alentar la producción agrícola, algunos gobiernos municipales han implementado programas de apoyo, dentro de los cuales se encuentran la venta a mitad de precio de fertilizantes y abonos; dentro de los apoyos económicos oficiales con los que cuenta la población se encuentran los programas de “crédito a la palabra” y “procampo”, el primero se trata de un préstamo que se le otorga a los agricultores para poder comenzar la siembra, el cual tienen que devolver cuando obtienen los primeros ingresos. Por su parte, procampo consta de apoyos otorgados a los agricultores generalmente al inicio de la siembra para la compra de semillas y fertilizantes; para el estado de Morelos el monto otorgado por procampo en promedio para el período 1994-2008 fue de 720 millones de pesos de los cuales el sorgo y el maíz son los que recibieron la mayor cantidad de recursos (Figura 28).

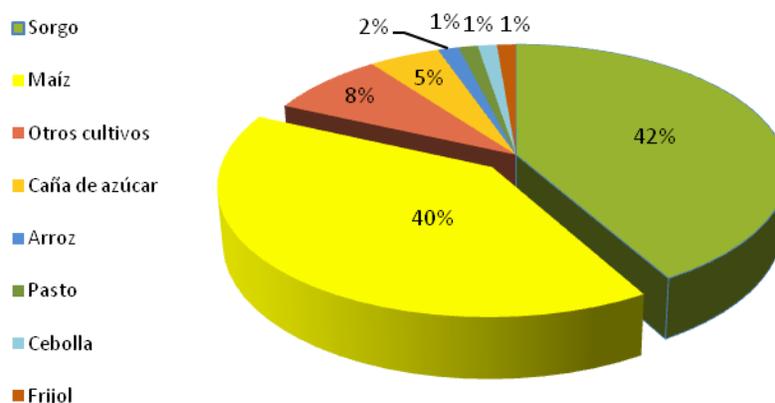


Figura 28.- Apoyos de procampo durante 1994-2008 en el estado de Morelos.  
<http://www.subsidiosalcampo.org.mx>

La producción agrícola se comercializa principalmente en mercados urbanos, ya sea en la ciudad de México o dentro de los mismos municipios; uno de los problemas que presenta la agricultura en el estado es la pérdida gradual de tierras dedicadas a la agricultura, principalmente a causa de la extensión de las zonas urbanas (Ávila, 2004).

**a).- Producción de maíz.**

El maíz es un cultivo originario de México; ha sido el más importante a lo largo de la historia de nuestro país, siendo un producto representativo de la agricultura campesina, además de ser la base alimenticia más importante para la mayoría de la población. Si bien la producción de maíz no indica una contribución muy importante para el PIB, de este cultivo dependen millones de familias (Vega, 2004).

El maíz se desarrolla prácticamente en todo el territorio nacional; del total de la superficie sembrada, más de 40% se dedica a la siembra de este cultivo, superficie que a su vez representa 90% de las tierras dedicadas a la producción de cereales. (Figura 29).

A pesar de la importancia de este cultivo para el sustento de muchos agricultores, la superficie sembrada ha disminuido considerablemente en los últimos años, por lo cual a aumentado la importación de maíz, llegando a representar cerca del 30% del consumo nacional (Galarza, 2006).

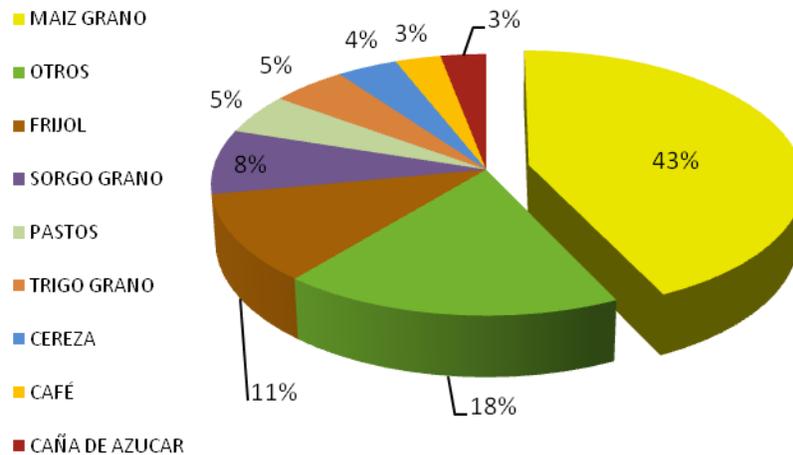


Figura 29.- % de la superficie sembrada para los principales cultivos de México.  
Fuente: www.siap.gob

Este es el cultivo de mayor importancia dentro del estado puesto que abarca más de 45% de la superficie dedicada a la agricultura pero, al igual que en la mayor parte de la República Mexicana, se observa una tendencia negativa en cuanto a la superficie dedicada para este cultivo. Por otro lado se observa una tendencia positiva en cuanto al

rendimiento de la producción, derivado del uso de fertilizantes, abonos, insecticidas y sistemas de riego, entre otros métodos que le han permitido al agricultor mejorar las cosechas; así, el rendimiento promedio a partir de 2000 es superior a las dos toneladas por hectárea, en donde el rendimiento más alto se presentó durante el 2001 y 2004, alcanzando las tres toneladas por hectárea cosechada (Figura 30).

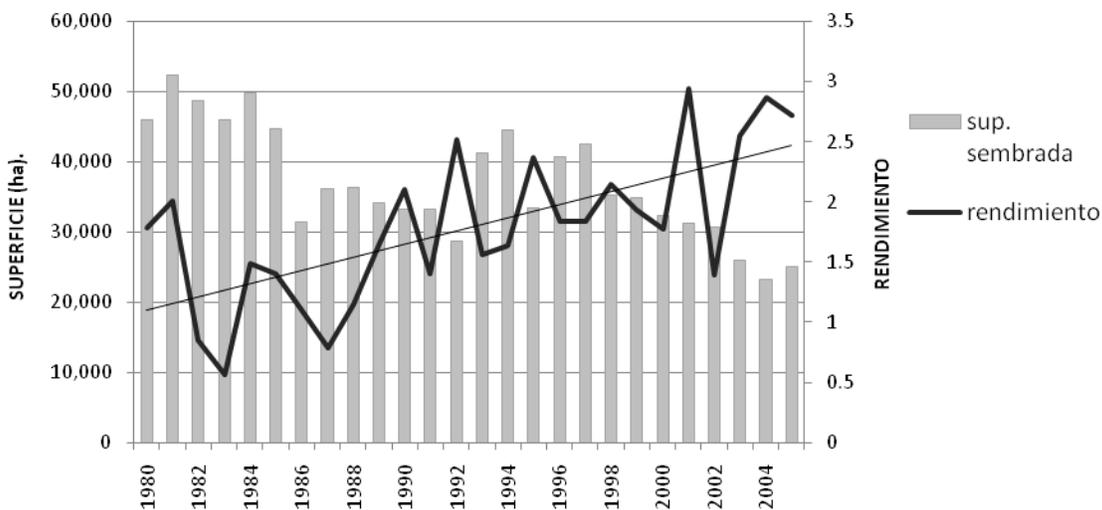


Figura 30.- Producción de maíz dentro del estado de Morelos.

Fuente: www.siap.gob

Pero si bien el uso de fertilizantes y otras estrategias han contribuido a obtener mejores rendimientos y menores daños en los cultivos, éstos también implican un costo extra en la inversión hecha por los agricultores, y que no precisamente garantizan el éxito, o mejores rendimientos de los cultivos. Los costos de fertilizantes y abonos, así como los bajos ingresos recibidos por esta actividad, entre otros factores, desmotivan cada vez más a los agricultores (Soto, 2000).

Una de las estrategias implementadas en el cultivo del maíz para obtener mayores ingresos es la combinación de este con otros cultivos, principalmente de la canasta básica como son frijol y chile, con la finalidad de disminuir algunos gastos en la alimentación, por lo que se ha incrementado la producción de maíz para autoconsumo. Según datos de la Sagarpa (2002), la tercera parte de producción de maíz a nivel nacional no llega al mercado, pero sostiene la alimentación de las familias (Galarza, 2006) (Figura 31).

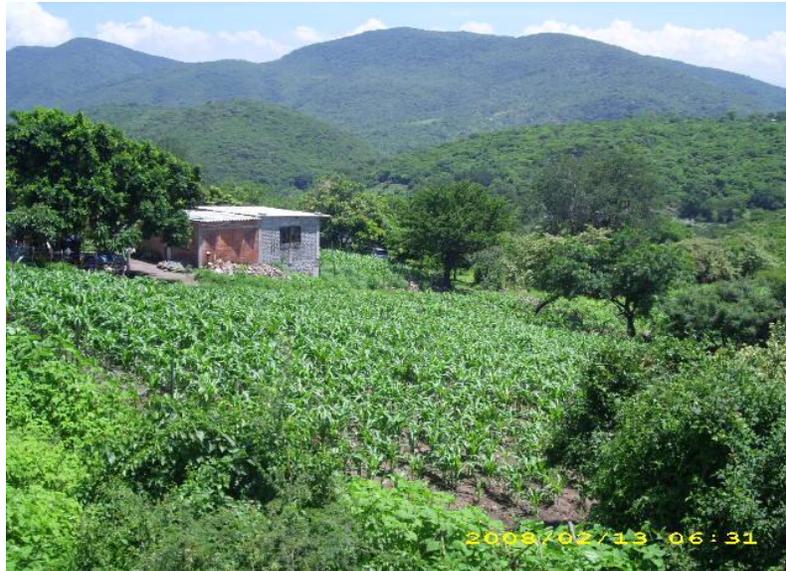


Figura 31.- Producción de maíz para autoconsumo, estado de Morelos.  
Fotografía tomada por la autora, 2008.

Por lo regular, la siembra de maíz comienza durante junio y los primeros días de julio, coincidiendo con el principio de la temporada de lluvias, aunque la tierra se comienza a preparar desde el mes de marzo, cuando se hacen los primeros surcos. Dependiendo de la fecha de siembra así como del uso que se le quiera dar al maíz, sea como elote o mazorca, éste se cosecha a finales de octubre y durante noviembre (Figura 32).



Figura 32.- Preparación de la tierra de labor.  
Fotografía tomada por la autora, 2008.

La cosecha durante octubre, cuando el maíz aún se encuentra tierno, se comercializa como elote, mientras la cosecha de mazorca se hace en octubre y noviembre, cuando el maíz ha madurado completamente; por tradición, para la elaboración de la tortilla, la mayoría de los agricultores cosechan el maíz hasta que ha concluido su ciclo fenológico y se encuentra completamente maduro.

La cosecha de maíz como mazorca implica mayores costos, puesto que se necesita de maquinaria para el desgrane, así como también implica mayor mano de obra para almacenar los granos; este incremento en los gastos, así como el mejor precio en el mercado del elote en relación con el maíz ya desgranado han originado que cada vez más agricultores prefieran comercializar sus productos como elotes.

### 3.5.- Necesidades climáticas del maíz. Ciclo Fenológico.

En México predomina la agricultura de temporal, por lo que las condiciones climáticas y atmosféricas si bien no determinan la producción agrícola, influyen en gran medida sobre la producción y el rendimiento de los diferentes cultivos.

El maíz es un cultivo que requiere de una gran cantidad de agua, según información de la FAO, la precipitación óptima para la producción de este grano es de 800 milímetros en sumatoria a lo largo de todo el período vegetativo; no obstante, se puede producir con una precipitación mínima de 500 mm y máxima de 1500 mm. En cuanto a las necesidades de temperatura para el desarrollo del maíz, la temperatura optima oscila alrededor de los 25 grados, pudiendo desarrollarse con temperaturas que van de los 14 a los 30 grados centígrados (Tabla 6).

Tabla 6.- Necesidades climáticas del maíz.

Nombre científico	Ciclo Min.	Ciclo Max.	Tem. Min	Tem. Opt	Tem. Max	Prec. Min	Prec. Opt	Prec. Max
<i>Zea mays s. mays</i>	80	365	14	25	30	500	800	1500

ECROPS, FAO

Dadas las condiciones anteriores, se observa que el estado de Morelos cuenta con las características climáticas apropiadas para la producción de maíz, ya que la temperatura media del estado es de 23° C, y el promedio de precipitación de 890 mm, parámetros que cumplen las necesidades de temperatura y precipitación cercanas a las necesidades óptimas para el desarrollo de la planta, lo cual puede explicar la relativamente baja superficie siniestrada que se presenta en el estado.

Cabe mencionar que tanto las necesidades hídricas como las de temperatura varían de una fase vegetativa a otra; en cuanto a la precipitación, se requiere menos cantidad de agua cuando las plantas comienzan a nacer, siendo necesario que se mantenga una humedad constante; por otro lado la fase de floración, que es cuando más cantidad de agua se requiere, puede ser considerada como el periodo más crítico, porque de ella va a depender la cantidad de producción obtenida.

En general, el desarrollo del maíz puede dividirse en las siguientes fases fenológicas:

1. Germinación o emergencia.- Esta es la primera fase y debe de coincidir con el inicio de la temporada de lluvias. Durante esta etapa se necesitan de temperaturas mayores a los 10° C, ya que temperaturas inferiores pueden inhibir el proceso de germinación; es la etapa con los menores requerimientos hídricos, siendo necesarios 45 mm. Dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura que se presenten, esta fase puede durar entre cinco y diez días.
2. Crecimiento vegetativo.- Durante esta etapa aumenta la transpiración, y la evaporación, por lo que durante este periodo las necesidades hídricas aumentan, siendo necesarios 170 mm, y un mínimo de temperaturas de 15° C. Esta fase varía de 45 a 65 días en altitudes que van de 0 a 1400 m.s.n.m y de 90 a 125 días en zonas de altiplano (flores 1985).
3. Floración.- Esta etapa es considerada como la fase reproductiva, durante la cual se necesita que las temperaturas diarias oscilen entre los 20° y 30°; así mismo, las necesidades de agua aumentan en donde se necesitan 220 mm para un desarrollo óptimo; esto es afectado a menudo por la presencia de la canícula, la cual disminuye los rendimientos del cultivo y, por lo tanto, la productividad.

4. Estado lechoso.- Algunos autores consideran esta fase fenológica parte de la maduración, pues ya se dio el llenado de grano, pero las hojas que envuelven la mazorca aun se mantienen verdes; durante esta fase, el maíz se puede consumir como elote.

5. Madurez.- En esta etapa los requerimientos de agua disminuyen siendo necesarios 90 mm, por lo que las precipitaciones excesivas pueden afectar al cultivo. Esta etapa en promedio dura 30 días, pero puede variar de 15 a 45 días dependiendo de la temperatura que se presente (Flores 1985).

Según datos de los boletines de variedades recomendadas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), dentro del estado de Morelos, en donde en promedio se cultivan variedades de 120 días, regularmente se siembra a partir de mediados de junio y la primera semana de julio; la emergencia se da durante julio y la maduración en octubre, por lo que generalmente se cosecha durante noviembre y diciembre. (Figura 33)

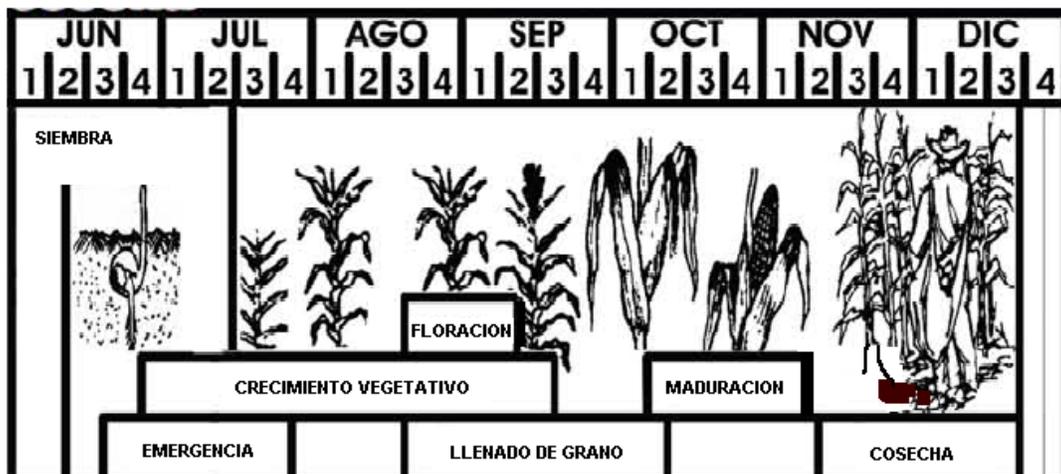


Figura 33.- Fases fenológicas del maíz.  
<http://www.producemorelos.org>

Si bien el maíz es un cultivo que requiere una gran cantidad de agua, la precipitación óptima para obtener una mejor producción se mide en el total a lo largo de todo el periodo vegetativo, pero es importante mencionar que más que una elevada precipitación, lo que necesitan los cultivos es que la lluvia esté bien distribuida, especialmente en aquellos períodos en donde las necesidad de agua aumentan o disminuyen.

En la figura 34 se observa que en el estado el promedio de precipitación mensual para cada una de las fases fenológicas cumple con las necesidades hídricas del maíz; no obstante, durante la floración se observa un déficit de precipitación a causa de la canícula. Cabe mencionar que la precipitación para el estado es el promedio de precipitación de 1960 al 2005, por lo que existen años en donde se cumplen completamente las necesidades del cultivo.

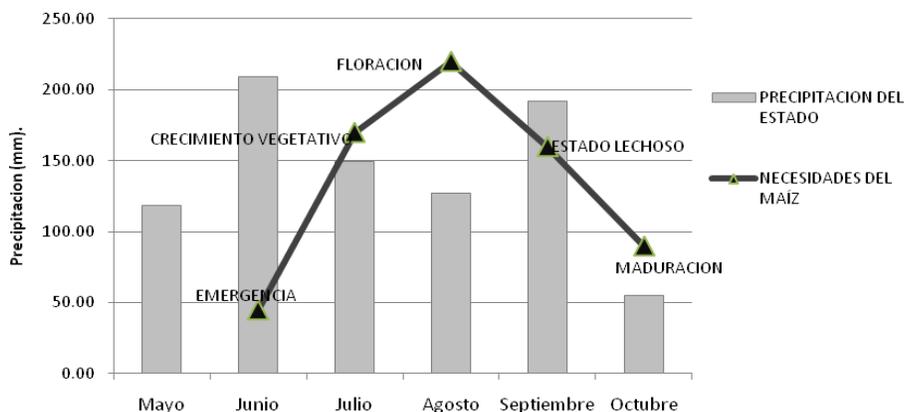


Figura 34.- Necesidades hídricas del maíz en comparación con la precipitación media del estado de Morelos.

Es necesario destacar que un aumento de la precipitación no necesariamente produce un efecto positivo en el cultivo; más lluvia puede impedir el aprovechamiento óptimo del nitrógeno del suelo, lo que puede provocar disminución en el rendimiento total del cultivo. A su vez, el encharcamiento del suelo durante la floración, puede reducir hasta un 40 % del rendimiento de este cultivo (Gay, 2000).

