



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**“EVALUACIÓN DEL RIESGO EN EL SECTOR AGRÍCOLA  
POR LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

***LICENCIADO EN GEOGRAFÍA***

P R E S E N T A:

**CAROLINA NERI VIDAURRI**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. VÍCTOR O. MAGAÑA R.**



**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

Ciudad Universitaria, México

2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

ESTO NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## **AGRADECIMIENTOS**

*A quienes me ayudaron a que este trabajo de tesis fuera posible:*

*A Víctor, por darme la oportunidad de ser parte de su grupo de trabajo en el Centro de Ciencias de la Atmósfera. Por iniciarme en los temas atmosféricos y enseñarme la importancia que tiene la dedicación y perseverancia en un proyecto de investigación. Además, por su confianza y amistad.*

*A mis sinodales: Dr. Ernesto Jáuregui, Dra. Teresa Reyna, Dra. Cecilia Conde y Lic. María de la Paz Medina. A cada uno, por su tiempo dedicado a las correcciones de esta tesis y por sus acertados comentarios y consejos que son de gran importancia para mi formación y desarrollo profesional.*

*De una manera especial, al Ing. Francisco Neyra por su apoyo incondicional a este trabajo y por sus valiosas enseñanzas acerca de la agricultura oaxaqueña. Y de manera general, a los **agricultores y campesinos** del bello Estado de Oaxaca, a quienes va dirigida este trabajo de tesis.*

*A mis compañeros del grupo de trabajo del CCA: Rosa, Matías, Ale, Manuel, Arturo, Miguel Ángel y Gustavo. De manera particular a Ernesto C. por su amistad.*

*A los colegas que participan en el Seminario permanente de “Vulnerabilidad Social y Desastres” en el CIESAS, esencialmente a Jesús M. M. y a Georgina C. por enseñarme la visión social de los desastres.*

*A quienes me motivaron e hicieron que el tiempo fuera más llevadero...*

*A mi familia: mi mamá, Lupita; mi papá, Fede y mi hermana la Reina. Ustedes han sido un gran ejemplo de trabajo, responsabilidad, respeto, ética, fortaleza y sobre todo amor.*

*A mi compañero de sueños y fantasías, Alex. Por permanecer en todo momento a mi lado lleno de templanza, paciencia y amor.*

*No podrían faltar "como siempre", con un cariño especial a mis amigos triatletas: Ale, Erandi, Mario, Silvia, Miriam, Manuel, Israel, Mauricio, Homan, Areli, Elis, Denis, Luz, Said, Elena, Daniel, Mar, Wifer, Hugo, Paco, Moisés, Bernardo, Paquito, Arcelia, Fabián, Luis y alguno que otro que se me va... - Sin ustedes, el deporte no se disfrutaría igual -.*

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

NOMBRE: Carolina Neri Vidauri

FECHA: 5-12-04

FIRMA: Neri Vidauri Carolina

*A mi hermosa familia*

*Con mi eterno agradecimiento e infinito amor...*

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>I</b>
<b>CAPÍTULO 1. USOS DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA</b>	
1.1 La importancia del clima en la agricultura.....	1
1.2 Impactos del clima en la producción agrícola.....	3
1.3 Amenaza, vulnerabilidad y riesgo: conceptos y definiciones.....	10
1.4 Esquema de toma de decisiones en agricultura basado en predicciones climáticas....	13
1.5 El caso del Estado de Oaxaca: actividad agrícola – clima.....	19
1.6 Objetivos.....	26
<b>CAPÍTULO 2. EVALUACIÓN DEL RIESGO EN OAXACA</b>	
2.1 Datos.....	27
2.2 Metodología.....	28
2.3 Ciclo fenológico del maíz. Requerimientos agroclimáticos.....	31
2.4 Características espacio – temporales del clima de Oaxaca.....	34
a) Ciclo anual del clima.....	35
b) Inicio de la temporada de lluvias y canícula.....	35
c) Formas de variabilidad interanual del clima.....	37
2.5 Resultados.....	39
2.6 Esquema de toma de decisiones usando pronósticos climáticos para Oaxaca.....	50
<b>CAPÍTULO 3. LA IMPORTANCIA DEL PRONÓSTICO CLIMÁTICO</b>	
3.1 El caso de otras entidades.....	54
3.2 Mecanismos para evaluar el riesgo regionalmente.....	57
3.3 Importancia del pronóstico climático.....	59
<b>CAPÍTULO 4.</b>	
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### Tablas

#### CAPÍTULO 1

- Tabla 1 Afectaciones en varios estados por sequías de 1979 a 1988*
- Tabla 2 Principales cultivos de Oaxaca. Datos promedio del periodo de 1980 - 2001*
- Tabla 3 Distribución del maíz de temporal por DDR's en Oaxaca*

#### CAPÍTULO 2

- Tabla 4 Matriz de riesgo*
- Tabla 5 Fases fenológicas del maíz*
- Tabla 6 Distribución climática por regiones en Oaxaca*
- Tabla 7 Episodios de ENOS*
- Tabla 8 Promedios agrícolas según episodio Niño*
- Tabla 9 Promedios agrícolas según año normal*
- Tabla 10 Promedios agrícolas según episodio Niña*
- Tabla 11 Resultados del análisis comparativo*
- Tabla 12 Rangos de rendimiento*
- Tabla 13 Resultados de la Matriz 1*
- Tabla 14 Rangos de precipitación*
- Tabla 15 Relación Precipitación – Rendimientos. Periodo 1969 - 2001*
- Tabla 16 Resultados de la Matriz 2*
- Tabla 17 Resultados de la Matriz 3*
- Tabla 18 Episodios de ENOS + 1 año*
- Tabla 19 Resultados de la Matriz 4*
- Tabla 20 Resultados de la Matriz 5*



## **Figuras**

### **INTRODUCCIÓN**

*Fig.1 Superficie potencialmente apta para el cultivo del maíz de temporal. Escenario actual.*

### **CAPÍTULO 1**

*Fig. 2 Principales riesgos climáticos en México*

*Fig. 3 Diagrama que representa la circulación atmosférica tropical y las condiciones medias del Océano Pacífico durante a) un año normal y b) un año El Niño*

*Fig. 4 Esquema de los conceptos asociados al riesgo*

*Fig. 5 Árbol de toma de decisión*

*Fig. 6 Regiones de Oaxaca*

*Fig. 7 Lámina de precipitación de mayo a octubre y la diferencia (año  $n$  - año  $(n-1)$ ) del rendimiento del maíz grano de temporal*

### **CAPÍTULO 2**

*Fig.8 Ubicación de la estación Oaxaca de Juárez*

*Fig.9 Requerimientos mensuales de agua para el maíz grano y el promedio de precipitación acumulada en la estación Oaxaca de Juárez más y menos una desviación estándar*

*Fig.10 Ciclo anual de la precipitación en Valles Centrales, Oaxaca, periodo 1969 - 2001*

*Fig.11 Comportamiento de la canícula en Valles Centrales, Oaxaca*

*Fig.12 Comparación del ciclo anual de la precipitación durante año Niño (1982) y año No-Niño (1980)*

*Fig.13 Relación de ENOS y el grado de siniestralidad (sup.siniestrada/sup.sembrada) del maíz en Oaxaca. Periodo 1980 - 2001*