### 3.6.- Riesgos climáticos para el maíz.

La producción de maíz es muy importante para la población rural; este cultivo se practica bajo las más diferentes condiciones agroclimáticas, con diferencias tecnológicas que van desde la producción de temporal que obtiene los rendimientos más bajos, hasta los sistemas de riego y semillas mejoradas con los que se pueden llegar a obtener de 12 a 14 toneladas por hectárea. (Ramírez, 2004)

Los rendimientos y la superficie siniestrada que se presentan cada año, son indicadores de que este cultivo no se desarrolla fundamentalmente para su comercialización. Además; se cultiva en áreas en donde no existe aptitud para ello, tanto en el ámbito climatológico como en el de suelos y pendientes, lo que en parte explica las pérdidas en las cosechas y los bajos rendimientos en más de la mitad del territorio nacional (Gay, 2000) (Figura 35).



Figura 35.- Cultivo de maíz en el estado de Morelos  
Fotografía tomada por la autora, 2008.

En el periodo de 1982 al 2000, el promedio de superficie siniestrada en el país fue de 13.3%, alcanzando un máximo en 1996 con 33.4%; los índices más altos de siniestralidad se presentan en el ciclo primavera-verano; tan sólo en el periodo de 1990-2000, entre 20 y 30% de la superficie sembrada durante este ciclo resultó en siniestros (Vega, 2004).

Las causas de siniestros en la producción de maíz son variadas, pero las principales están relacionadas con el clima; entre los principales fenómenos meteorológicos que son causa de superficie siniestrada se encuentran las sequías, las heladas, las granizadas, las lluvias intensas y las inundaciones (Granados, 2004) (Figura 36).

Pero las causas de siniestros en la producción de maíz varían de una zona a otra, Gómez, (2002) identificó los principales riesgos, dependiendo de la región del país, de la siguiente manera:

- La región noroeste del país es vulnerable a sequías y heladas en primer término y después a incendios forestales, granizadas e inundaciones.
- La altiplanicie septentrional y meridional (el estado de Morelos se encuentra dentro de esta última región) padece de granizadas, heladas, lluvias intensas, inundaciones, sequías e incendios forestales.
- La región occidente y sur es vulnerable a lluvias intensas e inundaciones y, en menor grado, a incendios forestales y sequías.
- En la región costera se presentan en orden de importancia, lluvias intensas, inundaciones, incendios forestales y sequía.
- En la región de Chiapas se presentan lluvias intensas, inundaciones e incendios forestales.
- Por último, la región de la Península de Yucatán puede llegar a ser vulnerable a las sequías y también a la ocurrencia de incendios forestales.

El impacto de los diversos eventos que afectan al maíz, puede variar según la fase fenológica en la que se encuentre el cultivo; así, cuando una sequía ocurre durante el establecimiento del cultivo, las plántulas mueren, su población se reduce y el cultivo no puede compensar el efecto de la sequía, aun cuando las lluvias sean adecuadas en el resto de la estación.

La canícula en la época de floración tiene un importante efecto sobre el rendimiento, aparentemente porque reducen el número de granos por planta a causa de dificultades en la polinización o porque los óvulos fertilizados detienen su crecimiento. El maíz es muy sensible al exceso de humedad en el estado de plántula cuando el punto de crecimiento está por debajo del nivel del suelo.

Las altas temperaturas tienen un efecto directo sobre la polinización del maíz ya que la viabilidad del polen se reduce en forma importante por encima de temperaturas de 35°C; dado que el derrame del polen ocurre en las primeras horas del día, las temperaturas a esa hora difícilmente llegan a un nivel que pueda causar daño (Westgate, 1994).

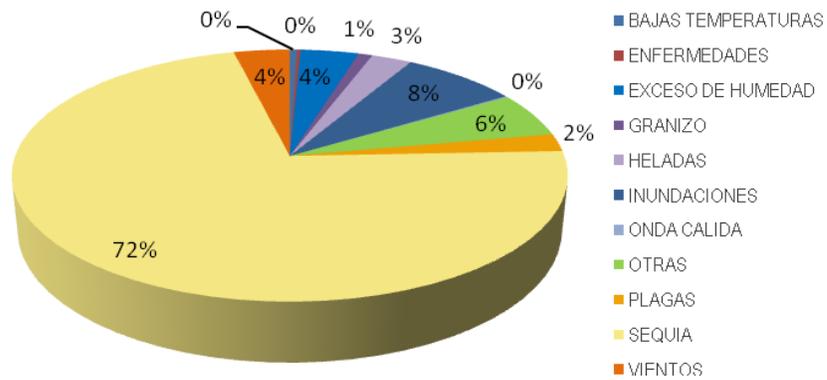


Figura 36.- Principales causas de siniestros en el maíz en México, periodo 2001-2005.

Las lluvias extremas que resultan en encharcamiento del suelo están asociadas a una menor absorción de nutrientes; la absorción del nitrógeno se reduce por la rápida denitrificación de los nitratos; altas aplicaciones de nitrógeno pueden compensar en algunos casos los efectos de las lluvias extremas. Una precipitación total de 150 mm que cae sólo en uno o dos días puede implicar un nivel de lluvias gravoso e ineficaz (Singh, 1980). (Figura 37)

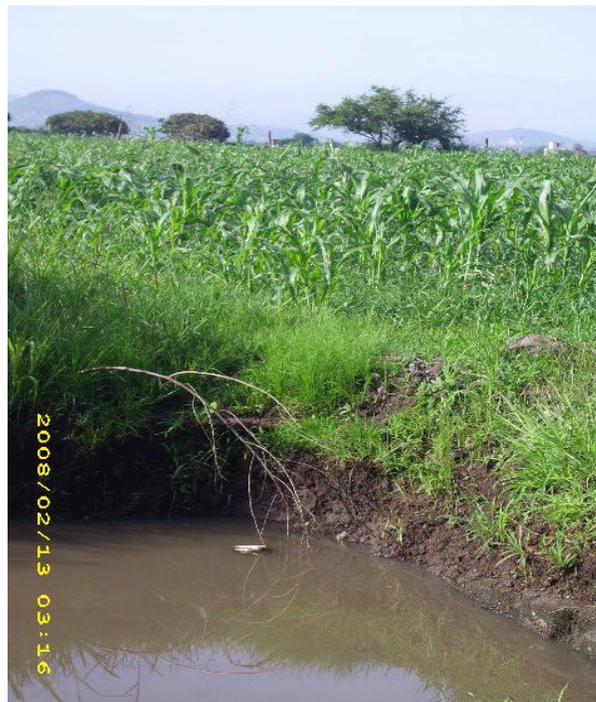


Figura 37.- Encharcamiento del suelo durante la producción de maíz. Fotografía tomada por la autora, 2008.

Muchos de los estudios sobre el impacto del exceso o falta de la lluvia en el sector agrícola, se basan en la cantidad de precipitación anual, pero hay que mencionar que lo más importante para la agricultura, principalmente la de temporal, es que la precipitación se encuentre bien distribuida (Tiscaraño, 2008).

El campo es vulnerable a las variaciones del tiempo y del clima. A través del Programa del Seguro Agropecuario, el gobierno federal apoya a los productores que contratan un seguro a través de aseguradoras privadas, otorgándoles un subsidio a fin de cubrir parte del costo de las primas. El Sistema Nacional de Aseguramiento al Medio Rural está integrado por las aseguradoras y fondos que prestan directamente el servicio de aseguramiento conjuntamente con Agroasemex, institución que canaliza los recursos financieros, junto con las Secretarías de Hacienda y Sagarpa (Galarza, 2006).

La superficie asegurada en promedio de maíz durante el periodo 1996-2006 fue de 550 mil hectáreas, lo que representa más de la tercera parte de la superficie asegurada total correspondiente a los diez principales cultivos agrícolas cubiertos por agroasemex. Para el caso de Morelos, durante el mismo periodo, la superficie asegurada de maíz fue en promedio de 13,000 hectáreas, lo que representa cerca de 15% de la superficie anual sembrada de este cultivo, para lo cual se destinan \$7,000,000, aproximadamente 40% de los recursos otorgados por Agroasemex para la entidad (Galarza, 2006).

## Capítulo 4.- EFECTOS DE LAS LLUVIAS EXTREMAS EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DEL ESTADO DE MORELOS

### 4.1.- Eventos históricos de lluvias extremas

Existen diferentes metodologías y conceptos para definir e identificar a las lluvias extremas; para este trabajo se optó por utilizar los términos de referencia del Fonden para la tipificación de dichos eventos; así, se consideró como una lluvia extrema a los valores de precipitación diaria que fueran superiores a 90% de las precipitaciones máximas de acuerdo con los datos históricos disponibles para el mes en cuestión (Diario Oficial, 27 de Mayo del 2009)

Los valores de precipitación diaria a partir de los cuales se puede considerar una lluvia extrema se obtuvieron mediante la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) Gamma, para la cual se utilizaron datos de precipitación diaria superiores a 0.1 mm y, posteriormente, se dividió la distribución gamma en percentiles; de acuerdo con los términos de referencia del Fonden se utilizó el percentil 90 para identificar los umbrales de lluvias extremas durante el verano (mayo a octubre), estos valores se muestran en la tabla 7.

Tabla 7.- Umbrales de precipitación extrema obtenidos mediante la FDP Gamma. Unidades en mm.

	ESTACION	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
17001	ATLATLAHUCAN	40.2	50.0	45.8	43.9	51.5	39.5
17005	CUAUTLA	32.0	48.1	41.8	36.8	42.5	35.0
17006	EL RODEO	46.3	55.3	50.5	52.5	55.4	37.4
17007	HUAJINTLAN	39.0	52.7	52.5	55.1	49.5	38.5
17014	TEMIXCO	33.0	48.5	40.1	41.9	48.2	40.3
17015	TEPALcingo	34.9	46.7	48.8	48.4	46.15	43.0
17020	TLACOTEPEC	38.4	47.5	40.1	43.2	44.8	33.2
17024	YAUTEPEC	35.0	50.6	42.0	41.2	48.7	44.3
17026	LA VICTORIA	31.3	48.1	39.2	45.6	38.2	40.9
17033	XICATLACOTLA	38.5	44.1	37.8	39.9	39.8	40.1
17047	HUITZILAC	33.5	56.8	54.7	63.4	53.7	42.9

Con base en los umbrales obtenidos se identificaron para cada estación los registros de precipitación diaria que fueran superiores a los valores de la tabla 7, lo cual se realizó para el periodo 1960-2005; esta información permitió identificar los años y lugares con una mayor cantidad de lluvias extremas, así como la importancia de estos eventos respecto a la cantidad de precipitación disponible (Anexo 3).

Para el caso del estado de Morelos en promedio se presentaron diez lluvias extremas para cada año del periodo 1960-2005; los años en donde se registró una mayor cantidad de estos eventos corresponden a 1962, 1990 y 1995 en los cuales se tiene un total de quince lluvias extremas, encontrándose por arriba de una desviación estándar, por lo que se podrían considerar como años con anomalías positivas en cuanto la ocurrencia de lluvias extremas. Los años con un menor registro de estos eventos corresponden a 1970, 1979 y 1986, en los cuales el total de lluvias extremas fue inferior a seis eventos, siendo éstos inferiores a una desviación estándar (Figura 38).

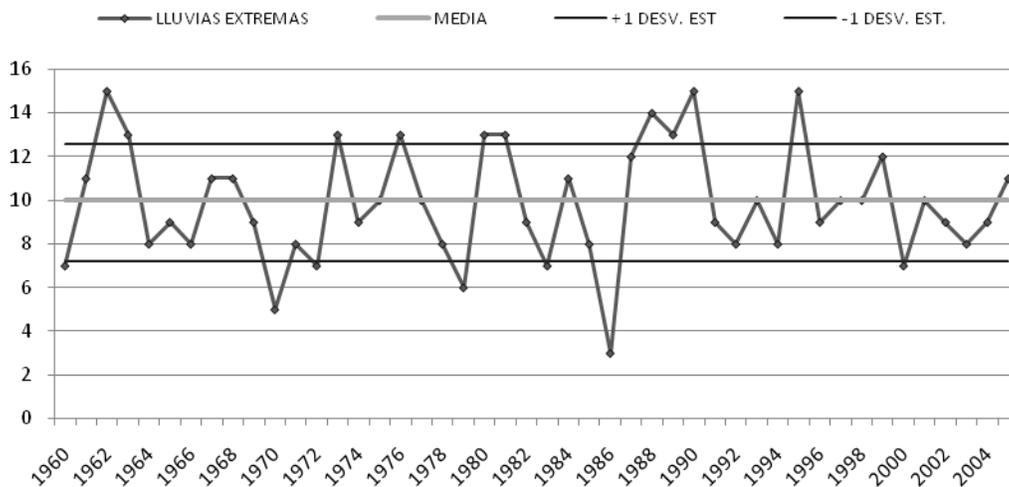


Figura 38.- Total de lluvias extremas durante los meses de mayo a octubre en el periodo 1960-2005.

La variabilidad anual de la precipitación influye en el aumento o disminución de eventos de precipitaciones extremas, en donde el coeficiente de correlación entre estas variables es de 0.55, mientras el coeficiente de determinación es de 0.35, lo cual indica que 35% de los eventos de lluvias extremas está explicado con base al total de precipitación anual de mayo a octubre; dado que la relación entre estas variables es positiva, una mayor precipitación implica un aumento de lluvias extremas (Figura 39).

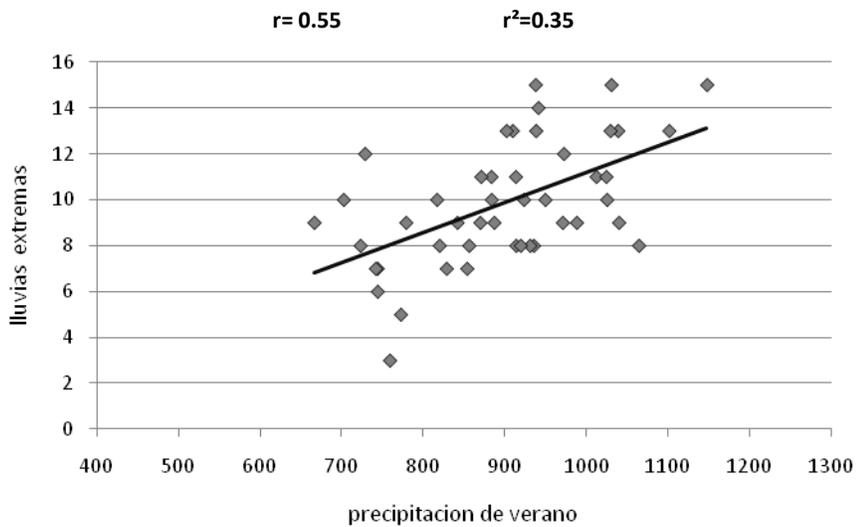


Figura 39.- Coeficiente de correlación y determinación entre la precipitación de verano con los eventos de precipitaciones extremas.

Como se observa en la Figura 40, los años con una precipitación mayor a la media como son 1973, 1981, 1990 y 1995 en los cuales la precipitación fue superior a 1000 mm, también corresponden a años con lluvias extremas superiores a la media registrándose más de doce eventos extremos; mientras los años con una menor precipitación; 1960, 1970, 1979 y 1986, en los cuales la precipitación fue inferior a 800 mm, también se registró un menor número de lluvias extremas, siendo éstas menores a ocho eventos durante cada año.

Con base en la ubicación de las estaciones climáticas, así como a la orografía y distribución de climas (Conabio, 2009), se realizó un mapa de registros de lluvias extremas y otro de; los umbrales de precipitación extrema obtenidos mediante la FDP Gamma, con la finalidad de identificar las zonas en donde se registran más lluvias extremas, así como la variabilidad en la cantidad de precipitación con la que estos eventos se presentan.

Los umbrales de lluvias extremas se obtienen en relación a los datos de precipitación diaria para cada mes; por lo que, se tomó como referencia el mes de junio para identificar la variabilidad en la cantidad de lluvia a partir de la cual un evento fue considerado como extremo, dado que es durante este mes cuando se registra la mayor precipitación y, por lo tanto los umbrales de lluvias extremas son relativamente altos.

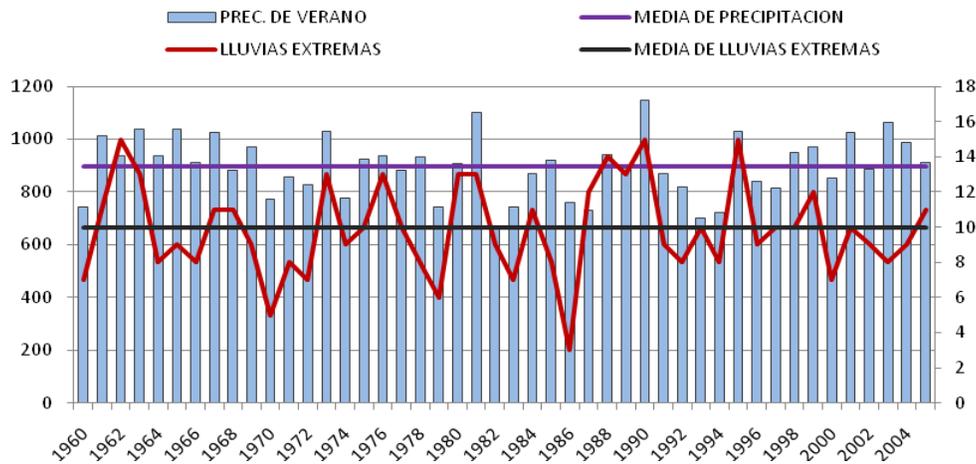


Figura 40.- Total de eventos de precipitación extrema y precipitación media del estado de Morelos (Unidades en mm). Fuente; Clicom, 2009.

Se encuentra que los valores extremos de precipitación diaria oscilan entre los 44 mm registrados en la estación de Xicatlacotla en el municipio de Tlaquiltenango, hasta lluvias mayores a 57 mm registradas en la estación de Huitzilac, ubicada en la región norte del estado. (Figura 41)

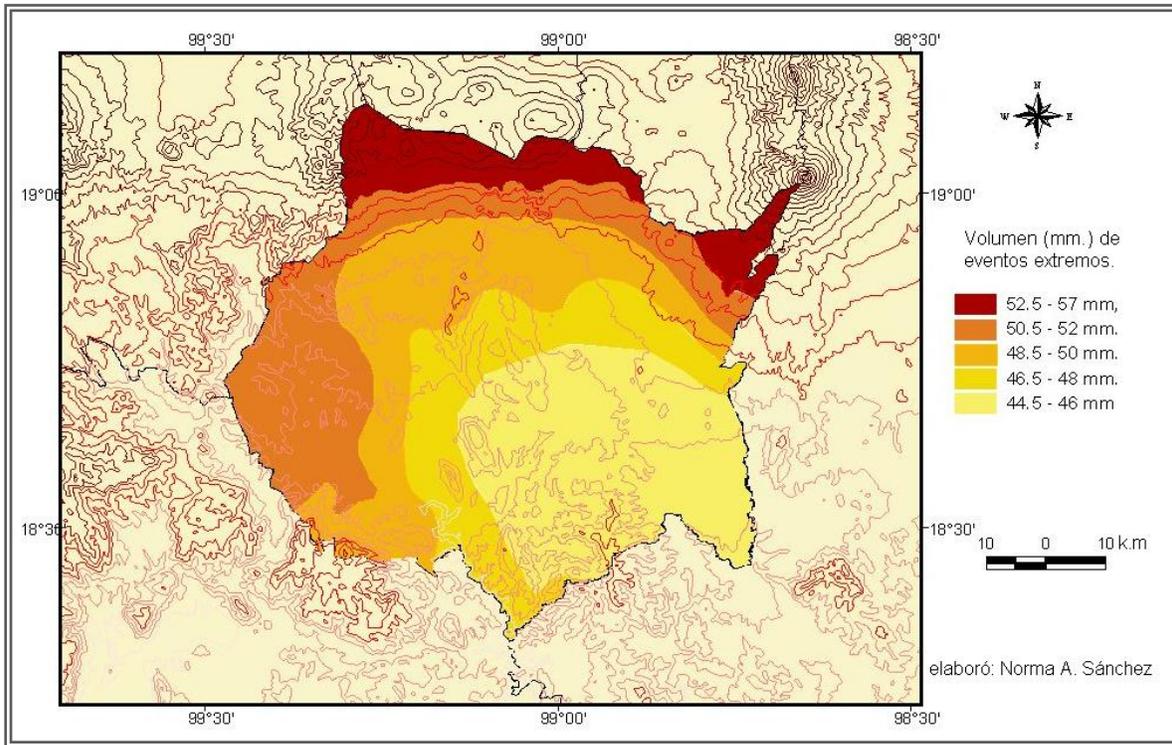


Figura 41.- Umbrales de precipitación extrema durante el mes de Junio.

La distribución espacial de los valores extremos para las estaciones consultadas muestra que en la región norte del estado, en donde la precipitación media es más alta, los extremos son de mayor magnitud y conforme disminuye la precipitación al sur del estado también disminuyen los umbrales de lluvias extremas.

Así mismo, existe una correspondencia entre la ubicación de las estaciones y el número de lluvias extremas que se registran; como se observa en la Figura 42, la mayor cantidad de lluvias extremas se presenta en la región norte del estado, en lo que corresponde a las laderas de la sierra del Chichinautzin y del volcán Popocatepetl, que son aquéllas en donde se registra una mayor precipitación media y que, a su vez, comprende las mayores altitudes, en donde el factor orográfico constituye un elemento importante en la intensificación de la actividad convectiva.

Mientras tanto las estaciones que registran una menor cantidad de estos eventos se localizan al sur del estado y corresponden principalmente a las estaciones de Xicatlacotla y Tepalcingo, en donde la altitud de la zona disminuye y la precipitación media es relativamente menor en comparación con el resto de la región (Figura 42).

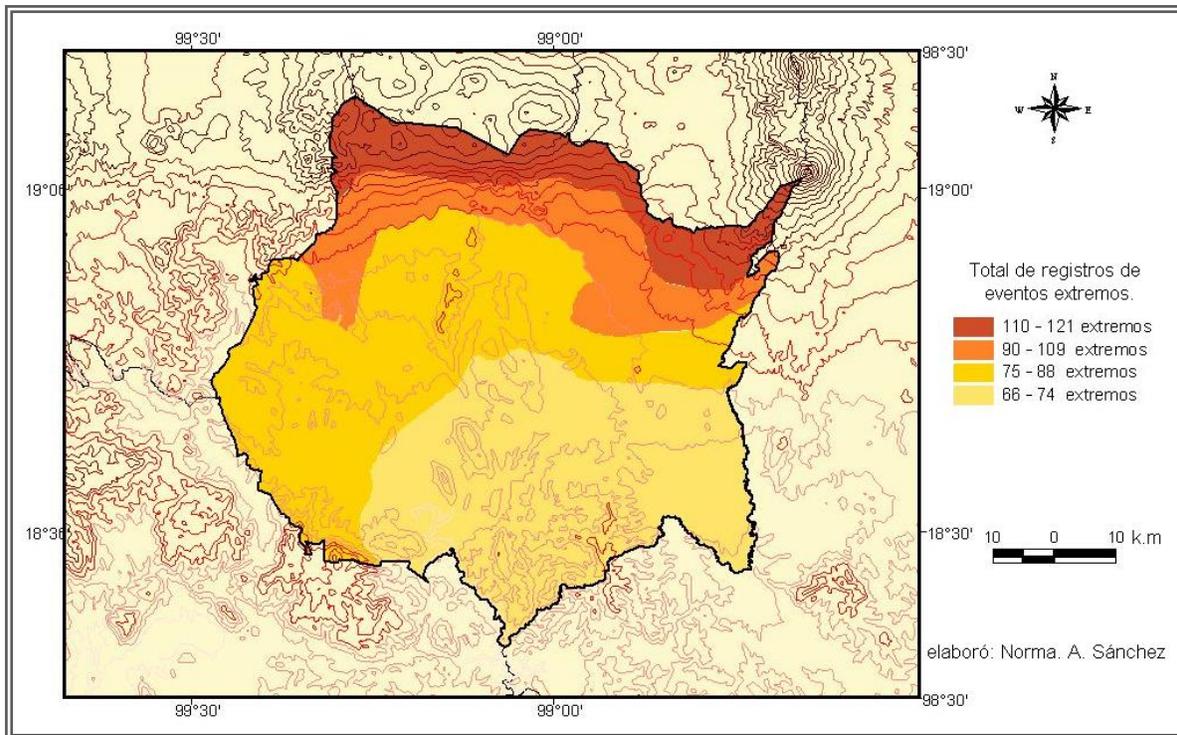


Figura 42.- Total de eventos de precipitaciones extremas registrados en el periodo 1965-2005.

Como se observa en las figuras 41 y 42 en las estaciones en donde se registra una mayor precipitación, tanto el número de eventos como la cantidad de precipitación con la que se presentan las lluvias extremas también aumenta. Algunos autores como Cabazos *et al.* (2008), sugieren que la correspondencia entre un mayor número de lluvias extremas con el total de precipitación se debe a que mayores días con lluvias también representan una mayor probabilidad de ocurrencia de dichos eventos.

Las lluvias extremas de precipitación diaria presentan un ciclo anual que refleja la evolución temporal de la precipitación; así, al igual que se observa una relación de acuerdo con el número de lluvias extremas con la variabilidad anual de la precipitación, también existe una relación entre las lluvias extremas con la variabilidad estacional de la precipitación.

Dado lo anterior se observa que el registro de lluvias extremas es mayor durante los meses que presentan la mayor precipitación mensual, mientras que en los meses en donde se registra una menor precipitación también disminuye la probabilidad de que ocurran dichos eventos.

Así, en la Figura 42 a, que corresponde a la estación Atlatlahucan, se muestra que la mayor precipitación se presenta en el mes de junio, siendo ésta superior a 200 mm; igualmente se ha registrado la mayor cantidad de lluvias extremas durante este mes, siendo el total de 18 registros durante el período 1960-2005; la precipitación disminuye durante la canícula, que en este caso abarca los meses de julio y agosto, en los cuales se registra una precipitación media mensual de 180 mm e igualmente se presenta una disminución en la cantidad de eventos de precipitación extrema; siendo éstas de diez y doce eventos, respectivamente para cada mes.

En la estación “La Victoria” del municipio Zacatepec, donde se presenta una canícula relativamente más corta al caso anterior que abarca únicamente el mes de julio, en donde se registra una precipitación media mensual de 170 mm, se ha registrado un total de diecisiete lluvias extremas; mientras, durante agosto, cuando la precipitación aumenta a 200 mm en promedio, también se observa un aumento en los registros de eventos extremos, el cual corresponde a un total de 22 eventos para el período 1960-2005. (Figura 42, b)

A pesar de que el ciclo anual de la precipitación es diferente para las estaciones consultadas, se observa que la cantidad de lluvias extremas está relacionada con la variabilidad estacional de la precipitación. Ante esta relación se menciona que las lluvias extremas influyen sobre la cantidad de agua disponible para las diferentes actividades socioeconómicas, incluidas la

agricultura. Para el estado de Morelos en promedio la precipitación acumulada durante las lluvias extremas contribuye aproximadamente con 15% de la precipitación total.

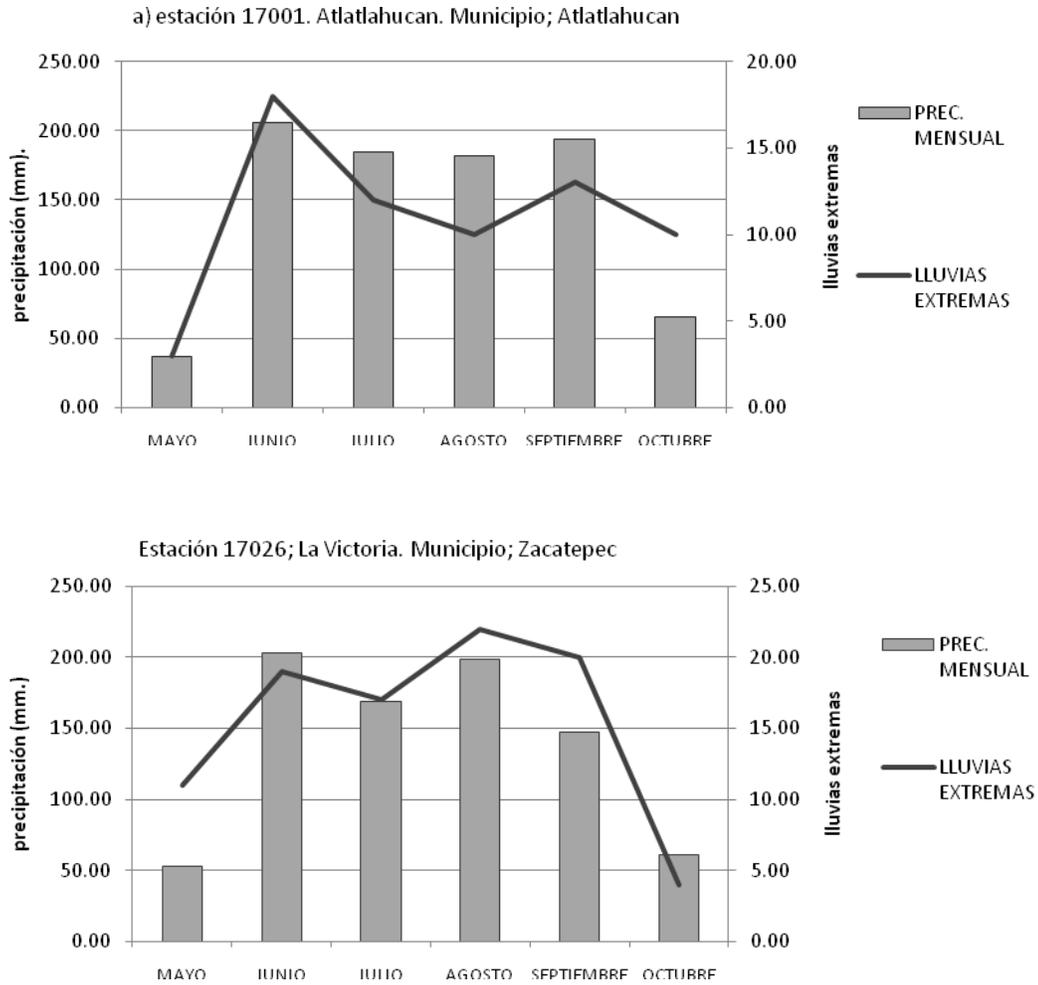


Figura 42.- Precipitación media mensual y total de eventos extremos registrados en el período 1960-2005.

El porcentaje de contribución por la lluvias extremas varía de un año a otro; así el año en donde estos eventos tuvieron una mayor aportación a la precipitación total corresponde al 2005, en donde las lluvias extremas representaron 23.5% de la precipitación total de ese año, seguidos en orden de importancia por 1988, 1995 y 1980, en donde la precipitación por lluvias extremas representó respectivamente 20, 19.5 y 18.5 % de la precipitación total de verano para cada uno de los años mencionados (Figura 43).

Los eventos de lluvias extremas fueron menos significativos en; 1970, 1979 y 1986, años en los que éstas contribuyeron con menos de 6% a la precipitación total. Se puede sugerir que un mayor porcentaje de aportación de la precipitación originada por lluvias extremas representa una mayor concentración de la precipitación en menos días, lo cual no necesariamente beneficia a los cultivos, mientras que una menor aportación de las lluvias extremas se puede relacionar con una mejor distribución de la precipitación en un mayor número de días.

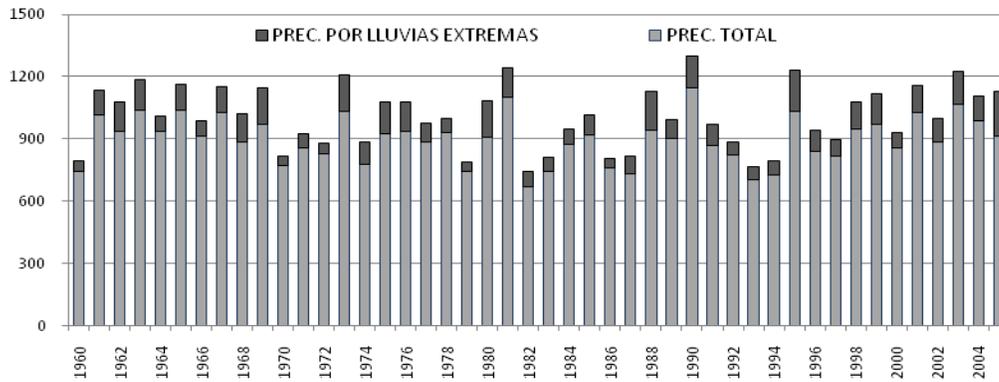


Figura 43.- Contribución de las lluvias extremas a la precipitación total de verano.

La precipitación por lluvias extremas es parte de la variabilidad climática natural; no obstante, se observa que esta aportación ha aumentado pese a que no se presenta un incremento en la cantidad de lluvias extremas que se presentan cada año. En la figura 44, se muestran tanto el número total de lluvias extremas, como la precipitación originada por éstas durante el período 1960-2005, mientras para las lluvias extremas no se aprecia ninguna tendencia, para el caso de la precipitación por estas lluvias se muestra una tendencia positiva (Figura 44).

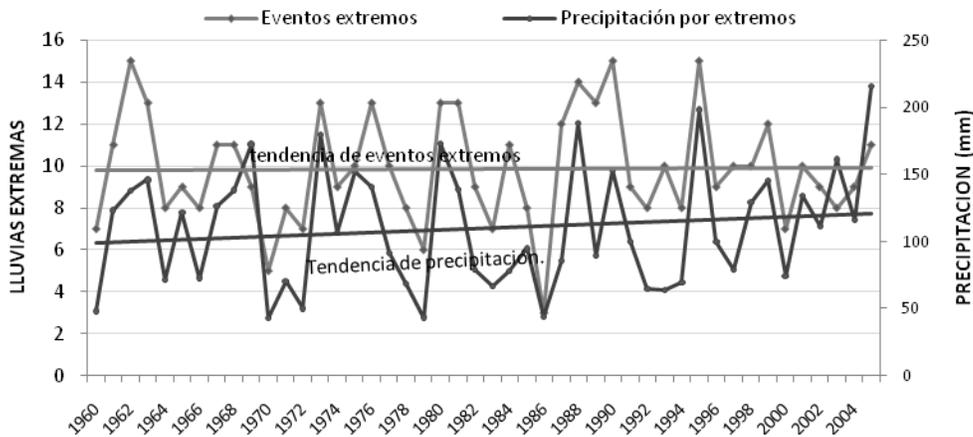


Figura 44.- Eventos de lluvias extremas y precipitación acumulada por estos eventos.

Dada la situación anterior se puede sugerir que los eventos de lluvias extremas pueden ser cada vez más intensos; así, se observa que durante las primeras dos décadas del período de estudio se presentaron tres eventos superiores a 100 mm, siendo el mayor registro de 108 mm correspondiente a 1969, mientras en las últimas décadas se registraron cinco eventos superiores a 100 mm, en donde la mayor precipitación ocurrió durante 1995, siendo ésta de 135 mm; esto se puede deber a diferentes causas, que pueden incluir incrementos de la temperatura y cambios en el uso de suelo, entre otros (Figura 45).

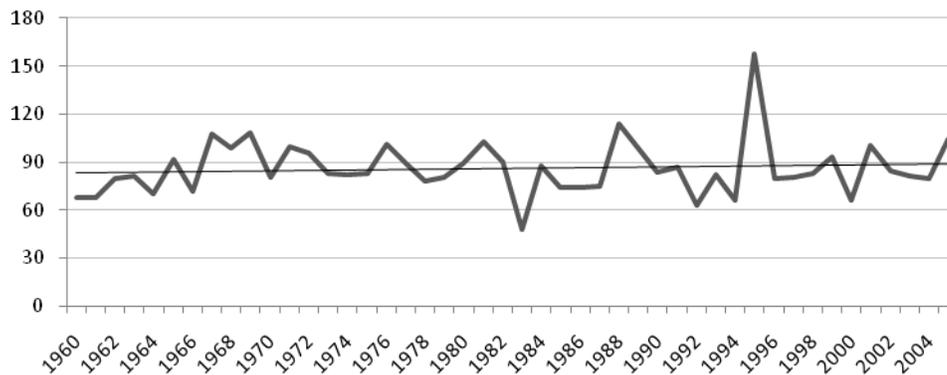


Figura 45.- Lluvias máximas en 24 h. para el período 1960-2005.

Tiscareño, (2008) destaca que lo más importante para la agricultura, principalmente para los cultivos de temporal, es que la precipitación se encuentre bien distribuida durante el desarrollo de la planta, por lo que se puede sugerir que los años con un mayor registro de lluvias extremas no necesariamente son señal de mejores cosechas, ya que si bien existe mayor disponibilidad de agua, un aumento en las lluvias extremas también puede representar una concentración de la lluvia en menos días, lo cual no precisamente beneficia a los cultivos.

El impacto que pueden tener las lluvias extremas, no sólo en la agricultura sino, en todos los sistemas socioeconómicos, depende en gran medida de la cantidad de precipitación y número de lluvias extremas registradas, así como de las condiciones y características del lugar en el que se presenten.

En la tabla 8 se muestran algunos de los eventos extremos de mayor importancia dentro del estado de acuerdo con el número de estaciones que los registraron. Durante el 23 de julio de 1968 se registraron lluvias extremas en siete estaciones, registrándose precipitaciones superiores a 90 mm; así mismo, la lluvia extrema del 29 de mayo de 1995 se registró en seis

estaciones con lluvias superiores a 80 mm y durante el 25 de septiembre del 2003, siete estaciones registraron precipitaciones superiores a 85 mm.