*Fig.14 Distribución de la precipitación mensual de verano para años secos y la media para el periodo de 1969 - 2001*

*Fig.15 Árbol de decisiones para el caso de Oaxaca*

### **CAPÍTULO 3**

*Fig.16 Histograma de precipitación de verano (mayo a octubre) y rendimiento de maíz de temporal para Jalisco*

*Fig.17 Histograma de precipitación de verano (mayo a octubre) y rendimiento de maíz de temporal para Durango*

*Fig.18 Histograma de precipitación de verano (mayo a octubre) y rendimiento de maíz de temporal para Tamaulipas*

*Fig.19 Histograma de precipitación de verano (mayo a octubre) y rendimiento de maíz de temporal para Oaxaca*

## INTRODUCCIÓN

El sector agrícola mexicano se encuentra en crisis (Calva, 1988). Reflejo de ello es su baja contribución al Producto Interno Bruto Nacional (PIB) del país y el descontento de la mayoría de los campesinos por sus condiciones de vida. La falta de inversión gubernamental en este sector aunada a políticas de apoyo inadecuadas y problemas políticos y sociales han hecho que el sector pierda importancia en la economía nacional, que sea alta la migración y que el país sea dependiente en el sector alimentario.

La agricultura es la actividad económica que ocupa la mayor superficie en el territorio nacional y emplea a un mayor número de personas (uno de cada cuatro mexicanos vive del campo). Sin embargo, los empleados en este sector tienen los niveles más elevados de pobreza. Adicionalmente, la mayor parte del agua del país (75%) se utiliza en este sector.

Uno de los problemas en el campo mexicano está relacionado con el uso limitado de tecnologías modernas. Aunque, las nuevas tecnologías y el avance en materia de Biogenética han contribuido notablemente al desarrollo de la agricultura, su impacto en México es magro, ya que las prácticas agrícolas siguen esquemas tradicionales.

En México predomina la agricultura de temporal, por lo que el clima determina en gran medida la producción y rendimiento de los cultivos. Año con año vemos en diferentes medios de comunicación noticias de costosas pérdidas en el campo relacionadas con sequía, inundaciones, heladas, lluvias excesivas, etc, como una muestra de la alta vulnerabilidad de las prácticas agrícolas a los extremos climáticos.

Si bien existen muchos otros factores socioeconómicos que incrementan la vulnerabilidad y disminuyen la capacidad de adaptación frente a los fenómenos climáticos, el estudio de la variabilidad climática demuestra que el entendimiento del clima y el conocimiento de la fenología de los cultivos puede reducir en gran medida la vulnerabilidad de este sector.

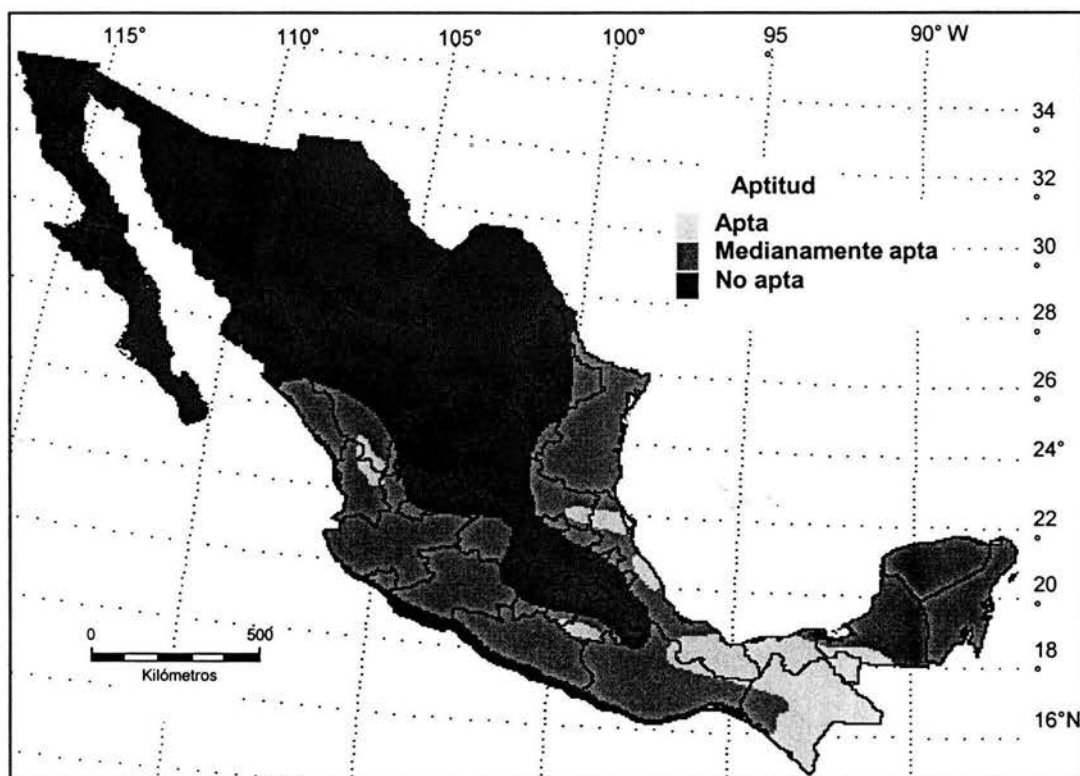
Esta investigación presenta una visión alternativa a los estudios hasta ahora realizados en el campo de la Geografía Física de México en el área de Agroclimatología. Más allá de la descripción de los aspectos físicos, económicos y sociales que caracterizan al sector agrícola de un lugar, se presenta una propuesta para evaluar el riesgo de los cultivos a la variabilidad climática. El riesgo es evaluado en términos de la probabilidad de que ocurra un evento climático que afecte al cultivo. Con base en ello, se busca presentar un esquema de toma de decisiones que ayude a la planeación de las actividades agrícolas.

Este trabajo es resultado de una investigación en un tema poco desarrollado en México, por lo que la mayor parte de la información se obtuvo de instituciones mundiales, tales como la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), International Research Institute for Climate Prediction (IRI), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Considerando que el maíz es el cultivo más representativo de la agricultura en México, en el estudio se le toma como parámetro para realizar una evaluación del riesgo. El maíz es el cultivo que ocupa la mayor superficie de siembra, tiene los volúmenes más altos de producción y es de gran importancia en la canasta básica de alimentos del país, aún y cuando se conoce que sólo ciertas regiones son aptas para ello (Fig. 1) (Flores et al, 2000). El modelo conceptual bajo el cual se realizó la Fig. 1, evaluó la aptitud de un tipo de maíz "modelo" a partir de requerimientos óptimos de temperatura (Sánchez S, 1983) y precipitación (SEP, 1983), esto es, no se consideró ninguna raza ni variedad particular de maíz. Además, en este modelo no se consideraron aspectos como la orografía y la tecnificación agrícola.

El Estado de Oaxaca es un ejemplo de región poco apta para el cultivo de maíz, pero culturalmente dedica mucha de su superficie a esta práctica. Por ello, se consideró como caso de estudio el Estado. Se ha trabajado además con extensionistas (especialistas que

trabajan directamente con los campesinos) y agrónomos de la región de Valles Centrales, Oax., el uso del pronóstico climático en la planeación de las prácticas agrícolas. Este es un trabajo reciente, resultado de la necesidad de los agricultores de un conocimiento más preciso del tiempo y del clima.