Tabla 8.- Eventos de lluvias extremas más representativos dado el número de estaciones que los registraron.

AÑO	MES	DÍA	ESTACION	MM	AÑO	MES	DÍA	ESTACION	MM	AÑO	MES	DÍA	ESTACION	MM				
1968	6	23	001	92	1995	5	29	007	88	2003	9	25	005	43				
			005	54				014	49				006	62.5				
			006	89.8				015	44.5				014	56				
			014	71.9				024	75.5				015	48.5				
			015	60				026	47				020	59.5				
			020	56.7				033	51				024	81.5				
			024	60				005	43				026	65				
1969	8	3	005	50.9	1999	7	17	006	63	2005	6	29	005	100				
			015	50				024	50.9				020	98.5				
			024	44				020	44.9				024	80.1				
			047	80.5				024	52.7				047	66.5				
			8	21				005	45.3				026	41.6	005	50		
								020	62.5				10	8	001	54.5	006	94.5
								024	61						014	51	015	90
	047	89.1	015	55	020	45												
	8	26	005	41	020	48.7	8	25	001	62								
			006	71.5	005	45												
			014	50.4	015	65.5												
			020	47.4	026	52												
			024	48														

Cabe resaltar que las lluvias extremas no sólo impactan en el sector agrícola; también pueden ser causa de desbordamientos de ríos y afectaciones en viviendas entre otros. En la tabla 9 se muestran algunos de los efectos que han tenido las lluvias extremas en años recientes dentro del estado de Morelos ([www.desinventar.org](http://www.desinventar.org))

Estas lluvias extremas corresponden a registros identificados mediante la FDP Gamma, así; durante Agosto de 1999, en las estaciones del Rodeo, Huajintlán, Yautepec y La Victoria se registraron lluvias de mas de 60 mm. Durante 2001 las precipitaciones más altas durante el mes de junio se registraron el día 11 en donde la estación El rodeo registró 100 mm, mientras en las estaciones Atlatlahucan y Yautepec se registraron lluvias extremas de 80 mm, y para agosto del mismo año en la estación El rodeo se registró una precipitación de 71 mm (Tabla 9).

Durante septiembre de 2002 la lluvia extrema más alta se registró en la estación de Huitzilac, siendo ésta de 106 mm. Para 2003, en el mes de septiembre, las estaciones de Tlacotepec y Yautepec registraron 94.5 y 81 mm respectivamente y durante julio de 2004 se registraron lluvias superiores a 80 mm en las estaciones de Huajintlán y Huitzilac. Las lluvias antes mencionadas sólo son algunas de las registradas en el estado; el total de registros de lluvias extremas se puede consultar en el Anexo 3.

Tabla 9.- Ejemplos de efectos de los eventos extremos en el estado de Morelos.

Fecha	Lugar	Causa	Efectos
20/08/1999	Morelos	Tormenta tropical bret	Afectó 7 municipios. Los aguaceros que cayeron derribaron árboles y provocaron cortes de energía eléctrica.
23/08/1999	Morelos	Otras	
08/09/1999	Morelos	Otras	desbordamiento de ríos,
15/10/1999	Morelos	Otras	Se perdieron más de 3 mil hectáreas de siembras de maíz, sorgo, frijol, hortalizas entre otros cultivos.
13/03/2000	Tlalnepantla	Otras	Sin energía eléctrica
19/03/2000	Atlatlahucan	Otras	Sin energía eléctrica
03/06/2000	Zacatepec	Ciclo de lluvias adelantadas	Las condiciones de humedad impidieron continuar con la cosecha.
12/06/2000	Temixco, Xochitepec	Desbordamiento del río Apatlaco	Las viviendas sufrieron serias inundaciones.
13/09/2000	Morelos	Huracan Lane	30% de la superficie cultivada de sorgo y maíz resultó afectada.
20/09/2000	Coatlan del Río	Intensas lluvias	Desbordamiento del río Coatlan
19/07/2001	Zacatepec	Intensas lluvias	
27/08/2001	Morelos	Intensas lluvias	Los lugares más afectados fueron Zacatepec, Cuernavaca y Jojutla.
04/06/2001	Jojutla	Otras	Derrumbes
09/06/2001	Cuautla	Otras	Desbordamiento del río Ayala, Daños a frutales
11/06/2001	Yautepec, Jojutla, Tlaltizapán	Otras	Desbordamiento del río Yautepec
06/07/2001	Tenango del Valle	Tempestad	Desbordamiento de ríos.
28/08/2001	Zacatepec	Huracan Fossie	
17/09/2002	Tepoztlán, Tlaltizapán, Tlaquiltenango y Yautepec	Intensas lluvias	Desbordamiento de ríos.
08/09/2003	Jutepec	Intensas lluvias	
22/07/2004	Temixco, Xochitepec, Emiliano Zapata, Cuautla, Yautepec	Intensas lluvias	

Fuente: Desinventar.org.

#### 4.2.- Impactos sobre la producción del maíz.

La agricultura es una de las actividades de mayor importancia dentro del estado de Morelos debido a que abarca gran parte de su territorio, en donde es de mayor importancia la de temporal, puesto comprende 74% de la superficie total agrícola; cabe mencionar que la mayor parte de agricultura de temporal se concentra en la región noreste del estado, mientras la agricultura de riego se concentra en la zona centro (Figura 46).

La producción de maíz es básicamente de temporal, siendo éste el cultivo de mayor representatividad espacial, pues abarca más de 45% de la superficie total agrícola. La mayor parte de la producción de maíz se concentra en la región noreste del estado, abarcando en parte zonas de ladera, principalmente del volcán Popocatepetl y la sierra del Chichinautzin.

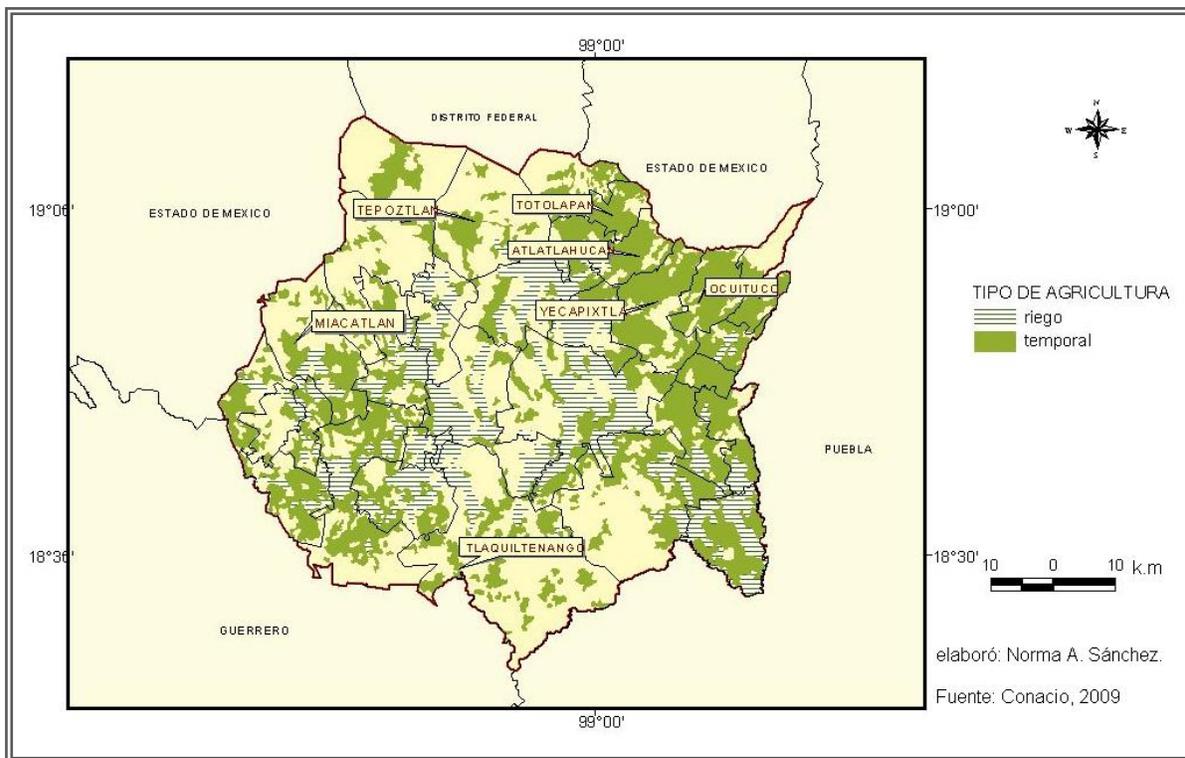


Figura 46.- Superficie dedicada a la agricultura y principales municipios productores de maíz.

Los principales municipios productores de este grano son Yecapixtla, Atlatlahuca, Totolapan, Ocuilucan, Miacatlán y Tlaquilenango, los cuales, en promedio, aportan más de 50% a la

producción total estatal, en donde los cuatro primeros se localizan en las laderas del volcán Popocatepetl y su aportación a la producción total de maíz corresponde en promedio 30% del total de la producción estatal de este grano (Figura 47).

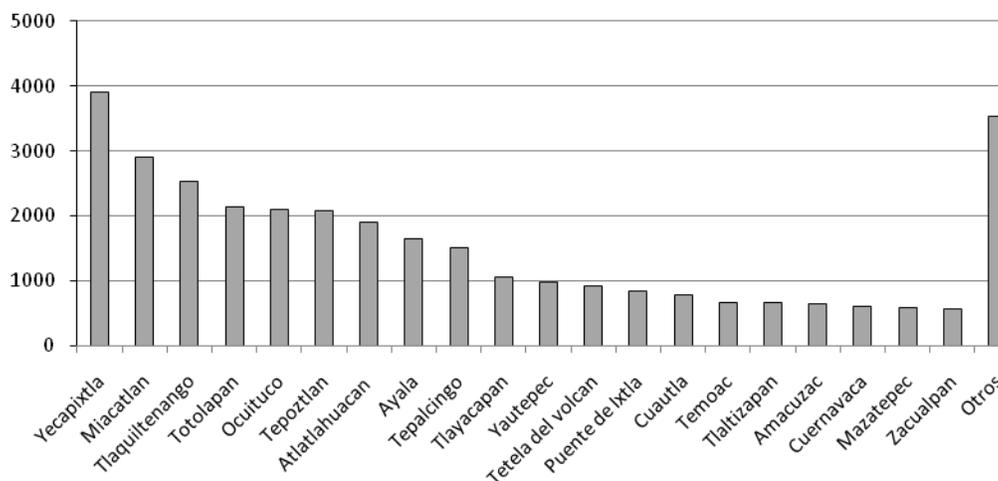


Figura 47.- Promedio de hectáreas sembradas de maíz; período 2001-2005.

Dentro del estado de Morelos se observa una tendencia negativa de la superficie sembrada de maíz; durante el período 1980-2005, los años en que esta superficie fue mayor corresponden a los primeros años del período de estudio, abarcando de 1980 a 1985, con un máximo durante 1981, en que se sembraron más de 50,000 hectáreas de este grano, seguido en importancia por 1984 y 1982. Mientras en los últimos tres años del período de estudio que corresponden a 2003, 2004 y 2005, se observa la menor superficie sembrada, siendo ésta inferior a las 30,000 hectáreas.

No obstante la disminución en la superficie destinada a la siembra de maíz, se presenta una mejoría en cuanto al rendimiento obtenido; así, de un rendimiento de 0.6 ton/ ha obtenido en 1983, el cual se puede considerar como el menor rendimiento, se ha tenido un incremento hasta alcanzar rendimientos superiores a 2.5 ton/ha obtenidos en los años posteriores a 2000, siendo el mayor rendimiento el de 2001, con 3 ton/ha.

En promedio, el rendimiento estatal es de 1.89 ton/ha el cual se encuentra ligeramente por arriba del rendimiento nacional, ya que, de acuerdo con datos del SIAP para el mismo período (1980 - 2005) el rendimiento promedio nacional de maíz fue de 1.79 ton/ ha.

La superficie siniestrada (diferencia entre superficie sembrada y superficie cosechada) es en promedio de 7.11 %; los años que registraron una mayor superficie siniestrada fueron 1982 (en donde mas de 35, 000 hectáreas equivalentes a 70% de la superficie sembrada no se cosecho), seguido por 1985 (con 12,850 ha siniestradas, que equivalen a 28.8% de la superficie sembrada), 1987 (se registraron más de 6,000 ha siniestradas, cifra que representó 17% de la superficie total sembrada) y 2002 (con una superficie siniestrada de 5,294 ha, que equivalen a 17.26%). Así mismo hubo años que no registraron superficie siniestrada, como fueron 1995, 1996, 2003 y 2004 (Figura 48).

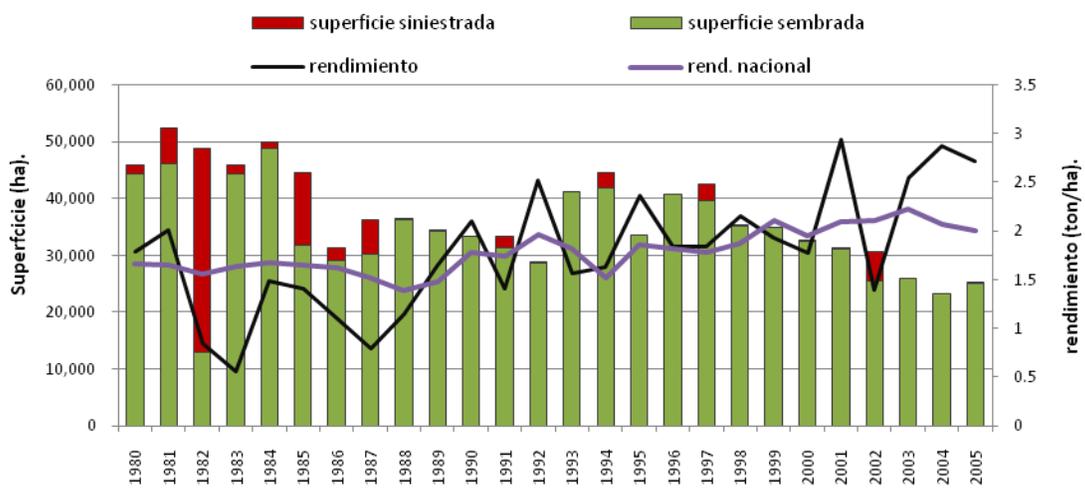


Figura 48.- Superficie sembrada, siniestrada y rendimiento de maíz en Morelos.

El maíz es un cultivo básicamente de temporal que necesita de una gran cantidad de precipitación, debido a que las lluvias extremas forman parte de la cantidad de precipitación disponible durante cada año; se analizó la relación entre estos eventos con la producción de maíz, considerando tanto el total de lluvias extremas como la cantidad de precipitación con la que se presentan estos eventos, así como la superficie siniestrada y el rendimiento estatal de maíz durante el periodo 1980 - 2005.

En la Figura 49, se graficó el total de superficie siniestrada y las lluvias extremas ocurridas de 1980 al 2005 se observa que los años con un mayor número de eventos corresponden a 1990 y 1995, en los cuales se registraron quince lluvias extremas durante cada año; es importante resaltar; que, ninguno presentó superficie siniestrada, por lo que un mayor registro de estos eventos no necesariamente implica una afectación sobre la producción de maíz.

Así mismo, se observan años similares en cuanto al registro de lluvias extremas como 1991 y 1996, en donde para ambos años se registraron seis lluvias extremas y, no obstante, durante 1991 se presentaron más de 1,800 hectáreas siniestradas, mientras que en 1996 no hubo ninguna afectación, misma situación que se presentó durante 1993 y 1997, cuando se registraron diez eventos extremos para cada año; en contraparte para 1993 no se presentó superficie siniestrada alguna, durante 1997 esta superficie resultó mayor a 2,800 ha (Figura 49).

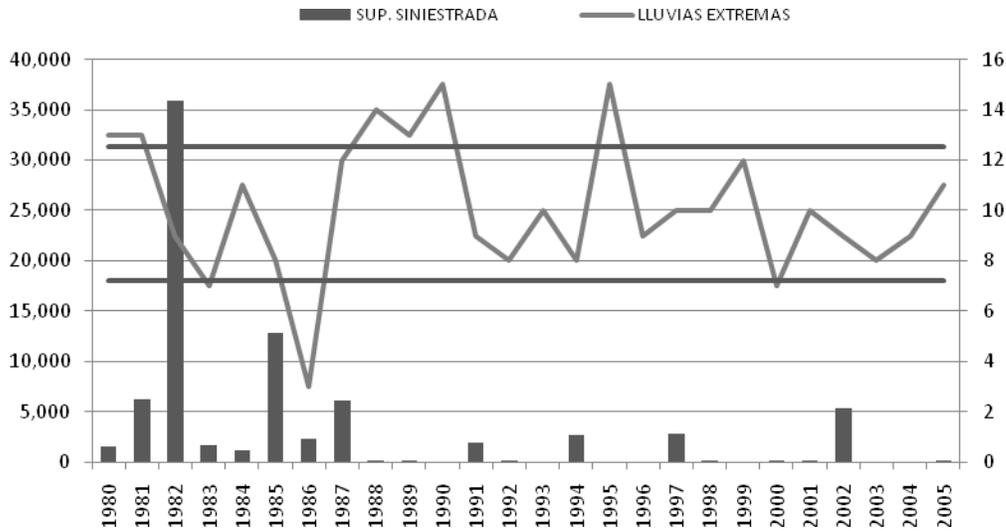


Figura 49.- Superficie siniestrada y registros de eventos extremos.

Dado lo anterior, podemos sugerir que dentro del estado no existe una relación entre la cantidad de lluvias extremas con la superficie siniestrada de maíz, por lo que estos eventos no impactan sobre la producción de dicho grano.

Para el caso del rendimiento en relación a la cantidad de lluvias extremas registradas cada año no se aprecia alguna relación; así, durante 1984, año en que se registraron once lluvias extremas se obtuvo un rendimiento de 1.4 ton/ha mientras durante 2005, cuando se registró el mismo número de eventos extremos el rendimiento fue de 2.7 ton/ha, por lo que estas variables actúan de forma independiente, en donde el rendimiento puede depender más del uso de nuevas tecnologías y estrategias implementadas que de la precipitación (Figura 50).

Igualmente, se analizó la relación entre la precipitación originada por las lluvias extremas en comparación con la superficie siniestrada; para esto, se utilizó el porcentaje que representa el

acumulado por las lluvias extremas respecto al total, puesto que esto se puede tomar como un indicador de la distribución estacional de la precipitación.