*Fig. 1 Superficie potencialmente apta para el cultivo del maíz de temporal. Escenario actual  
(Flores et al, 2000)*

El primer capítulo de esta tesis discute la importancia del uso de la información climática en las prácticas agrícolas. Se presentan cifras relacionadas con pérdidas en el campo con la finalidad de demostrar los impactos del clima en el cultivo del maíz. Se plantean las definiciones de riesgo, vulnerabilidad y amenaza o peligro, y el método para elaborar los esquemas de toma de decisión. Se incluye un panorama de la situación de la actividad agrícola en el estado de Oaxaca, para conocer cuáles son los principales factores, tanto físicos como socioeconómicos, que tienen mayor influencia en el sector.

En el segundo capítulo se presentan las bases de datos que se utilizaron y la metodología para estimar el riesgo en el Estado de Oaxaca. Se da una descripción general de los requerimientos agroclimáticos óptimos del maíz. En este capítulo se analiza la variabilidad climática en Oaxaca y los principales factores que la modulan. Posteriormente, se presentan los resultados de la estimación del riesgo y con base en ellos, se plantea un esquema de toma de decisiones para el Estado.

En el tercer capítulo se presenta un breve estudio del riesgo en otras entidades y se plantea un mecanismo para evaluar el riesgo regionalmente. Como último punto, se analiza en forma particular, la importancia del uso del pronóstico climático en la toma de decisiones.

Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan las conclusiones de esta investigación.

## CAPÍTULO 1. USOS DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA

*“Un pronóstico climático perfecto es perfectamente inútil a menos que cambie una decisión”*

*H. Meink y R. Stone*

### 1.1 La importancia del clima en la agricultura

El clima es un factor determinante en el desarrollo y distribución de actividades socio-económicas, tales como agricultura, ganadería, pesca, generación de energía eléctrica, comunicaciones, entre otras. Aunque desde hace tiempo se realizan numerosas actividades aprovechando el conocimiento histórico del clima, todavía queda mucho por hacer para aprender a beneficiarse de las ventajas que ofrecen determinadas condiciones climáticas, así como evitar pérdidas y destrucción que traen diversas condiciones del tiempo meteorológico extremo.

Las variaciones climáticas impactan año con año de manera desigual a los sectores económicos y sociales. Para el sector agrícola, las variaciones en el clima pueden determinar el éxito o el fracaso de dicha actividad. Tal condición es particularmente cierta para la agricultura de temporal. Una buena temporada de lluvias, aunada a condiciones adecuadas de temperatura y ausencia de eventos extremos son elementos que garantizan el éxito de las cosechas. Sin embargo, estos elementos climáticos no son una constante, sino que presentan una gran variabilidad.

La producción agrícola en México, cada año se ve amenazada por eventos climáticos extremos, tales como sequías, inundaciones y heladas. Esto cobra considerable importancia dado que la mayor parte de las prácticas agrícolas se realizan bajo condiciones de temporal, coincidiendo con las lluvias de verano. De acuerdo con datos de la Secretaría de

Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación (SAGARPA, 2002), se siembran anualmente cerca de 20 millones de hectáreas, el 80% corresponde al ciclo P-V y genera el 70% de la producción agrícola anual. De esta superficie, el 87.5% se cultiva en condiciones de temporal.

Quienes practican la agricultura tradicional, tienen cierto conocimiento de su medio, obtenido a través de la observación constante del entorno. Tal conocimiento los ha llevado a elaborar pronósticos del clima basándose en la presencia de fenómenos, como la forma y color de las nubes o el comportamiento de algunos animales. Esto se refleja en dichos o expresiones populares referentes a la temporada de lluvias. Por ejemplo, en el Estado de Tlaxcala se usan dichos tales como “marzo florido, año perdido”, se entiende que para los agricultores las lluvias en marzo no indican un buen inicio para las siembras, mientras que en el dicho “lluvias de abril, granos mil”, significa que un buen inicio de la temporada de lluvias es fundamental para el desarrollo del cultivo (Magaña et al, 1999).

Para reducir la vulnerabilidad a las fluctuaciones del clima, los agricultores han diseñado algunas medidas de adaptación como son el riego por goteo, las cortinas rompevientos, la producción de humo de combustión o las capas protectoras de paja y estiércol. Por otra parte, se han desarrollado numerosas tecnologías, como la hibridación y la selección de semillas mejoradas que han ampliado los límites fenológicos de los cultivos. Actualmente, se cultivan variedades más resistentes a sequías o nevadas y se utilizan grandes cantidades de fertilizantes y productos químicos. Sin embargo, muchas de estas opciones representan una inversión que no están al alcance del presupuesto de la mayoría de los campesinos y no garantizan el éxito ante la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

En la actualidad, las prácticas agrícolas en la mayor parte del país siguen siendo predominantemente tradicionales debido en parte al escaso conocimiento del clima. Es por ello, que resulta relevante, tanto en la planeación como en la toma de decisiones, entender cuáles son los mecanismos que controlan el clima con la finalidad de evitar y/o disminuir los impactos negativos de las condiciones extremas del clima.



## 1.2 Impactos del clima en la producción agrícola

Los principales eventos climáticos considerados como amenazas para la agricultura están relacionados con la cantidad y distribución de la precipitación, es decir, las sequías y lluvias excesivas (Fig. 2).

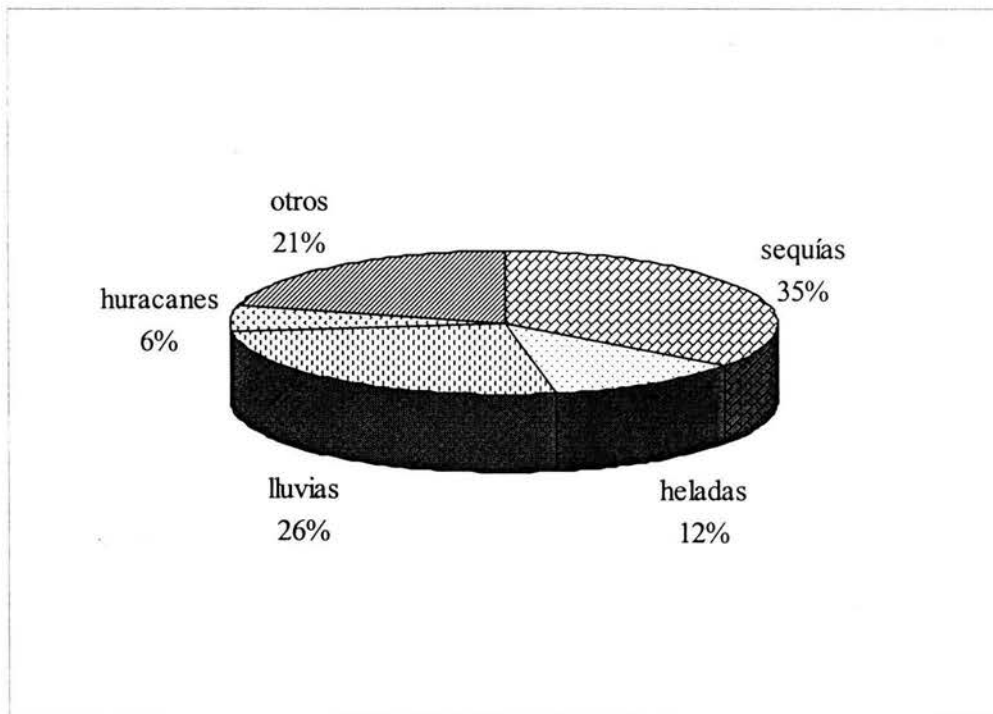


Fig.2 Principales riesgos climáticos (Agroasemex, 2002)

Se han realizado algunos estudios en los que se evalúan los impactos de las sequías en México. Por ejemplo, Reyna (1970) realizó un estudio de la distribución e intensidad de la sequía intraestival en México y sus efectos en cultivos como maíz y frijol. Florescano (1980) relacionó el aumento de la vulnerabilidad a la sequía durante la época de la colonia en México debido a las imposiciones económicas españolas. Liverman (1990) realizó un análisis de la vulnerabilidad a la sequía y su relación con las nuevas tecnologías agrícolas y la distribución de la tierra en México. García (1993) realizó una investigación sobre los efectos sociales y económicos de las sequías de los siglos XVI al XIX.

En todos estos estudios se demuestra la alta vulnerabilidad de la agricultura ante la falta o escasez de lluvias, así como sus consecuencias que pueden llegar a ocasionar desequilibrios sociales y económicos.

Algunas de las sequías en México se han relacionado con la presencia del fenómeno El Niño también conocido como El Niño–Oscilación del Sur (ENOS o ENSO por sus siglas en inglés). Sin embargo, este fenómeno sólo explica una parte de la variabilidad interanual del clima en muchas partes del mundo.

De una manera breve, un episodio El Niño puede ser explicado como un debilitamiento de los vientos superficiales, lo cual genera que el agua caliente que normalmente se acumula en el Pacífico del Oeste, se redistribuya a lo largo del Pacífico tropical. Al aparecer anomalías positivas de temperatura en el Pacífico tropical, la actividad convectiva se desplaza hacia el este. Esto origina que donde antes llovía poco, se produzcan lluvias intensas, mientras que donde antes llovía mucho, llueva menos. Las condiciones opuestas, es decir, anomalías negativas en la temperatura superficial del mar, y el reforzamiento de los vientos del este, se conoce como condición La Niña (Fig. 3) (Magaña et al, 1999).

En los primeros años de la década pasada (1991–94) se experimentó un ENOS casi permanente, siendo hasta finales de 1995 que aparecieron las condiciones de La Niña. Algunas descripciones del clima presentan a El Niño o La Niña como desviaciones de la condición normal del Pacífico tropical. Sin embargo, puede pensarse que la condición normal es un estado fluctuante entre ambos estados (Magaña et al, 1999).

En México, la señal de El Niño se refleja esencialmente en que las lluvias en invierno se intensifican en el noroeste del país, mientras que las de verano se debilitan. En la zona centro y norte del país se incrementan los frentes fríos en invierno, en tanto que en verano aparece la sequía y disminuye el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Magaña et. al. 1999).

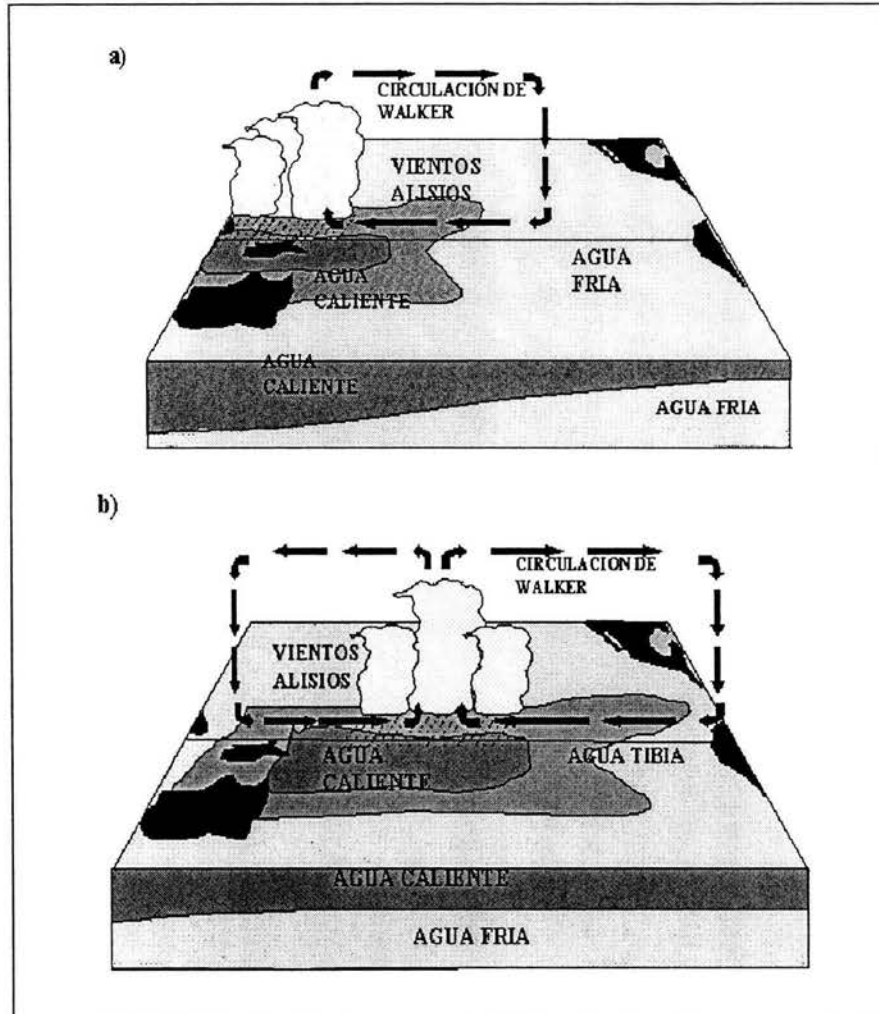


Fig. 3 Diagrama que representa la circulación atmosférica tropical y las condiciones medias del Océano Pacífico durante a) un año normal y b) un año El Niño (Magaña et al, 1999)

Cabe señalar que no todas las sequías pueden explicarse a partir de El Niño, es decir, puede haber años secos que no son Niño ni Niña. Actualmente, las costosas pérdidas agrícolas relacionadas a las severas sequías han generado interés tanto en el sector agrícola como en el político. Así, en los últimos años se habla constantemente de sequía sin aclarar si ésta es meteorológica, hidrológica o agrícola. Esto ha llevado a justificar la alta vulnerabilidad del sector, haciendo referencia a la amenaza de constantes extremos climáticos como algo que va más allá del control y responsabilidad humana. Algunos hablan de una prolongada

sequía de más de una década, cuando las fluctuaciones de la lluvia, si bien negativas, están dentro de los rangos normales.

El término de sequía usualmente es confundido con el término de aridez. Según Magaña (2001) es sorprendente que es en mayo cuando comienzan a aparecer las primeras solicitudes de apoyo contra “la sequía”. Se argumenta que hasta esa fecha en cierto estado no ha llovido durante 5 meses y que por lo tanto están sufriendo una sequía desastrosa. Sin embargo, dadas las condiciones normales del clima en México durante invierno llueve muy poco. Es decir, no se puede hablar de sequía donde generalmente llueve poco, en este caso se debería hablar de aridez.