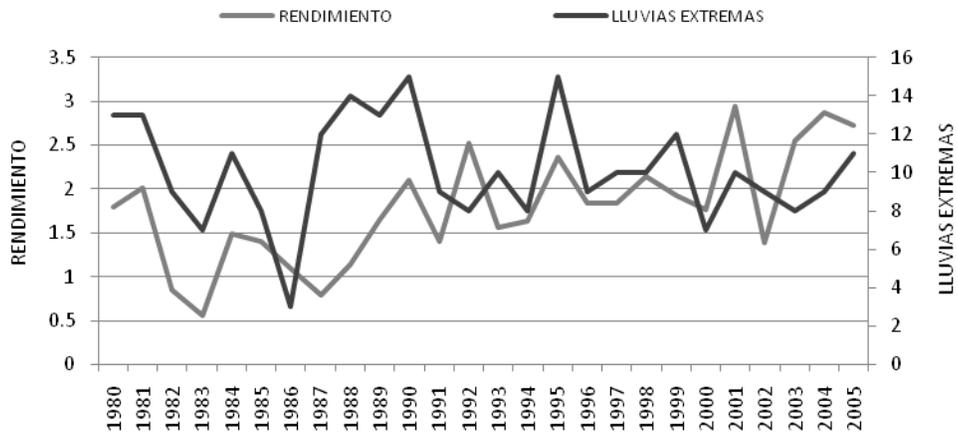


Figura 50.- Rendimiento de maíz y total de registros de eventos extremos.

Los años en donde la contribución de las lluvias extremas fue más representativa corresponden a 1989, 1993 y 2000, en donde más de 16% de la precipitación total fue a causa de lluvias extremas, lo que puede representar una mayor concentración de la precipitación; no obstante, en ninguno de estos años hubo superficie siniestrada. Si bien la distribución de la precipitación es de suma importancia para el desarrollo de los cultivos, para el estado de Morelos, en donde se cubren los requerimientos hídricos, una mayor concentración de la precipitación no necesariamente representa un peligro para la producción de maíz (Figura 51).

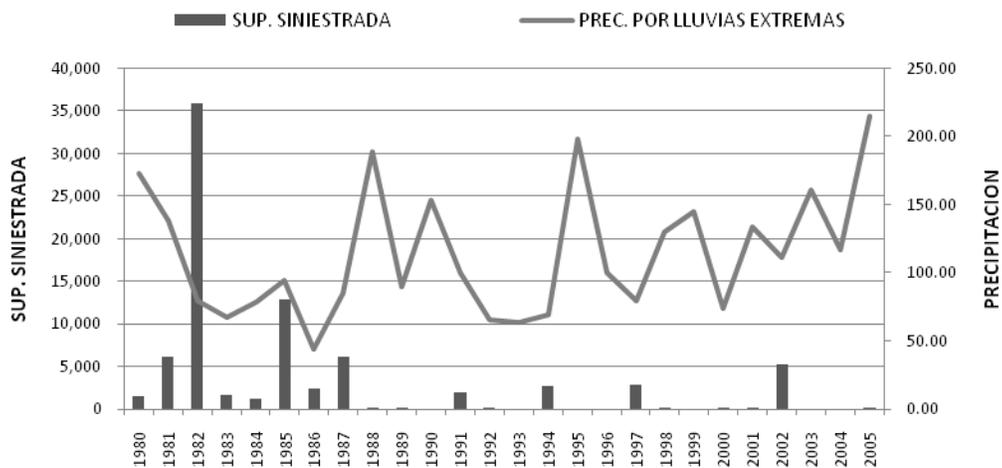


Figura 51.- % de precipitación originada por lluvias extremas respecto al total de verano y superficie siniestrada de maíz.

Las necesidades hídricas del maíz varían de una fase vegetativa a otra, por lo que la relación con las lluvias extremas puede variar dependiendo de las características y necesidades climáticas de cada fase fenológica; debido a esto se analizó la relación entre las lluvias extremas con la superficie siniestrada según la etapa fenológica en que se encontrara la planta al momento del registro de una lluvia extrema.

Para el caso de las lluvias extremas ocurridas durante la siembra, la emergencia y la floración no se aprecia relación puesto que hay años como 1991 y 1993 en donde ambos registraron tres lluvias extremas durante la siembra y mientras que en 1991 se presentaron cerca de 2 mil hectáreas siniestradas, durante el 1993 no se presentó ninguna superficie afectada; así mismo, durante 1983 y 2005 se registraron dos lluvias extremas durante la emergencia y mientras durante el primero se registró una superficie siniestrada de 1,624 hectáreas, para 2005 no hubo afectaciones.

Para la fase de floración, durante 1982, año con la mayor superficie siniestrada, se registró una lluvia extrema durante esta fase, situación similar a 1995 y 2005 y, no obstante, durante estos años no se presentó superficie siniestrada, por lo que se sugiere que las lluvias extremas de estos períodos no tienen ningún impacto sobre la producción de maíz (Figura 52).

Se observa que es durante el crecimiento vegetativo cuando se presenta la mayor cantidad de lluvias extremas, siendo este registro mayor durante 1986, año en el cual se registraron seis lluvias extremas durante esta fase fenológica, seguida en importancia por 1981, 1987, 1988, 1995 y 2005, en los cuales se registraron cinco lluvias extremas durante cada año.

En la mayoría de los años indicados no se registró superficie siniestrada, a excepción de 1981 y 1987; no obstante, la superficie siniestrada que se presentó durante estos años es relativamente poca. El crecimiento vegetativo es uno de los períodos con los mayores requerimientos hídricos, por lo que las lluvias extremas en general no representan ningún peligro para el maíz y, en algunos casos, pueden resultar benéficas, puesto que disminuyen el impacto de la canícula, situación similar a las lluvias extremas ocurridas durante la floración.

Para el caso de las lluvias extremas ocurridas durante la maduración, que por lo general ocurre durante octubre, se observa que en la mayoría de los años con registros de lluvias extremas durante esta fase se registró superficie siniestrada, a excepción de 1995, 1996 y 2003, en los que se registró una lluvia extrema durante esta fase y, no obstante, no existe superficie

siniestrada, mientras en los años con dos y tres lluvias extremas, durante esta fase fenológica sí hubo superficie siniestrada, situación que se presentó durante 1981, 1982, 1985, 1986, 1991, 1994, 1997, 1999 y 2002 (Figura 52).

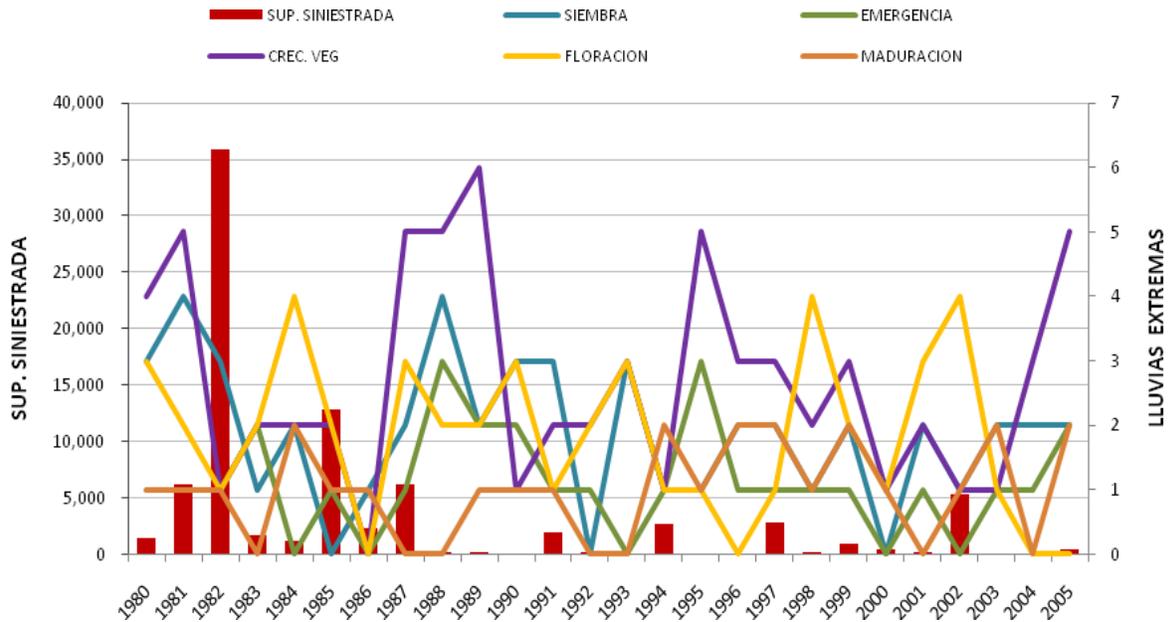


Figura 52.- Superficie siniestrada y registros de eventos de precipitaciones extremas según fase fenológica del maíz.

Esto coincide con algunos de los registros encontrados en la base Desinventar, en donde se menciona que durante 1999 las lluvias extremas de octubre originaron la pérdida de tres mil hectáreas de maíz; cabe mencionar que según los datos del Clicom, durante octubre de este año se registraron tres lluvias extremas de hasta 65 mm.

Al igual que con el número de registros, se analizó la relación entre la superficie siniestrada respecto a la cantidad de precipitación de las lluvias extremas; se observa que durante la siembra, la emergencia y la floración no hay ninguna relación; así, por ejemplo durante 1988, año en el que se registraron lluvias superiores a 60 mm durante todas las fases del período vegetativo, a excepción de la maduración, no se presentó superficie siniestrada, situación similar a la observada durante 1995.

En la Figura 53 se observa que las mayores lluvias se presentan durante el crecimiento vegetativo y la floración que, por lo general, se presentan durante agosto y septiembre; así, durante 1988 y 1995 se registraron lluvias superiores a 100 mm; durante estos meses, dado que estos años no se presentó superficie siniestrada, se asume que estas lluvias no resultan perjudiciales para la producción de maíz debido, en parte, a que es cuando se tienen los requerimientos hídricos más altos.

Para el caso de las lluvias extremas ocurridas durante la maduración, no se presentó superficie siniestrada en todos los años con registros de lluvias extremas durante esta fase; así, se identificó que éstas pueden tener un impacto negativo cuando son superiores a 60 mm, originando así una mayor superficie siniestrada o, bien, una disminución del rendimiento, por lo que los años de 1981, 1984, 1991, 1997, 1998, 1999 y 2005, en los cuales se registraron lluvias superiores a 60 mm, también se registró superficie siniestrada (Figura 53).

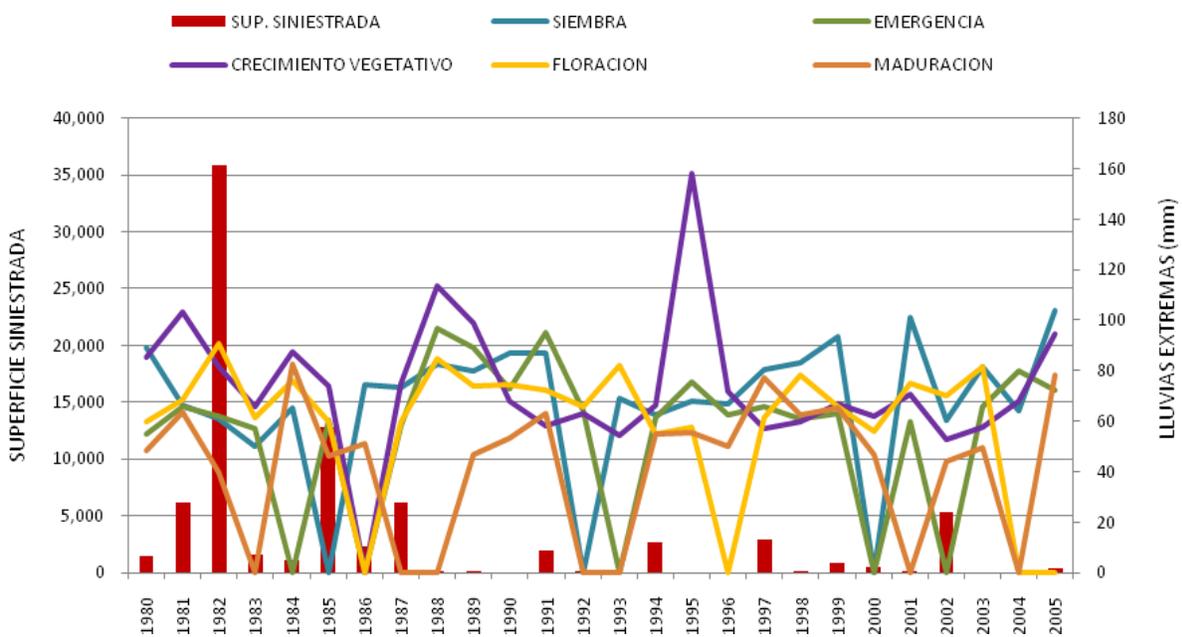


Figura 53.- Superficie siniestrada y volumen de los principales eventos de precipitaciones extremas según fase fenológica.

En la Tabla 10 se muestran los años en donde se presentaron lluvias mayores a 60 mm; se observa que en todos existe superficie siniestrada; esto coincide con lo dicho por Flores (1985), en donde menciona que el exceso de humedad durante la maduración puede ser causa de

afectaciones en el maíz, debido a que durante esta etapa se tienen uno de los mas bajos requerimientos hídricos.

Tabla 10.- Superficie siniestrada y rendimiento durante años con registros de lluvias extremas superiores a 60 mm durante el mes de octubre.

	1981	1984	1991	1997	1998	1999	2005
SUPERFICIE SINIESTRADA	6,201	1,131	1,886	2,858.00	154	880	370
NÚMERO DE LLUVIAS EXTREMAS	1	2	1	2	1	2	2
MAYOR PRECIPITACIÓN (mm)	63.5	82.5	63	77	62.5	65	78.5

Fuente: Clicom, 2009.

En general, las lluvias extremas no implican un riesgo para la producción de maíz ni en superficie siniestrada ni en cuanto al rendimiento obtenido; las únicas lluvias extremas que pueden implicar un peligro para la producción de este grano son las que ocurren durante la maduración y siempre que excedan los 60 mm, por lo que se obtuvo la probabilidad de que ocurran estos eventos para cada estación consultada, lo que se realizó mediante la FDP Gamma; los valores obtenidos, así como los municipios en donde se localizan las estaciones consultadas, se muestran en la Tabla 11.

En promedio, para todas las estaciones, las precipitaciones superiores a 60 mm se encuentran entre el 95.7 y 97.6% de los datos según la Función de Distribución Gamma, por lo que únicamente existe entre 2.4 y 4.3% de probabilidades de que ocurra una lluvia que pueda afectar la producción de maíz.

Las estaciones en donde existe una mayor probabilidad de que se registren lluvias superiores a 60 mm corresponden a Yautepec, Tepalcingo y Huitzilac, las cuales se localizan en el centro y norte del estado, que corresponde a la principal zona productora de maíz, mientras aquellas que presentan una menor probabilidad corresponden a las estaciones de Tlacotepec y Cuautla (Tabla 11).

La cantidad de precipitación disponible es un elemento de suma importancia para la agricultura, por lo cual se analizó la relación entre la producción de maíz con la precipitación total de verano, en donde se observa que una disminución en la precipitación generalmente implica años con superficie siniestrada.

Tabla 11- Probabilidad de ocurrencia de lluvias superiores a 60 mm según la FDP Gamma.

ESTACION	NOMBRE	MUNICIPIO	DISTRIBUCION GAMMA	% DE PROBABILIDAD
17001	ATLATLAHUACAN	ATLATLAHUACAN	95.9 - 97.2	4.1 - 2.8
17005	CUAUTLA (DGE)	CUAUTLA	97.4 - 99.0	2.6 - 1.0
17006	EL RODEO	MIACATLÁN	96.4 - 98.4	3.6 - 1.6
17007	HUAJINTLÁN	AMACUZAC	96.2 - 98.2	3.8 - 1.8
17014	TEMIXCO (DGE)	TEMIXCO	95.5 - 97.4	4.5 - 2.6
17015	TEPALCINGO	TEPALCINGO	93.9 - 96.9	<b>6.1 - 3.1</b>
17020	TLACOTEPEC	ZACUALPAN	98.1 - 99.0	1.9 - 1.0
17024	YAUTEPEC	YAUTEPEC	93.5 - 96.3	<b>6.5 - 3.7</b>
17026	C.A.E. LA VICTORIA	ZACATEPEC	95.3 - 97.0	4.7 - 3.0
17033	XICATLACOTLA (CFE)	TLAQUILTENANGO	95.5 - 97.2	4.5 - 2.8
17047	HUITZILAC (DGE)	HUITZILAC	95 - 96.9	<b>5.0 - 3.1</b>

Así, los años en donde se presentó la mayor anomalía negativa, es decir, la menor precipitación, que corresponden a 1982, 1987, 1993 y 1994 se registró superficie siniestrada; el año en el cual se presentó la mayor superficie siniestrada fue 1982, cuando más de 35 mil hectáreas no se cosecharon; se observa que durante este año se presentó la mayor anomalía negativa, en donde la precipitación total fue inferior a 800 mm. No obstante, y dado que la agricultura depende de muchos factores incluidos los de carácter socioeconómico no en todos los años con superficie siniestrada se muestra una disminución de la precipitación (Figura 54).

En cuanto al rendimiento, el coeficiente de correlación con la precipitación de verano es de 0.57; así un menor rendimiento se puede asociar con la disminución de la precipitación, mientras el coeficiente de determinación es de 0.33, lo cual indica que sólo el 33% del aumento o la disminución del rendimiento de maíz se puede explicar con base en la cantidad total de precipitación.

Si bien, no en todos los años con una disminución de la precipitación se muestra un menor rendimiento, en la Figura 55 se puede apreciar que durante 1982, 1983 y 1987 en los cuales se obtuvieron los menores rendimientos también corresponden a años con anomalías negativas de precipitación. Mientras los años con anomalías positivas de precipitación que corresponden a 1991, 1990, 1995 y 2003, se obtuvieron rendimientos superiores al promedio.

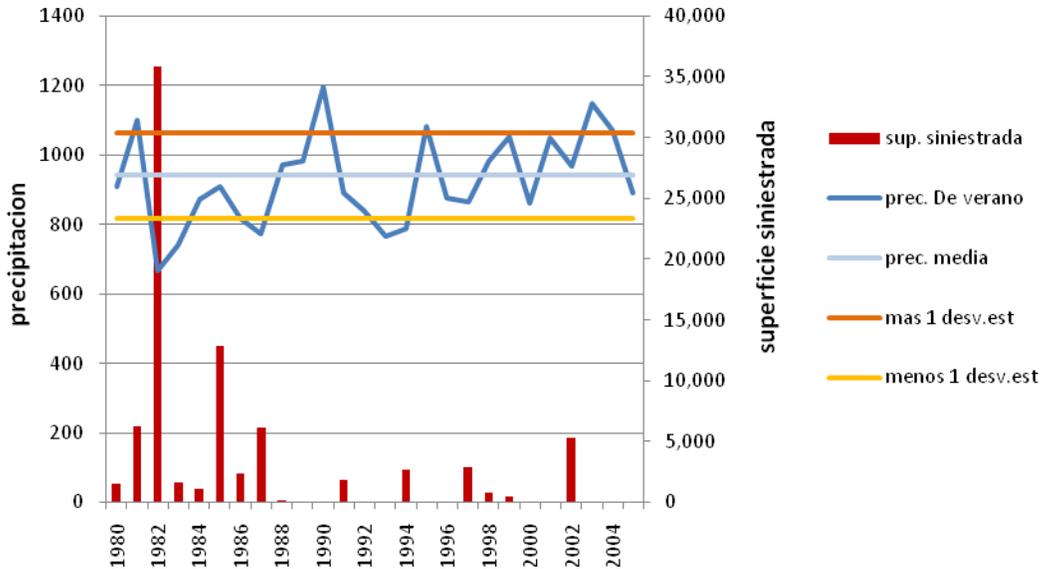


Figura 54.-. Relación entre la superficie siniestrada de maíz con la precipitación total de verano.