Es por ello, que es importante definir y usar correctamente los términos y definiciones climáticas. En el caso de la sequía se han desarrollado algunas definiciones pensando en los impactos sobre sectores sociales y económicos. Wilhite y Glantz (1985) presentan algunas definiciones para la sequía:

*Sequía meteorológica;* se define en términos de una disminución de precipitación por debajo de lo “normal” o promedio. Existe diversos criterios para declarar la ocurrencia de una sequía meteorológica, algunos de ellos se basan en el uso de un valor umbral dado, en otros usan criterios estadísticos. Este tipo de sequía es un proceso totalmente natural, sin influencia humana.

*Sequía hidrológica;* ocurre cuando las fuentes de agua en la superficie y en el subsuelo están por debajo del nivel medio. Este tipo de sequía se manifiesta en superficie con una disminución en escurrimientos, caudales de ríos y niveles de almacenamiento de presas. Aunque resulta en general a consecuencia de una sequía meteorológica, el manejo del agua (factor humano) puede llevar a que ciertas regiones experimenten sequía, es decir, no es totalmente natural.

*Sequía agrícola*; se refiere a una situación en que la cantidad de agua disponible en el suelo no satisface las necesidades hídricas de un cultivo en particular. Este tipo de sequía depende de condiciones de sequía meteorológica, afectando a los cultivos más sensibles a este déficit de agua. Es en esta etapa en que muchos organismos oficiales toman nota de la sequía e inician los programas para mitigar los efectos negativos. La ocurrencia de esta sequía depende en cierta medida de las anteriores, pero en mucha mayor medida de la vulnerabilidad del sector agrícola, por lo que su ocurrencia depende mayormente de factores humanos.

A continuación, se presentan algunas cifras de pérdidas agrícolas asociadas con la sequía meteorológica. Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2001) entre los años 1979 y 1988 algunos estados del país sufrieron 10 años de sequías consecutivas. En este periodo se presentaron 3 episodios de El Niño: 1982, 1986 y 1987, y uno de La Niña en 1988.

En número de años de ocurrencia se tiene que Coahuila y Guanajuato tuvieron 10 años de sequía, le siguieron Durango y Zacatecas con 9. Los estados que perdieron más hectáreas por estas causa en orden decreciente fueron: Guanajuato, Zacatecas, Jalisco, Durango, y Tamaulipas (ver tabla siguiente).

*Tabla 1 Afectaciones en varios estados por sequías de 1979 a 1988*

Estado	Miles de ha pérdidas	Monto (millones de pesos corrientes)	Años de ocurrencia del periodo
Coahuila	260	20	10
Durango	1287	66	9
Guanajuato	4525	234	10
Guerrero	741	32	8
Jalisco	1973	175	7
Nuevo León	397	40	8
Querétaro	507	29	8
Tamaulipas	1116	47	8
Zacatecas	2627	150	9

(CENAPRED, 2001)

En 1988 la sequía dejó un saldo de 542 mil hectáreas dañadas totalmente, de las cuales un 40% correspondieron al estado de Oaxaca y otro 30% al Estado de México. A la cifra anterior se sumaron otras 439 mil hectáreas que sufrieron daños parciales.

En la década siguiente, las sequías tuvieron efectos devastadores en varios estados. En 1994, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática reportó que prácticamente todo el país fue afectado por la sequía, de tal manera que de las 186,000 hectáreas siniestradas, la mayor parte se debió a este fenómeno. Los estados más afectados fueron: Quintana Roo (55,942 ha), Chihuahua (38,419 ha), Puebla (34,283 ha), Veracruz (17,743 ha) y Jalisco (15,439 ha), y los cultivos más afectados fueron maíz, frijol y trigo (Flores et al, 2000).

El reporte de 1995 fue similar al del año previo, las sequías arrasaron 45 mil hectáreas de cultivos, de las que casi la mitad correspondieron al estado de Durango; también se reportaron otras 31 mil hectáreas afectadas parcialmente. Este fenómeno también repercutió en la pérdida de 98,700 cabezas de ganado, principalmente de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Jalisco, Nuevo León, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas y Yucatán.

El Niño de 1997 provocó importantes cambios en la distribución y abundancia de las lluvias. Extensas áreas tuvieron déficit de lluvia de hasta un 50% con respecto a lo normal, hecho que se reflejó en la superficie siniestrada para el cultivo de maíz grano. La severidad de la sequía para la agricultura de temporal del ciclo P-V fue tal, que se registraron pérdidas de más de 2 millones de toneladas de granos básicos (Magaña et al, 1999).

Ante la evidente vulnerabilidad de nuestro país, resulta cada vez más urgente desarrollar un sistema de planeación con la finalidad de disminuir los impactos negativos por condiciones extremas del clima. En este trabajo se pretende demostrar que el uso y conocimiento oportuno de la información climática, puede reducir la vulnerabilidad agrícola, dado que cuando se conoce la amenaza o el peligro se puede actuar de forma preventiva y considerarla en la planeación de futuras actividades.

En las últimas décadas hemos sido testigos de un avance importante en el entendimiento del clima, debido principalmente a la disponibilidad de fuentes de datos más completas y al acelerado uso de computadoras para su procesamiento. Las nuevas posibilidades de adquirir, archivar y procesar grandes volúmenes de información histórica y a tiempo real permiten identificar, planear y probar distintas relaciones integradas.

Así mismo, los métodos científicos para pronosticar los efectos de las variaciones climáticas en la agricultura son relativamente recientes. En la década de los setentas fue característico el uso de modelos de regresión para inferir relaciones estadísticas entre el clima y sus efectos potenciales en los rendimientos agrícolas. En 1974 la FAO, estableció un sistema de información y alerta sobre alimentación y agricultura a nivel mundial. Dicho sistema tenía como objetivos principales el seguimiento de las condiciones del clima, así como el pronóstico de rendimientos. Posteriormente, la OMM impulsó el uso de modelos agroclimáticos para la estimación de los impactos del clima en los cultivos (Conde et al., 1999).

En México se desarrolló el proyecto Estudio de País: México (Gay, 2000). Con él, se consiguió la implementación del modelo CERES-Maize para la evaluación de impactos de cambio climático en la producción de maíz. Actualmente, este modelo se está utilizando para analizar la producción de maíz en el Estado de Tlaxcala bajo diversas condiciones climáticas (Conde et al, 1998).

Actualmente, los agricultores requieren tener a su alcance y de manera oportuna información más específica sobre el clima de su región, con un carácter más científico y sobre bases físicas y climatológicas. Las prácticas agrícolas deben considerar los avances en materia de clima para hacer del conocimiento climático una verdadera herramienta de apoyo a los productores, principalmente al momento de planear sus actividades. La información anticipada de las condiciones climáticas esperadas tiene relevancia en la toma de decisiones en la producción agrícola, la cual tiene una importancia fundamental en la sociedad y en la economía nacional.

### **1.3 Amenaza, vulnerabilidad y riesgo: conceptos y definiciones**

Con la finalidad de precisar el uso de ciertos conceptos utilizados en este estudio, se presenta a continuación un breve análisis de la definición de los términos amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

Cuando se habla de los daños o desastres que ocasiona el clima en la agricultura, en realidad se está hablando de una expresión de los altos niveles de riesgo de la agricultura mexicana. Un desastre puede ser entendido como la materialización del riesgo y se debe aclarar que no existen los “desastres naturales”, pues no tienen nada de natural y sólo son reflejo de lo que los humanos pueden o dejan de hacer.

En años recientes ha existido un amplio debate entre las ciencias físicas y sociales acerca del tema de los desastres. La diferencia de sus enfoques radica en que las primeras ven a los fenómenos naturales extraordinarios (lluvias excesivas, huracanes, sismos, etc.) como la causa principal del desastre, mientras que las segundas mencionan que los desastres no son fenómenos extraordinarios, sino que son un componente específico de la propia sociedad, lo que implica que se pueden realizar procesos de adaptación (Rodríguez, 1999).

De lo anterior, se deduce que el argumento que da a los fenómenos naturales un carácter activo y a la sociedad un carácter pasivo-receptor no es la mejor base conceptual para establecer acciones encaminadas a prevenir desastres (Rodríguez, 1999). Indudablemente los fenómenos naturales tienen una importante incidencia en el desastre, sobre todo cuando se presentan con grandes magnitudes, pero sus impactos tienen que ver más con el estado general de vulnerabilidad que con el fenómeno en sí mismo.

La vulnerabilidad puede definirse como la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, según el grado de fragilidad de sus elementos (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta, desarrollo



político-institucional y otros), pueda sufrir daños humanos y materiales (CEPAL, 2000). La magnitud de esos daños, también está relacionada con el grado de vulnerabilidad<sup>1</sup>.

De este modo la vulnerabilidad no está determinada por la posible ocurrencia de fenómenos peligrosos sino por la forma en que las sociedades se han desarrollado y la forma en que la sociedad se organiza y se prepara para enfrentarlos y recuperarse de ellos. La vulnerabilidad es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado. De aquí se deduce que la tarea prioritaria para definir una política preventiva es reducir la vulnerabilidad, pues no es posible enfrentarse a las fuerzas naturales con el objeto de anularlas (Rodríguez, 1999).

Lo anterior se puede resumir en la Fig. 4, en la cual se explica que el riesgo es una combinación de una amenaza y de la vulnerabilidad a esa amenaza.

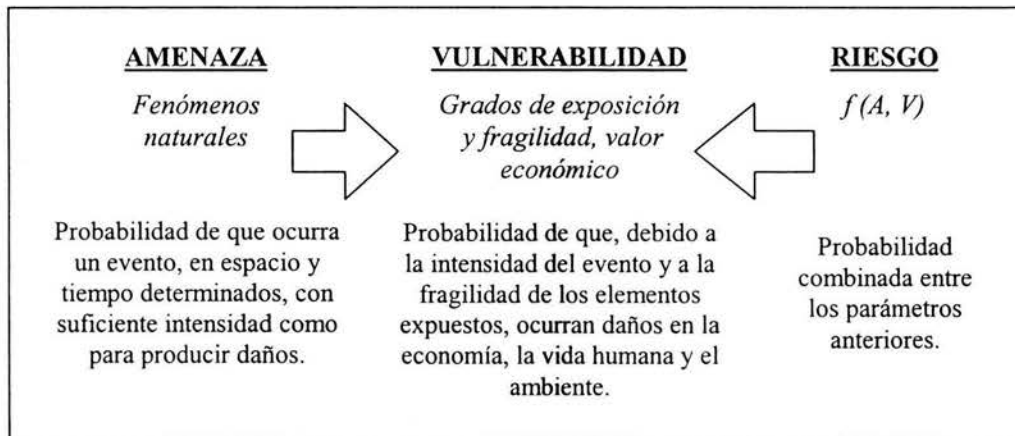


Fig. 4 Esquema de los conceptos asociados al riesgo (CEPAL, 2000)

En el caso de la agricultura, el riesgo climático corresponde a una combinación de las amenazas relacionadas con las variaciones de tiempo y clima, y la vulnerabilidad que, entre muchos otros factores sociales, se debe a la débil infraestructura para enfrentar las

<sup>1</sup> Según Rodríguez (1999), el grado de vulnerabilidad de una población se expresa en relación directa con su nivel de desarrollo en el que inciden, por ejemplo; mala ubicación espacial de la población frente a riesgos físicos, bajos niveles de ingreso, grados deficientes de organización social, etc.

amenazas meteorológicas. Por ejemplo, la falta de sistemas de riego en gran parte del país, hace que la vulnerabilidad de la agricultura mexicana a déficit de lluvia sea muy alta. Con frecuencia, no es necesaria una sequía meteorológica para que se pierda un cultivo. Incluso el desconocimiento de las amenazas meteorológicas entre campesinos y autoridades hace que la agricultura sea altamente vulnerable.

De lo anterior se deduce que la variabilidad del clima en si misma no siempre representa una amenaza para el sector agrícola. La verdadera amenaza se presenta cuando existe la posibilidad de que una condición climática tenga la capacidad de afectar a un sector. Por lo tanto, la amenaza al juntarse con una condición de vulnerabilidad genera riesgo.

La vulnerabilidad puede ser estudiada desde diferentes perspectivas (física, social, política, tecnológica, ideológica, cultural, educativa, ambiental o institucional). Para los fines de este estudio se considera a la sensibilidad que presentan los cultivos ante diversas amenazas climáticas como el fundamento para el análisis de la vulnerabilidad. Es decir, con base en los requerimientos fenológicos del cultivo se puede conocer si se presentaran las condiciones climáticas óptimas para que haya éxito en la producción.

De esta manera, a través del análisis de la variabilidad de clima y de la vulnerabilidad de los cultivos se pueden establecer índices agroclimáticos para estimar el riesgo de pérdidas para el cultivo. Si se considera dicho riesgo en la planificación de los ciclos agrícolas del estado, los agricultores podrán variar la estrategia de trabajo utilizando aquellas variedades que requieren de mucha agua, o aquellas variedades resistentes a la sequía. También se pueden alterar los tiempos de siembra usando variedades de ciclo corto, aunque de menor rendimiento, con la finalidad de disminuir las pérdidas en la producción y rendimiento.

En un contexto económico, el objetivo debe ser que las acciones hoy encaminadas a la mitigación de los daños sean acciones preventivas. Cuando el riesgo se conoce, se puede reducir la vulnerabilidad y tomar con anticipación las medidas preventivas para disminuir pérdidas.

#### **1.4 Esquema de toma de decisiones en agricultura basado en predicciones climáticas**

El uso de información climática, esencialmente el uso del diagnóstico y pronóstico climático, representa una herramienta de gran utilidad en la planeación de las actividades agrícolas. Los diagnósticos consisten en una evaluación de las condiciones históricas del clima. Los pronósticos por otra parte, proyectan las probabilidades de que una región esté fuera de las condiciones medias tradicionales para un elemento climático (Ej. lluvia).

Como ya vimos, el clima y sus variaciones son uno de los elementos más determinantes en la producción agrícola. Sin embargo, aún con la importancia que tiene el clima en este sector, el uso de la información climática no se ha modernizado con el tiempo. Aún se mantienen esquemas descriptivos del clima promedio que en poco ayudan a planear las actividades agrícolas año con año.