Debido, a que se presenta una mejoría en el rendimiento de maíz, a causa de diversos factores como son el uso de fertilizantes, entre otros métodos, y dado que sólo 33% de la variabilidad en el rendimiento se puede explicar con base en la precipitación, no todos los años con mejores rendimientos corresponden a los años mas lluviosos; así, por ejemplo durante 2005, año que se obtuvieron uno de los mejores rendimientos, la precipitación se encuentra por debajo de la media (Figura 55).

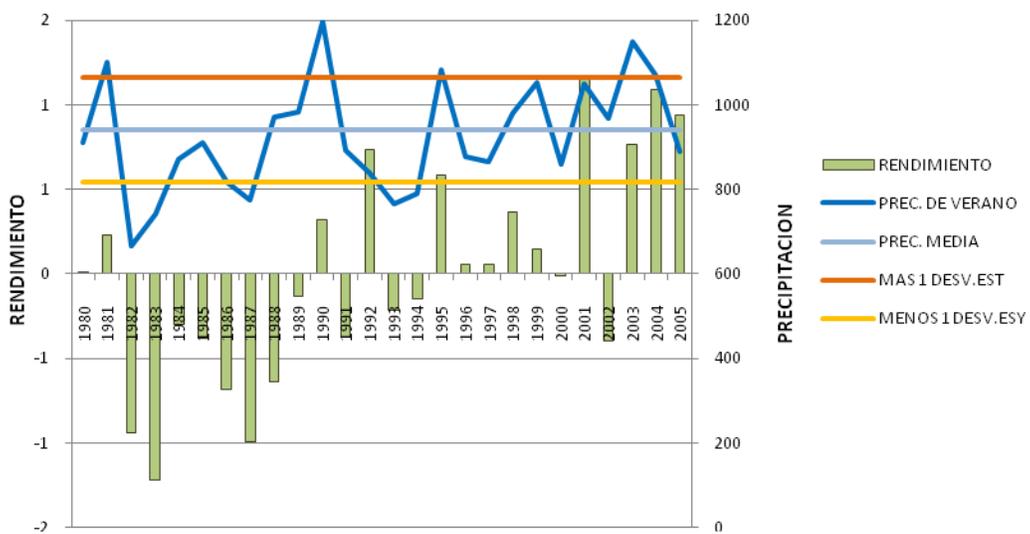


Figura 55.- Relación entre el rendimiento del maíz con la precipitación total de verano

Cabe señalar que las necesidades hídricas del maíz varían, dependiendo de la fase fenológica, por lo que la cantidad de precipitación impacta de diferente forma a lo largo del periodo vegetativo, en donde la cantidad de precipitación a lo largo de todo el proceso vegetativo no es de tanta importancia como la cantidad de la misma dependiendo de cada fase fenológica.

Se realizaron gráficas de precipitación mensual para cada año del periodo de estudio (1980-2005) en las cuales se comparó la precipitación de cada año en relación con la precipitación media del estado; en éstas también se graficó la superficie sembrada y siniestrada durante el año correspondiente; mediante estas graficas se analizó la importancia de la cantidad y distribución de la precipitación para la producción de maíz; entre los años mas representativos se encuentran 1985, 1992 y 1995.

Durante 1985, en donde se registró unas de las más altas superficies siniestradas, la precipitación total se encontró dentro de la media; no obstante, se observa una canícula muy marcada durante los meses de agosto y septiembre en donde la precipitación de agosto fue de 130 mm, encontrándose por debajo de la media historia para el mes en cuestión debido a que durante este mes se presenta el crecimiento vegetativo, una de las fases en donde el maíz tiene los mayores requerimientos de agua; esta disminución de la precipitación pudo ser una de las causas de la superficie siniestrada (Figura 56).

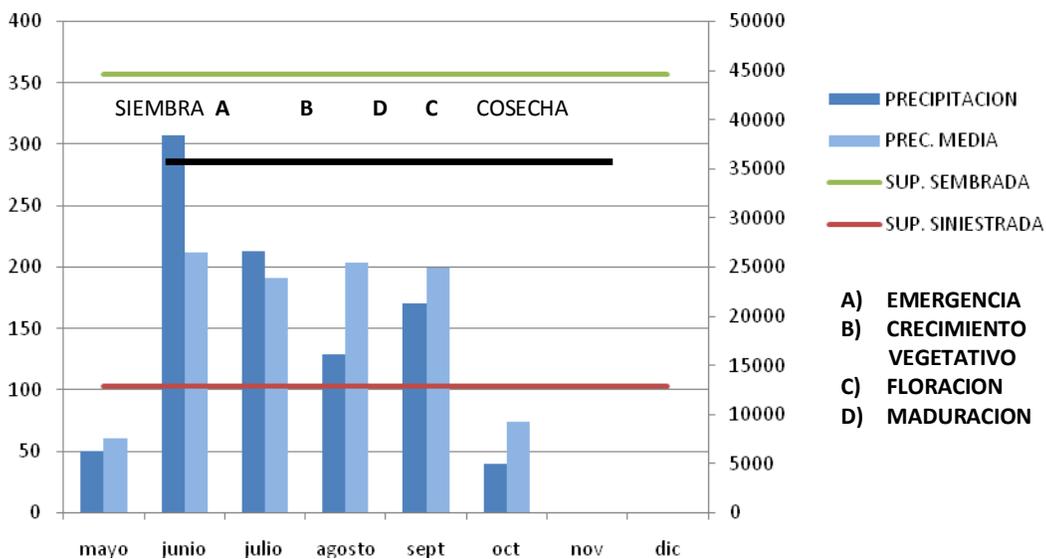


Figura 56.- Precipitación durante 1985 y precipitación media (1960-2005).

Durante 1992 se registró una precipitación menor a la media y no obstante que la superficie siniestrada fue menos representativa en comparación con 1985, se observa en la figura 46 que durante este año la precipitación se presentó mejor distribuida a lo largo del periodo vegetativo, sin una canícula muy marcada; así mismo, durante este año se obtuvo un rendimiento de 2.52 ton/ha siendo superior al rendimiento medio de 1.89 ton/ha (Figura 57).

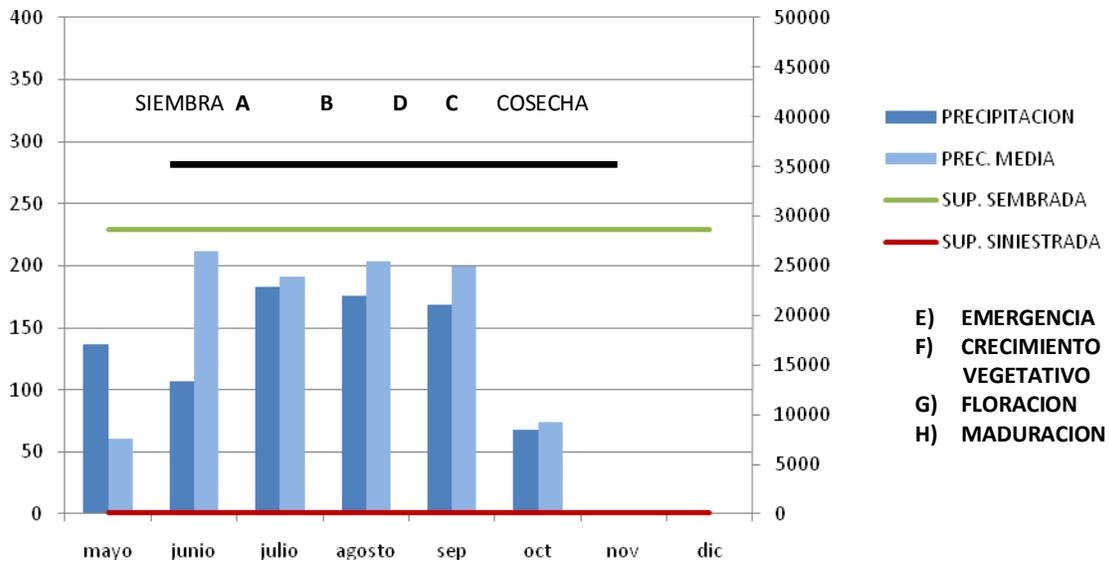


Figura 57.- Precipitación durante 1992 y precipitación media (1960-2005).

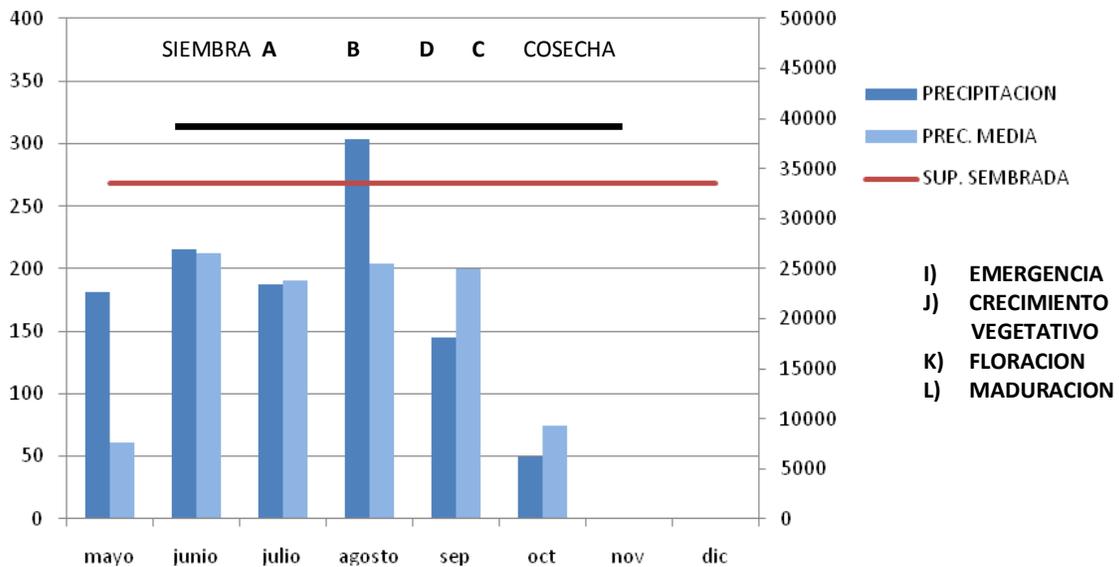


Figura 58.- Precipitación durante 1995 y precipitación media (1960-2005).

Igualmente, durante 1995, cuando se observa una precipitación mayor a la media durante el mes de agosto, cuando la planta se encuentra en el crecimiento vegetativo, no se registró superficie siniestrada; así mismo, se observa un mayor rendimiento, siendo este de 2.3 ton/ha por lo que se refuerza la sugerencia de que es de mayor importancia la distribución de la precipitación más que la cantidad de ésta, dependiendo principalmente de las características fenológicas de cada cultivo (Figura 51).

La relación entre la superficie siniestrada con la distribución de la precipitación coincide con lo dicho por Tiscareño, (2008), en donde se resalta que más que una mayor cantidad de precipitación, lo que los cultivos necesitan es que ésta se encuentre bien distribuida principalmente en las fases fenológicas, en donde las necesidades hídricas aumentan; para el caso del maíz, es durante el crecimiento vegetativo y la floración que se requiere de la mayor humedad que, dependiendo de la fecha de siembra ocupará los meses de agosto y septiembre que en la mayoría de los años coincide con la época en la que se presenta la canícula.

La agricultura, principalmente los cultivos de temporal, son susceptibles a los diversos eventos climáticos y atmosféricos que se presentan durante el período de siembra; para el estado de Morelos otro de los eventos que pueden impactar en la producción agrícola está relacionada con episodios El Niño.

Existe una relación entre la ocurrencia de El Niño con la superficie siniestrada, en donde todos los años con presencia de este fenómeno se registró superficie siniestrada; así, por ejemplo durante 1982, año con la mayor superficie siniestrada corresponde a un episodio de el Niño, en el cual, se observa la mayor anomalía negativa de precipitación.

Pese a una disminución de la superficie siniestrada en los últimos años que abarca este trabajo, durante 2002 se tuvo una de las superficies siniestradas más altas, cabe destacar es este corresponde a un episodio de el Niño. En contraparte el año 2004 es el único episodio Niño en el cual no se registró superficie siniestrada, Tiscareño en el artículo "Impactos de El Niño en Morelos" señala que dadas las afectaciones de dicho evento durante el 2002 y con el pronóstico climático disponible para el año 2004, durante este año se implementaron importantes estrategias, las cuales ayudaron a disminuir el impacto de El Niño en la producción agrícola del estado (Tabla 12).

Tabla 12.- Superficie siniestrada de maíz en relación a la presencia de años el Niño en el estado de Morelos (Años Niño en color oscuro, años Niña en color claro).

AÑO	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	SUP. SIN
1980							1490.00
1981							6201.00
1982							35844.00
1983							1624.00
1984							1131.00
1985							12849.00
1986							2343.00
1987							6128.00
1988							119.00
1989							43.00
1990							
1991							1886.00
1992							107.00
1993							
1994							2682.00
1995							
1996							
1997							2858.00
1998							154.00
1999							880.00
2000							450.00
2001							100.00
2002							5293.75
2003							
2004							
2005							370.00

#### **4.3.- Discusión de los resultados.**

El uso de la información climática, principalmente para el estudio de eventos extremos, conlleva ciertas complicaciones, ya que algunos de los registros de estos eventos, al ser poco comunes, son considerados en algunos casos como errores, por lo cual son borrados o sustituidos de las bases de datos climáticas. Así mismo, algunos de los errores cometidos durante la captura, digitalización y difusión de los registros climáticos llegan a ser considerados como registros de eventos extremos.

Pese a que la información climática utilizada para este trabajo fue revisada mediante un control de calidad, no se puede garantizar que los datos identificados y considerados como lluvias extremas sean registros verdaderos de la ocurrencia de estos eventos. Durante la revisión de la base de datos CLICOM se detectaron varios registros dudosos, puesto que la precipitación del día anterior y posterior era muy baja y, en algunas ocasiones nula; así mismo, los valores de temperatura entre estos días eran similares, por lo que estos valores dudosos se anexan al final del trabajo al no haber sido considerados para el análisis de este trabajo (Anexo 4).

El hecho de que no se cuente con una estación climática en todos los municipios del estado, así como la falta de información agrícola a nivel municipal, limitaron en cierto modo el análisis espacial de esta investigación, puesto que las condiciones climáticas difieren de norte a sur a través del estado, por lo que la relación entre la producción de maíz con la precipitación (incluida la precipitación total y los eventos de lluvias extremas) también puede variar dependiendo de las características de la zona.

Dado lo anterior, se sugiere que la relación entre las lluvias extremas y la producción de maíz varía de norte a sur del estado; así, una lluvia extrema en la región norte que pertenece a zonas de ladera y en donde la precipitación es mayor puede tener un mayor impacto sobre el maíz en comparación a la región sur del estado, en donde; se tiene una menor precipitación anual; por lo que las lluvias extremas le brindan al maíz una mayor cantidad de agua disponible. Cabe mencionar que la cantidad de lluvia de las precipitaciones extremas en el sur del estado es menor en comparación a la región norte.

Los valores de precipitación extrema que se utilizaron corresponden al total precipitado a lo largo del día, por lo que no se consideró la intensidad con la que se presentaron dichos eventos, a pesar de que puede ser de mayor importancia sobre los cultivos la intensidad de la

precipitación más que la cantidad de ésta, ya que no tiene el mismo impacto una lluvia de 60 mm ocurrida en unas horas a la misma cantidad acumulada durante de todo el día.

Dado que dentro de la información disponible dentro de la base Clicom sólo se registra el total de precipitación diaria y no el tiempo en que se presentó dicha precipitación, no se puede calcular la intensidad con la que se presentaron las lluvias extremas.

Así mismo, hay que mencionar que los datos sobre superficie siniestrada que se utilizaron son datos del total de superficie afectada durante cada año, en donde no se especifica la causa del siniestro sobre el maíz, por lo que la superficie siniestrada que se comparó es a causa de diversos factores como sequias, heladas y lluvias extremas, entre otros, que no necesariamente implican al clima, como pueden ser las plagas e inclusive causas de carácter socioeconómicas y culturales.

El objetivo de este trabajo se centró en analizar e identificar la relación de las lluvias extremas con la producción de maíz, en donde se observa que no sólo las lluvias extremas sino la precipitación en general impactan de diferente forma a la producción de este cultivo dependiendo del periodo vegetativo, por lo cual es de suma importancia considerar las fases fenológicas de los cultivos para entender el impacto del clima sobre la agricultura.

Se identificó que los eventos extremos no necesariamente tienen un impacto negativo sobre la producción de maíz, en donde las lluvias extremas que pueden llegar a representar un peligro para este cultivo son las que ocurren durante la maduración que, por lo general, se presenta en el mes de octubre, siendo de mayor peligro las lluvias superiores a 60 mm.

## CONCLUSIONES

La agricultura es una de las principales actividades económicas del país, en donde el éxito de los cultivos depende de un gran número de factores, incluidos los socioeconómicos; no obstante, el clima juega un papel muy importante en la producción agrícola, principalmente en los cultivos de temporal, por lo que es de suma importancia el estudio sobre el impacto de los elementos de clima, incluyendo los fenómenos meteorológicos extremos sobre la producción agrícola.

Contrario a la hipótesis sugerida al inicio de esta investigación, en donde se proponía que una mayor frecuencia de lluvias extremas resultaría en un aumento de la superficie siniestrada, en este caso de maíz, en los resultados de este trabajo se encontró que en la mayoría de los casos las lluvias extremas no impactan a la producción de maíz y, en algunos casos, principalmente durante el mes de agosto, cuando aumentan las necesidades hídricas del maíz, estos eventos pueden resultar benéficos puesto que llegan a disminuir los efectos de la canícula.

Únicamente las precipitaciones superiores a 60 mm que ocurren durante la maduración, que por lo general se presenta durante el mes de octubre, son las que pueden tener un impacto negativo en la producción de maíz; no obstante, la probabilidad de que se presenten dichos eventos es relativamente baja, por lo que no se considera que estas lluvias extremas representen un peligro importante para la producción de este cultivo.

Cabe mencionar que las necesidades hídricas de los cultivos varían dependiendo de la fase fenológica de cada cultivo, por lo que es de suma importancia considerar en los estudios agroclimáticos el impacto o relación de determinado evento, dependiendo de cada etapa fenológica de un cultivo determinado.