Es claro que sólo se puede explicar un pequeño porcentaje de las variaciones del clima, pero aun así la información climática puede ser de gran valor, dado que esta permite conocer en términos de la probabilidad de presentarse un cierto evento climático. Por ejemplo, el que la probabilidad de que la estación sea seca o lluviosa ya resulta en información de gran valor para planear la agricultura. No es lo mismo pensar en cierta variedad de maíz bajo la condición muy probable de sequía, a pensar que las lluvias estarán en un rango normal.

En algunos países se han establecido, con base en los impactos de El Niño en la actividad agrícola, planes de acción a partir del pronóstico de este evento. Por ejemplo, en Australia se cambia el tipo de semillas empleadas para hacer los cultivos más resistentes a condiciones de sequía. En los Estados Unidos dado que El Niño afecta las cotizaciones de granos o harina de pescado en la bolsa de Nueva York, las compañías aseguradoras invierten en pronósticos climáticos para establecer las primas de los seguros (Conde et al, 1999).

En otros países como en Zimbabwe, a partir de los resultados de un estudio (Cane et al. 1994) se concluyó que la producción agrícola en Zimbabwe presenta una relación directa con El Niño, lo cual hace pensar que el diagnóstico y pronóstico del El Niño son claves para la producción agrícola del país. En Perú, se decide en qué regiones se plantará arroz o algodón, dependiendo del pronóstico de El Niño. En el caso de México, se tienen valiosas experiencias obtenidas con la aplicación del pronóstico en el estado de Tlaxcala (Morales et al, 1999).

¿Cómo, dónde y cuándo se debe actuar usando el pronóstico climático? Ésta no es una pregunta sencilla, dado que el sistema de producción agrícola es un problema complejo y multidimensional.

Existen otros retos como establecer estrategias de comunicación constante de predicciones climáticas accesibles a los productores para que puedan hacer uso de la información. En este sentido, los medios de comunicación juegan un papel trascendente al ser responsables de difundir información suficiente o adecuada de los problemas de fondo ante un evento climático extremo, permitiendo que la sociedad conozca las dimensiones y efectos reales del fenómeno, así como los mecanismos de respuesta.

El pronóstico del clima es una herramienta potencialmente valiosa en la toma de decisiones. Dada la naturaleza probabilística de los pronósticos se pueden construir a partir de los resultados posibles escenarios. Estos son una combinación de la información sobre la situación futura del clima y las múltiples acciones que se pueden tomar. Los escenarios ayudan a apreciar las consecuencias de cualquier decisión potencial y por lo tanto pueden ayudar a elegir la decisión más apropiada.

Los trabajos recientes en la materia, han resultado en estrategias cuyo objetivo principal es proporcionar ayuda para la toma de decisiones. Para este estudio se realizó una adaptación del modelo “*Responding to Climate Forecasts*” realizado por el IRI ([www.iri.columbia.edu](http://www.iri.columbia.edu)). A partir del cual se propone los siguientes pasos:

Pasos para usar pronósticos del clima:

1. Realizar **diagnósticos** climáticos.

Esto es conocer la relación clima – cultivo y evaluar los posibles efectos. Si bien el clima afecta de cierta manera a todos los cultivos, éste lo hace de diversas maneras y en grados diferentes según sean los requerimientos fenológicos de los cultivos. Así, conocer el grado de **vulnerabilidad** de los cultivos ante ciertas amenazas climáticas, es decir, conocer qué aspectos del clima afectan a los cultivos (sequías, inviernos calientes, etc.) y cuáles son sus posibles consecuencias. Los diagnósticos se deben realizar con base en el estudio del clima regional y de los impactos de eventos climáticos pasados.

2. Construcción de **escenarios** posibles a partir de los **pronósticos** del clima.

Una forma de representar la relación entre las opciones a decidir, lo que puede o no ocurrir y los resultados es a partir de la construcción de lo que se conoce como un **árbol de decisión** (Fig. 5). Un árbol de decisión es un diagrama de un problema, donde cada punto de ramificación es una incertidumbre, de esta manera los puntos terminales del árbol designan posibles acciones, una de las cuales a ser tomada (Jennings y Wattan, 1996). De esta forma todos los posibles resultados, probables o inciertos, están bajo control a partir de la elección de una opción.

Usualmente, el interés común de los productores agrícolas es reducir al mínimo el riesgo de pérdidas. A partir de la **evaluación del riesgo** se puede estar preparado para un resultado particular, dado que se pueden tomar diversas acciones. La evaluación del riesgo es particularmente importante en el contexto de los pronósticos probabilísticas del clima, puesto que todos los resultados serían posibles. Por ejemplo, se puede reducir el gasto en la prevención si las condiciones climáticas tienen poca probabilidad de afectar al cultivo.