En este trabajo se analizó únicamente la relación entre las lluvias extremas con la producción de maíz, pero éstas pueden tener diferente impacto dependiendo del cultivo de que se trate, ya que las necesidades agroclimáticas así como las características fenológicas varían de un cultivo a otro, en donde algunos cultivos son más vulnerables al exceso de humedad u otras condiciones, incluidas las atmosféricas, en comparación con otros cultivos, inclusive de la misma zona.

Así mismo, suele considerarse que una mayor precipitación resultará en una mejor producción agrícola, lo cual no necesariamente es una constante para todos los casos, puesto que la precipitación esta relacionada con la frecuencia de lluvias extremas; por ello, una mayor precipitación también puede implicar una mayor ocurrencia de lluvias extremas, lo cual no precisamente beneficia a los cultivos, principalmente si estos eventos ocurren en las fases vegetativas en las que disminuyen las necesidades hídricas del cultivo en cuestión. Por ello es importante destacar que es de mayor importancia la distribución de la precipitación más que la cantidad total de ésta.

El estado de Morelos cuenta con las condiciones necesarias de humedad para cubrir óptimamente las necesidades hídricas del maíz; prueba de esto es la baja superficie siniestrada y el rendimiento superior al promedio nacional, por lo que se podrían generar programas que estimulen la producción de dicho grano.

Gómez (1991), menciona que existe un sobrante de precipitación en el noreste de Morelos de acuerdo a las necesidades hídricas del maíz, por lo que podría planearse un mejor aprovechamiento de esta precipitación, incluidas las lluvias extremas, ya que éstas contribuyen de manera importante a la cantidad de agua disponible no sólo para la agricultura de temporal sino también para los cultivos de riego. Entre estas alternativas se pueden mencionar: una mayor variedad y cantidad de cultivos durante el período primavera- verano, así como la implementación de sistemas de riego y la siembra de cultivos durante el período otoño-invierno entre otras actividades que permitan un mejor aprovechamiento de la precipitación y de la humedad residual de la región.

Debido a lo anterior anotado, es necesario una mayor planeación de las actividades agrícolas para poder tener un mejor aprovechamiento de las condiciones climáticas y atmosféricas que se presenten cada año y, así, poder obtener mayores ingresos; así mismo, se tiene la necesidad de implementar políticas y estrategias de prevención ante las condiciones que se generan durante diversos eventos que podrían resultar perjudiciales para los cultivos, por lo que es de suma importancia dejar de ver a los eventos extremos como fenómenos extraordinarios, y entender que forman parte de la variabilidad del clima, por lo que es preciso dar primordial importancia a la adaptación de los sistemas socioeconómicos, entre ellos el sector agrícola, ante la presencia de estos eventos.

También es de suma importancia el análisis estadístico, incluyendo la frecuencia y la intensidad con la que se presentan los eventos extremos; dentro del estado de Morelos se aprecia un incremento en la cantidad con la que se presentan las lluvias extremas, las cuales contribuyen cada vez más a la precipitación total del estado. Esta situación podría deberse a varios factores, como pueden ser el incremento de la temperatura a causa del acelerado crecimiento urbano que se muestra en el estado y el cambio de uso de suelo, entre otros factores.

Como comentario final, es necesario dejar de ver a la información climática sólo como un elemento para la prevención y empezar a considerarla como una herramienta para la planeación y, así poder aprovechar las condiciones que brindan la variabilidad climática y ciertos eventos, como son los ciclones tropicales y los eventos de lluvias extremas, cuya precipitación contribuye a la recarga de acuíferos y al aumento del volumen de agua almacenada en las presas, lo que resulta benéfico no sólo para la agricultura sino para la mayoría de las actividades socioeconómicas.

## REFERENCIAS.

- Agroasemex (2006). *La experiencia Mexicana en el desarrollo y operación de seguros paramétricos aplicados a la agricultura*. Agroasemex S.A. primera edición Abril, 2006, ISBN 968-90-98-00-4. Santiago de Querétaro, Querétaro.
- Aguilar, S. (1990). *Dimensiones ecológicas del estado de Morelos*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias / UNAM, México.
- Ávila, H. (2007). *La práctica de la agricultura periurbana en Morelos, México*. Revista de divulgación científico tecnológica del estado de Morelos. Hypatia No. 24, Cuernavaca, Morelos.
- Batllore, A. (2002). *Los problemas ambientales del estado de Morelos: la educación como parte de la solución*. Gaceta ecológica 61. Sistema de Publicaciones del INE. México.
- Bert, F. (2007). *El valor de la información climática en los cultivos de maíz y soya. Analizando el impacto de escenarios de mediano y largo plazo sobre la producción y su resultado económico*. Publicaciones Mundo Agro, junio de 2007. Buenos Aires, Argentina.
- Cabazos T, Gámez A y Álvarez S, (2008). *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad*. Editado por Zarco, Alba. México. p. 68-86.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), (2001). *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-1999*. Editado por Bitrán, Daniel. México, D.F.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, (Conabio) (2009). Cartografía Varia. Obtención de metadatos y cartografía en línea. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto>.
- Conde, A, Ferrer, R, Gay, C y Araujo, R. (2004). *Impactos del cambio climático en la agricultura de México. Cambio Climático una visión desde México*. Compilador: Martínez, J. sistema de Publicaciones del INE, primera edición. México.

- Fernández, F. (1996). *Manual de Climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Ed. Síntesis. Serie; espacios y sociedades. Madrid, España.
- Flores, E. (1985). *Efectos de la sequía intraestival en la producción de maíz y frijol sorgo en Michoacán*. Memorias del X Congreso Nacional de Geografía. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Tomo 1. Morelia, Michoacán.
- Galarza, J. y Miramontes, U. (2006). *Situación actual y perspectivas del maíz en México, 1990-2004*. Edición; Hernández, G. Servicio de Información estadística Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México, D.F.
- García, E. (2003). *Distribución de la precipitación en la Republica Mexicana*. Investigaciones geográficas. Boletín No. 50 del Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. p. 67-76
- Gay, C. (Compilador) (2000). *Estudio de la vulnerabilidad del cultivo de maíz de temporal mediante el modelo Ceres-Maize*. México; una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. CONICET. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 220 p. ISBN 968-36-7562-X
- Gómez, J. (1991). *Agroclimatología y espacio geográfico en el noreste del estado de Morelos*. Tesis de Doctorado, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM y Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México, D.F.
- Gómez, J y Esquivel, M. (2002). *Agroclimatología del maíz en México*. Revista geográfica No. 60. Instituto Panamericano de geografía e historia. OEA. México D.F.
- Granados, R. Trujillo, T. Soria, J y Fernández, O. (2004). *Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México*. Investigaciones Geográficas, boletín No. 54. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jones, P.D, Osborn E and Briffa, K. (1997). *Estimating Sampling Errors in Large-Scale Temperature Averages*. Journal of Climate 1997; 10: 2548-2568. Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom.

- Maderey, L y Jiménez, A. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Geografía para el siglo XXI. Serie Textos Universitarios. México, D.F.
- Magaña, V. (2007). *Eventos hidrometeorológicos extremos en el valle de México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México D.F
- Magaña, V. (Editor) (2004). *Los impactos del Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, D.F. p. 1-22.
- Marengo, J. (2009). *Eventos hidrometeorológicos extremos. Boletín No. 8 del Grupo de Investigaciones en Cambio Climático*. Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales. Editora; Raigoza Diana. Brasil.
- Ortiz, C. (1984). *Elementos de agrometeorología cuantitativa*. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, México. p. 50- 58.
- Retana, J. (1999). *Efectos de las condiciones climáticas en la Región Chorotega provocadas por el fenómeno ENOS (El Niño Oscilación del Sur) sobre la producción bovina de carne en Costa Rica*. Tesis de licenciatura, escuela de Zootecnia. San José, Costa Rica.
- Renom, M. (2005). *Homogeneidad y control de calidad de series de temperaturas extremas diarias en Uruguay*. Anales IX Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires, octubre 2005. ISBN 987-22411-0-4.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). *Boletines de variedades recomendadas para los años 1980 al 2005*.
- Singh, R. (1980). *Soil submergence effects on nutrient uptake, growth, and yield of five corn cultivars*. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy. p. 737-741.

- Soto M, Guadarrama R, García E y Salgado M. (2000). *El potencial de la agricultura de temporal de la región oriente de Morelos. Contribuciones a la investigación regional del estado de Morelos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional De Investigaciones Multidisciplinarias. Cuernavaca, Morelos.
- Tiscareño, M. (2008). *El Niño en Morelos*. Revista de divulgación científico tecnológica del estado de Morelos. Hypatia No. 26, Cuernavaca, Morelos.
- Vázquez, J. (2006). *Datos climáticos de la Republica Mexicana; panorama actual y requerimientos inmediatos*. Documento presentado en el "1er Foro del Medio Ambiente Atmosférico. Xalapa, Veracruz 9 y 10 de febrero del 2006.
- Vega, D. y Ramírez, P. (2004). *Situación y perspectivas del maíz en México*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Westgate, M. (1994). *Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought*. In K.J. Boote, J.M. Bennett, T.R. Sinclair & G.M. Paulsen, eds. *Physiology and determination of crop yield*, p. 361-364.

#### **Sitios en Internet.**

- <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/>
- <http://www.inegi.org.mx/inegi/>
- <http://www.conafor.gob.mx/index.php?option>
- <http://www.desinventar.org/>
- <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/508/cambiouso.pdf>
- <http://www.transparenciacongresomorelos.gob.mx/acceso/Intervenciones/2004>
- <http://www.atmosfera.unam.mx>
- <http://www.proteccioncivil.gob.mx/Portal/>
- <http://www.infoagro.com/>
- <http://www.siap.gob.mx>.
- [http:// www.inta.mx](http://www.inta.mx).
- <http://www.subsidiosalcampo.org.mx>
- <http://www.producemorelos.org>

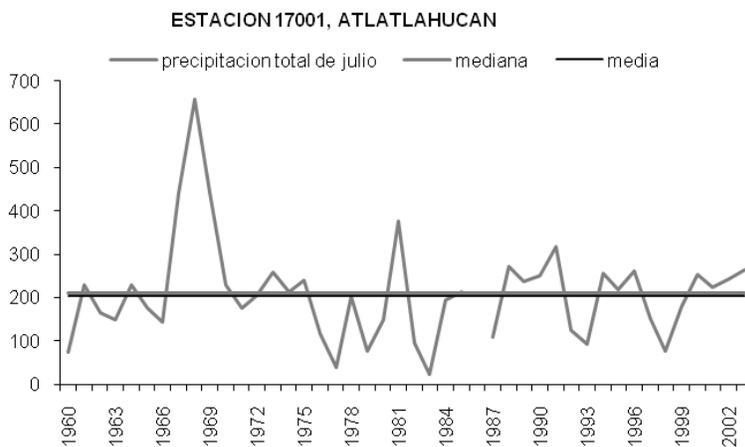
# ANEXOS

### Anexo 1.- ESTACIONES CONSULTADAS

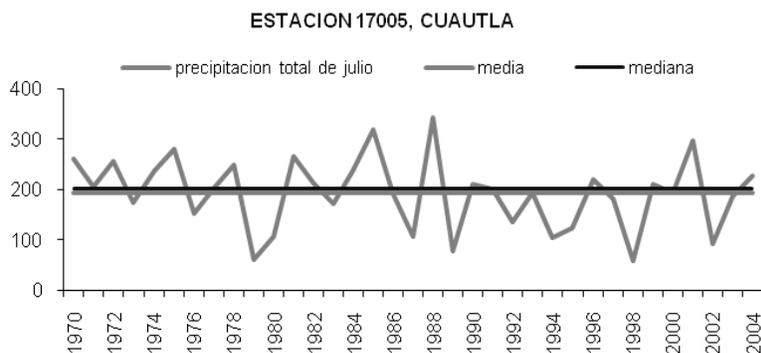
ESTACION	NOMBRE	MUNICIPIO	ESTADO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
17001	ATLATLAHUACAN	ATLATLAHUACAN	MORELOS	18°56'12"	98°55'41"	1600.00
17005	CUAUTLA (DGE)	CUAUTLA	MORELOS	18°48'37"	98°57'3"	1302.00
17006	EL RODEO	MIACATLAN	MORELOS	18°41'25"	99°17'10"	1431.00
17007	HUAJINTLAN	AMACUZAC	MORELOS	18°32'55"	99°18'2"	1100.00
17014	TEMIXCO (DGE)	TEMIXCO	MORELOS	18°54'59"	99°22'42"	1060.00
17015	TEPALCINGO	TEPALCINGO	MORELOS	18°41'20"	98°53'40"	1350.00
17020	TLACOTEPEC	ZACUALPAN	MORELOS	18°48'48"	98°45'0"	1700.00
17024	YAUTEPEC	YAUTEPEC	MORELOS	18°51'16"	99°1'18"	1015.00
17026	C.A.E. LA VICTORIA	ZACATEPEC	MORELOS	18°38'12"	99°12'3"	910.00
17033	XICATLACOTLA (CFE)	TLAQUILTENANGO	MORELOS	18°27'0"	99°6'0"	790.00
17047	HUITZILAC (DGE)	HUITZILAC	MORELOS	19°3'30"	99°16'27"	1049.00

## Anexo 2.- PRUEBA DE RECORRIDO DE LAS ESTACIONES CONSULTADAS.

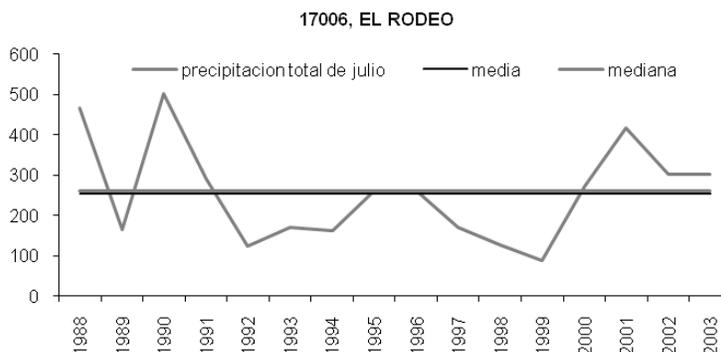
media= 205  
 mediana= 210  
 n= 42  
 intervalo (u)= 16-25  
 N° de cambios usando la media= 16  
 N° de cambios usando la mediana= 16  
 Record climático= Homogéneo



media= 193  
 mediana= 202  
 n= 34  
 intervalo (u)= 14-21  
 N° de cambios usando la media=18  
 N° de cambios usando la mediana= 20  
 Record climático= Homogéneo

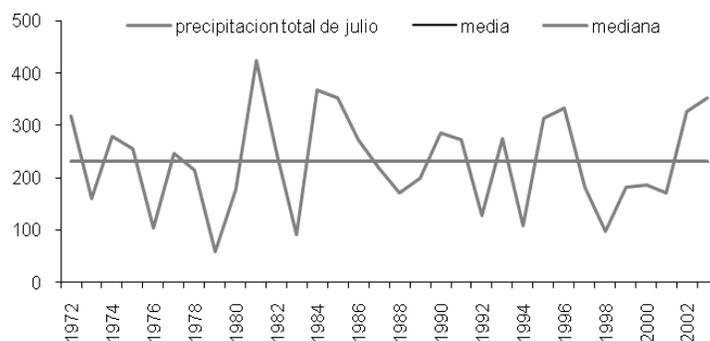


media= 255  
 mediana= 260  
 n= 16  
 intervalo (u)= 6-11  
 N° de cambios usando la media=6  
 N° de cambios usando la mediana= 6  
 Record climático= Homogéneo



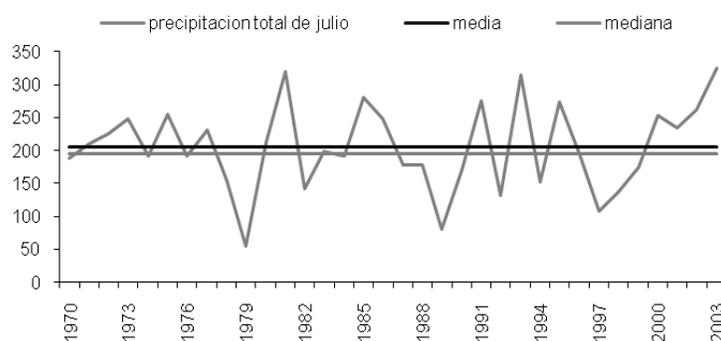
## 17007, HUAJINTTAN

media= 230  
 mediana= 223  
 n= 31  
 intervalo (u)= 12-19  
 N° de cambios usando la media= 15  
 N° de cambios usando la mediana= 16  
 Record climático= Homogéneo



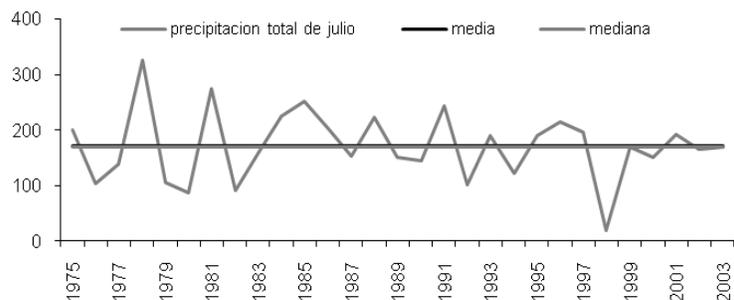
## 17014, TEMIXCO

media= 205  
 mediana= 195  
 n= 33  
 intervalo (u)= 13-20  
 N° de cambios usando la media= 17  
 N° de cambios usando la mediana= 18  
 Record climático= Homogéneo



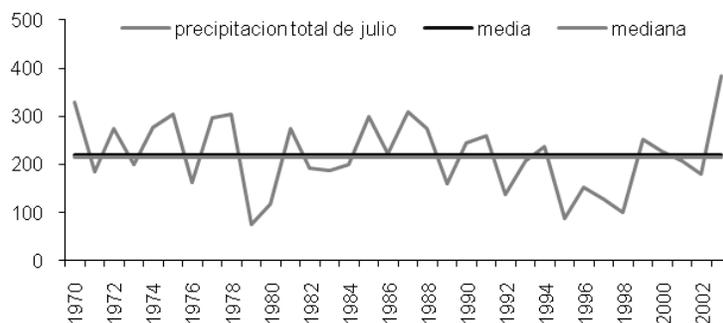
## 17015, TEPALCINGO

media= 170  
 mediana= 163  
 n= 28  
 intervalo (u)= 11-18  
 N° de cambios usando la media= 17  
 N° de cambios usando la mediana= 17  
 Record climático= Homogéneo

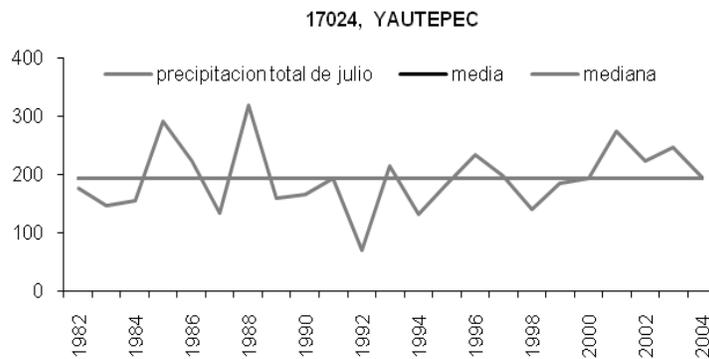


## 17020, TLACOTEPEC

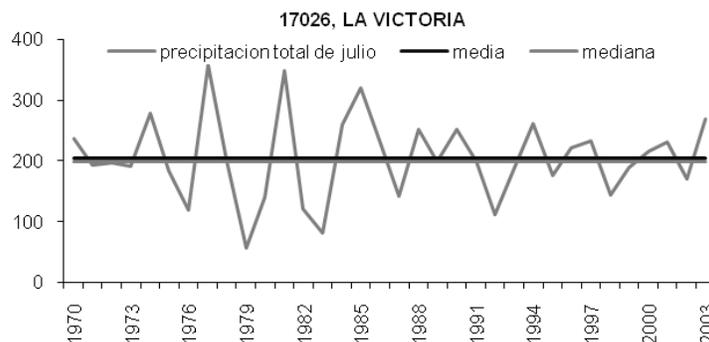
media= 210  
 mediana= 216  
 n= 33  
 intervalo (u)= 13-20  
 N° de cambios usando la media= 18  
 N° de cambios usando la mediana= 18  
 Record climático= Homogéneo



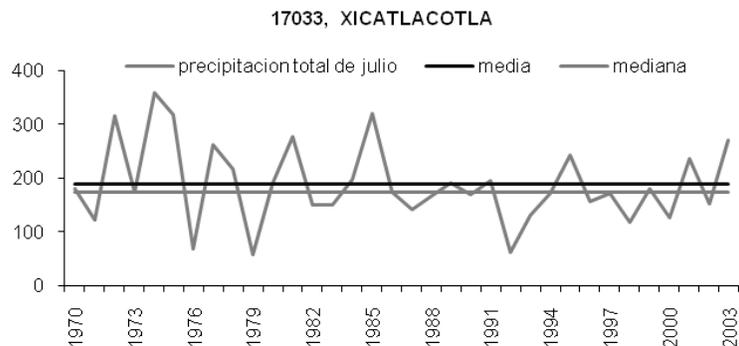
media= 193  
 mediana= 192  
 n= 22  
 intervalo (u)= 9-14  
 N° de cambios usando la media= 9  
 N° de cambios usando la mediana= 9  
 Record climático= Homogéneo



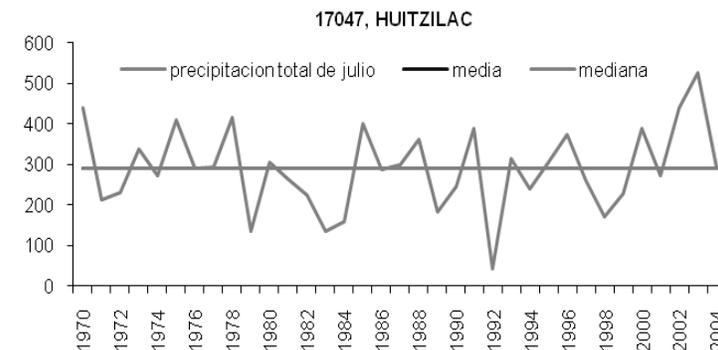
media= 205  
 mediana= 198  
 n= 33  
 intervalo (u)= 13-20  
 N° de cambios usando la media= 20  
 N° de cambios usando la mediana= 18  
 Record climático= Homogéneo



media= 188  
 mediana= 173  
 n= 33  
 intervalo (u)= 13-20  
 N° de cambios usando la media= 17  
 N° de cambios usando la mediana= 20  
 Record climático= Homogéneo



media= 290  
 mediana= 290  
 n= 34  
 intervalo (u)= 14-21  
 N° de cambios usando la media= 20  
 N° de cambios usando la mediana= 20  
 Record climático= Homogéneo



## Anexo 3.- REGISTROS DE LLUVIAS EXTREMAS PARA EL PERÍODO 1960-2005

1960							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
8	7	015	68	9	7	006	57
8	17	015	55.5	9	9	014	60
8	23	020	54.5	10	24	001	53.5
8	25	020	59				

1961							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	15	014	65.5	7	26	005	45
6	22	014	60			014	52
6	24	015	60			024	75
7	4	015	51.5			026	47.5
7	17	001	56	8	18	015	55.5
7	19	015	54.5	9	1	005	68
7	22	024	44			015	47
				9	9	005	51
						014	50

1962							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	24	024	42	8	21	005	44.5
6	19	047	60.5	8	27	026	54.5
6	25	005	63.1	9	6	047	60
		015	50	9	11	007	65
		020	80.1	9	23	005	56.7
		026	58.8			020	64
7	5	015	50			047	60
7	11	024	45	9	30	014	53
7	15	006	60			024	64
		014	46	10	1	014	53
7	20	015	50	10	2	020	50.7
						047	45

1963							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	7	020	47	7	9	005	66.1
5	16	015	41			020	67.1
6	15	015	51	7	22	001	52
		024	65			005	46.5
6	17	005	68			020	62.7
		007	55			024	53.5
6	30	001	54	9	15	015	70
		006	76.5	9	20	007	59
7	8	005	63.2	9	29	001	66.5
		006	61.5			033	47.5
		07	81.5	10	20	014	71

1965							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	2	005	60.3	8	25	007	66
5	2	020	46.3			047	76.5
6	5	014	55.5			014	53
7	4	015	70.5			020	68.2
8	1	006	60.4	9	6	007	50.5
		024	44	9	22	006	75.5
		026	91.3			033	49
		005	41.5	10	1	001	65
						005	56

1966							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	20	005	34	7	24	014	48.8
5	26	005	41			020	47.5
		015	43			8	22
6	18	020	71	9	18	024	72
7	2	015	51	10	2	024	69
		020	44.2				
		047	60.1				

1968							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	18	007	43	6	23	014	71.9
		047	61.5			015	60
5	25	015	68			020	56.7
						024	60
6	16	001	90	7	13	015	50.5
6	18	001	86			8	14
6	19	001	99	9	12	001	65.5
6	21	014	54.2			047	70.5
		020	56.6	10	6	001	56
6	23	001	92			006	38
		005	54				
		006	89.8				

1969							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	19	006	55.5	8	21	047	89.1
7	6	005	50.8	8	26	005	41
		015	70			006	71.5
		026	65.9			014	50.4
8	3	005	50.9			020	47.4
		015	50			024	48
		024	44	9	2	005	84.5
		047	80.5			020	45.4
8	14	006	56.5	9	17	047	80.5
		015	51			005	108
		033	40.2			020	53.4
8	21	005	45.3			026	51
		020	62.5	10	13	007	40
		024	61				

1970							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	8	047	80.5	7	24	006	52
6	21	006	80.2	9	12	020	56.5
		020	52.1			024	52
6	26	047	70.5			026	42.5

1971							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	26	014	50	9	30	015	65
		026	40			024	51
6	19	001	59	10	2	006	38
		005	48.5			020	41.4
7	27	047	63			033	42.5
8	13	001	45	10	13	006	99.2
9	12	014	58			014	42
		033	50				

1973							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	16	005	36.8	8	10	014	66.5
		047	37.2			024	69
6	22	033	50			047	65.2
		047	65.4	8	15	005	41.3
6	27	014	57			015	52
7	1	005	50.5	9	4	005	48
		024	55.5			020	45.5
		047	65.2			024	76
7	6	020	52.7	9	10	001	53
		047	67.5			047	60.8
7	22	020	78.8	10	11	047	48.5
		026	48.2	10	31	014	75.5
		047	82.5				
7	30	005	57.7				
		015	92				

1974							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	25	047	46.5	7	11	001	68
6	19	005	52.8	7	17	006	58.9
		014	50.5			014	45.5
		033	45.3			026	48.6
6	20	024	99	8	30	033	51
		033	56.2	9	13	024	66.5
6	21	020	82.3	9	22	001	56
		026	49.9			007	62
		033	49.5				

1977							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	13	026	54.8	8	12	020	54
		033	47.8			024	60.7
6	19	005	50.8	8	26	047	70.2
		026	52.2			005	47.7
6	22	006	59.5	8	28	024	51.3
		026	76.3			006	89
7	18	033	39.5	9	1	026	58.4
						033	43
						026	44
				10	31	024	58

1979							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	23	015	36.1	8	27	001	60
		020	40			015	51.5
7	13	026	43.9	9	9	005	45
		047	80.2	9	11	014	75
7	29	005	48.5				

1980									
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm		
5	18	014	53	8	9	005	40.2		
		015	40			033	44.8		
		024	36.5			8	10	014	44.5
		026	40.6					033	57.8
6	20	006	67.4	8	11	047	85.2		
		014	55.5			007	72		
6	21	007	53	9	12	015	65.5		
		033	60			026	65.5		
6	27	001	50.5	9	25	020	52		
		024	89	9	30	014	58		
7	20	006	54.5	9	30	047	59.9		
7	27	005	45			007	60		
		020	43.5	10	1	007	48.5		

1981							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	31	014	65	8	16	007	75
6	5	006	57			024	63.5
		026	49.1	8	20	024	44.2
6	11	007	66.5			033	40.5
		026	57.1	8	28	005	42.5
6	14	007	73			026	54
		015	60	047	102.5		
7	3	014	42.5	9	21	006	68.5
		020	66	9	29	007	51.5
7	27	020	44	10	10	005	40.4
		033	61.5			026	47.1
7	29	047	102				

1982							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	19	005	43.9	6	29	024	61
		047	65			026	60.6
5	21	026	33.1	7	13	047	62
		047	39			7	18
6	5	007	55	9	8		
		033	49			015	90.2
6	20	005	51.5	10	10	026	52.7
		007	59			006	39.5

1985							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	14	007	64.5	8	16	006	74
		026	67.5			007	73
		033	47.5			014	73
6	21	006	61.4	9	23	005	49
		014	68			007	60
		015	50.5	10	14	007	46
7	6	033	60.5				
7	22	026	53.5				
		033	38.5				

1987									
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm		
6	5	047	63	8	9	014	58.5		
6	9	020	73.5			8	14	015	56
		047	60					024	53.5
7	7	020	58	8	23	047	70		
		033	48			9	15	020	60
7	24	001	75	026	53.5				
		047	62.5	9	18			005	48
7	27	007	68			9	25	015	58
		047	62						

1988							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	17	001	65	7	19	014	51.5
		006	79			024	70
6	24	026	45.5	8	11	006	81.5
		033	82.5			015	82.5
		020	60			8	15
6	28	005	78	006	96.5		
		014	74	8	16	020	52
		015	60			033	113.5
6	30	006	56	8	17	005	42
		024	60			006	87
7	8	006	78.5			020	56.5
7	11	006	96.5	9	18	006	85
7	15	007	82	9	25	006	67
		033	57.5				

1989							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	21	047	80	8	4	026	99
6	26	026	51.5	8	8	006	70
7	11	006	89			033	73
7	18	007	55	8	10	006	62.5
7	29	006	82.5			014	65
7	30	026	73	9	4	006	74
8	3	006	67	9	20	006	72.5
		026	89	10	4	015	47

1990							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	6	005	42	7	1	047	78
		006	84			005	52.5
		024	36	7	9	006	72.5
		047	40	7	11	006	56.5
5	13	006	76			015	73
		033	51	7	15	006	57
6	6	007	53.5			007	68
6	9	006	74.5	9	9	007	51.5
		007	62			026	44.5
6	10	006	62			033	48
		015	47	9	9	007	67.5
6	25	006	87	9	18	015	49
6	29	005	83.5			047	74.5
		024	52	10	22	006	39
						015	53

1991							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	27	001	60	7	20	006	58
		015	62			014	41
6	30	047	87	8	31	033	52
7	5	005	60.5	9	13	006	72.5
		047	62			047	69
		020	62	10	2	014	46
7	6	015	95		9	005	44.5
		026	56.5			024	63

1992							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	26	005	54.5	9	16	005	52.4
5	29	014	55			020	46.5
5	31	006	56.5			026	59
7	15	047	64			015	47
7	20	015	52	9	23	026	48
		026	57			047	66
8	21	007	63				

1994							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	19	047	34.5	8	13	005	41.5
6	22	020	62.5			006	66.5
		026	50	9	17	020	55
7	10	015	61.5	10	3	006	38
		033	40			033	53.5
8	6	020	58			047	50.5
		015	60	10	9	006	41..5

1995							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	25	014	40	7	11	006	75.5
		047	38.5			024	51.5
5	26	015	57.5	7	13	026	49
		020	42.5	8	2	006	75.5
		024	53			024	45.5
5	28	006	53	8	6	026	50
		033	43			006	75.5
		047	43.5			007	157.5
5	29	007	88	8	11	005	43
		014	49			020	60
		015	44.5	8	15	026	49
		024	75.5			014	69
		026	47			9	2
6	13	005	48.5	9	26	024	45.5
		047	68			015	53
7	6	020	59			026	57.5
						033	41.5
						10	4

1996							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	5	006	72.5	8	22	005	53
6	15	006	59.5			014	62
		007	67			026	71.5
7	3	006	60.5	8	27	033	41
		020	46.5			005	43.5
7	6	020	62.5	10	3	001	41.5
8	11	047	67	10	8	015	79.5
						024	50

1997							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	11	015	68	8	16	001	57
6	23	047	80.5			020	56.5
7	2	014	62	8	24	015	53
		047	69.5	8	29	026	50.5
7	18	005	65.5	9	8	024	61.3
		020	69	10	7	007	77
		10	13	026	43.5		

1998							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	6	026	62.5	9	20	015	59.6
7	2	007	83			026	39.2
7	11	33	61			033	76
8	24	14	47	9	24	007	58.5
8	30	005	53			014	72
		014	60			024	78.3
		024	57.9	9	26	001	60
9	7	015	53.5			020	56.2
		047	68.6	10	17	047	62.2

1999							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	16	020	74	8	24	006	60.8
	17	020	50.2			026	66.7
6	27	026	48.5			033	48.2
7	3	020	49.2	9	2	005	61
		047	93.3	9	4	020	65.2
7	17	005	43	10	1	033	40.5
		006	63			024	45.4
		024	50.9			033	55
7	18	020	44.9	10	8	001	54.5
		024	52.7			014	51
		026	41.6			015	55
8	19	007	61			020	48.7
		024	60.3				

2000							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	26	014	59	9	13	014	56
5	27	015	44.5			020	49
		047	66.5	10	6	001	47
6	10	026	66			024	45.5
8	12	001	50			047	47
	28	007	62				

2001							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	13	020	53.5	8	3	006	70.5
6	2	005	72			014	51
				026	57	9	11
6	11	006	100.5	020	46		
		024	52	047	54.5		
7	2	001	80	9	13	006	71
		020	80.5			033	47
7	12	015	60	9	23	001	62
		026	58			024	70.5
7	24	015	61.5			026	41.5
		020	47				

2002							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	30	026	42	9	11	006	60.5
		033	41			014	58
6	5	007	62.8	9	13	020	46.5
		047	84.5			026	60.5
6	14	006	60.5	9	22	007	70
		007	57.5			020	54
8	12	015	52.5	9	25	047	64.5
		047	65	10	3	006	40.5
						015	44

2003							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
5	15	026	49	9	25	005	43
6	22	006	74.5			006	62.5
		014	55	014	56		
6	24	047	81.5			015	48.5
7	3	003	46.5			020	59.5
		020	50.5			024	81.5
		024	65.5			026	65
9	3	005	57.5	10	13	006	41
		020	56.5			024	63.5
		026	45	10	15	020	43
						047	69.5

2004							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	9	005	60	7	22	014	68
6	16	006	58.5			024	55.5
7	3	026	64	8	2	026	53
		033	56			033	48.5
7	11	005	48	8	22	020	57
		020	47	10	8	005	60
		047	80			024	71.5
				10	15	026	63.5

2005							
MES	DÍA	clave	mm	MES	DÍA	clave	mm
6	29	005	100	8	13	005	47
		020	98.5			015	83.5
		024	80.1	8	25	001	62
		047	66.5			005	45
7	5	007	69			015	65.5
		014	104			026	52
		047	61.5	8	28	005	54
7	10	006	72			026	51
		026	54.5	8	30	006	83
7	18	005	42			014	64
		007	60			024	48.5
7	24	047	71	10	5	047	78.5
		005	50	10	11	007	59
		006	94.5				
		015	90				

## Anexo 4.-POSIBLES ERRORES IDENTIFICADOS EN LA BASE DE DATOS CLICOM.

AÑO	MES	DÍA	PRECIPITACION	TEM. MAX	TEM. MIN
ESTACION 17001					
1997	8	15	0	30.5	10
<b>1997</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>56.7</b>	<b>31</b>	<b>10.5</b>
1997	8	17	0	31	12.5
2001	7	1	25	30	9
2001	7	2	80	31	10
2001	7	3	15	30	11
ESTACION 005					
1999	10	7	7	26	17
<b>1999</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>57</b>	<b>28</b>	<b>15</b>
1999	10	9	0	28	16
2003	6	20	10	28	18
<b>2003</b>	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>103</b>	<b>26</b>	<b>17</b>
2003	6	22	12	28	16
ESTACION 006					
1988	10	23	0	31.5	17.9
<b>1988</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>56.5</b>	<b>31</b>	<b>18.2</b>
1988	10	25	0	30	18.2
1991	10	4	0	28.6	17.8
<b>1991</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>98</b>	<b>29</b>	<b>19.2</b>
1991	10	6	0	27.4	19.2
1992	9	15	0	29	17
<b>1992</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>80</b>	<b>29</b>	<b>17</b>
1992	9	17	0	25	17
2001	8	2	0	29	17
<b>2001</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>70.7</b>	<b>29</b>	<b>18</b>
2001	8	4	0	30	17
ESTACION 17007					
1981	10	8	0	38	18
<b>1981</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>80</b>	<b>36</b>	<b>18</b>
1981	10	10	5	36	18.5
2001	10	13	0	33	18
<b>2001</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>52.3</b>	<b>34</b>	<b>18</b>
2001	10	15	1	30	19
ESTACION 17014					
2001	6	10	10	25	15
<b>2001</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>112</b>	<b>26.5</b>	<b>16.5</b>
2001	6	12	8	27	15.5
ESTACION 17033					
1980	10	27	0	33	17
<b>1980</b>	<b>10</b>	<b>28</b>	<b>41.5</b>	<b>33</b>	<b>18</b>
1980	10	29	3	31	17
1981	10	8	0	32	17
<b>1981</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>62</b>	<b>31</b>	<b>18</b>
1981	10	10	0	33	18
1987	8	9	3.6	27	18
<b>1987</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>52.8</b>	<b>27</b>	<b>17</b>
1987	8	11	0	26	17
1987	9	17	0	29	19
<b>1987</b>	<b>9</b>	<b>18</b>	<b>76.5</b>	<b>28</b>	<b>19</b>
1987	9	19	0	27	21
1988	8	17	20	23	16
<b>1988</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>121</b>	<b>23</b>	<b>16</b>
1988	8	19	19	24	17