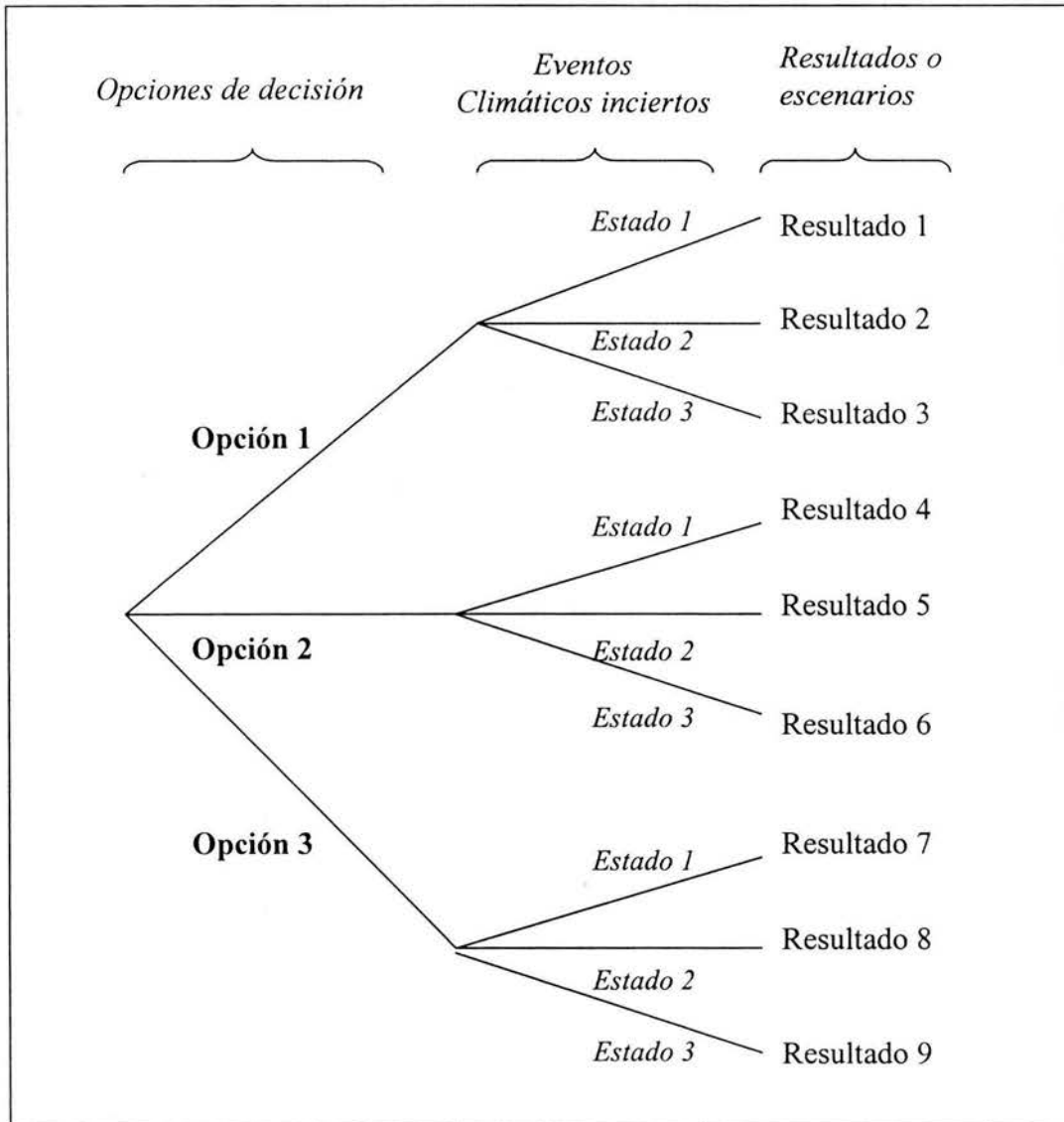


Fig. 5 Árbol de toma de decisión (IRI, 2002)

### 3. Obtener el pronóstico del clima.

Es necesario hacer ver que un pronóstico implica conocer que pasará en un futuro inmediato pero, es algo al azar, es decir, lo que se pronosticó puede ocurrir o no por la complejidad del sistema del clima. Hay eventos que son altamente predecibles como la marcha de la temperatura, pero hay otros que no se pueden pronosticar con mucha exactitud ya que están sujetos a variables azarosas y complejas como las tormentas, huracanes, etc.

Si bien, los científicos no pueden pronosticar exactamente como será el clima en el futuro, si pueden pronosticar la probabilidad de ciertos estados futuros del clima. De esta forma, al conocer los impactos potenciales y su probabilidad de ocurrencia se puede decidir qué acciones se pueden tomar en respuesta al pronóstico. Para esto los pronósticos del clima se deben presentar en términos, por ejemplo, de que la precipitación esté por arriba o por debajo del promedio o si se presentará un evento Niño o Niña.

Los beneficios del pronóstico se materializarán en la medida en que consumidores potencialmente afectables estén dispuestos y tengan la voluntad para cambiar sus prácticas habituales.

#### 4. Tomar una decisión.

Para tomar la decisión más conveniente se debe considerar todas las posibles opciones. A partir de la construcción de escenarios y de la calidad del pronóstico, se debe tomar la decisión que más convenga y que sea más viable dependiendo de los intereses de los tomadores de decisiones.

Hay que recordar que dado que el clima futuro es incierto, para cada decisión potencial hay una gama de resultados posibles. Además, estos panoramas son dinámicos, dado la probabilidad del pronóstico estos pueden cambiar conforme avance la estación de lluvias o el invierno, según sea el caso. Así, por ejemplo, ante una mediana probabilidad de sequía se requiere considerar la calidad de la información climática, la predecibilidad climática de la región, los costos de una acción preventiva (cambio de semilla o de cultivo, o las condiciones de los mercados para el nuevo producto), los costos de un pronóstico mal entendido, así como insumos (riego, fertilizantes, etc.) o los costos de las pérdidas económicas de mantener el esquema de trabajo sin modificación alguna.

Hay una amplia gama de opciones de mitigación y prevención disponibles para los agricultores. Según la OMM (2002) la factibilidad o no de adoptar tales medidas depende

principalmente de factores como: la rentabilidad económica de cada acción en particular (esto es la comparación de costos con los beneficios de adoptar dicha medida), del nivel de tecnología y/o educación del productor y de la capacidad de financiamiento del productor.

Algunas acciones son;

- Programar los riegos necesarios de acuerdo con la disponibilidad de agua en cada zona.
- Emplear métodos de labranza mínima o reducida (conservacionista) para evitar pérdidas de agua del suelo.
- Reducir la cantidad de fertilizante para evitar un estrés adicional a las plantas.
- Sembrar variedades tolerantes a la sequía y de ciclo corto.
- Prevenir incendios y establecer barreras anti-incendios.
- Realizar prácticas fitosanitarias de plagas y enfermedades que puedan proliferar por los bajos niveles de agua.

Los beneficios económicos del sistema de toma de decisiones a partir del pronóstico climático se pueden establecer mediante la valoración económica de la información generada en el análisis de riesgo. Se puede estimar el valor de la información si se compara el valor esperado de las decisiones de los agentes económicos, resultante de disponer de sistema de pronóstico, con el valor esperado de las decisiones en ausencia de él (OMM, 2002). Si se pudieran reducir las pérdidas en un diez por ciento invirtiendo un uno por ciento, el esquema de toma de decisiones justificaría su existencia.



### 1.5 El caso del Estado de Oaxaca: actividad agrícola - clima

El Estado de Oaxaca se encuentra al sur-oeste de la República Mexicana, entre los 15°39' y 18°43' latitud norte, y los 93°52' y 98°32' latitud oeste. Su superficie total es de 95,364 km<sup>2</sup> y ocupa el 5% del territorio nacional.

Las prácticas agrícolas en Oaxaca se dan en cierta medida del resultado de su clima y topografía. La mayor parte de la tierra de labor agrícola se encuentra en suelos considerados como de ladera, resultado de acciones de desmonte, por lo que se presentan altos niveles de erosión (Cruz, 1993). En la entidad se registran nueve tipos de suelos. Sin embargo, los más importantes para el uso agrícola, según su localización por regiones (Fig. 6) son:

- Luvisol y Acrisol; se obtienen rendimientos de bajos a moderados, salvo en zonas tropicales. Estos suelos se localizan en todo el estado, excepto en la Mixteca (región IV) y el segundo tanto en la Mixteca como en Valles Centrales (región VIII);
- Feozem; se obtienen altos rendimientos de granos, legumbres y hortalizas, su mayor porcentaje se localiza en los Valles Centrales;
- Vertisol; su utilización es muy variada y productiva sobre todo en la producción de caña de azúcar y sorgo, se localiza principalmente en la región del Istmo (región III), Papaloapan (región VII) y en menor proporción en Valles Centrales.
- Solonchak; se obtienen rendimientos bajos y únicamente se localiza en el Istmo.

Además, existen otros suelos como el litosol, regosol, cambisol y redzina, pero todos ellos son considerados como poco aptos para la agricultura (Cruz, 1993). Según el INEGI (1991), sólo una quinta parte del territorio del estado es apto para el uso agrícola. Sin embargo, por cuestiones de tradición, la práctica agrícola se realiza en la mayor parte del territorio del estado, aún bajo condiciones poco favorables.

La superficie promedio dedicada a la actividad agrícola es de un millón trescientas mil hectáreas, que representan el 14.5% del total de la superficie del estado. Según la SAGARPA (2002), en Oaxaca se siembran en promedio 968,471 hectáreas, donde el 92.8% corresponde a cultivos de temporal. Dependiendo del ciclo, el 57% corresponde a primavera-verano, 37% a perennes y 6% a otoño-invierno.

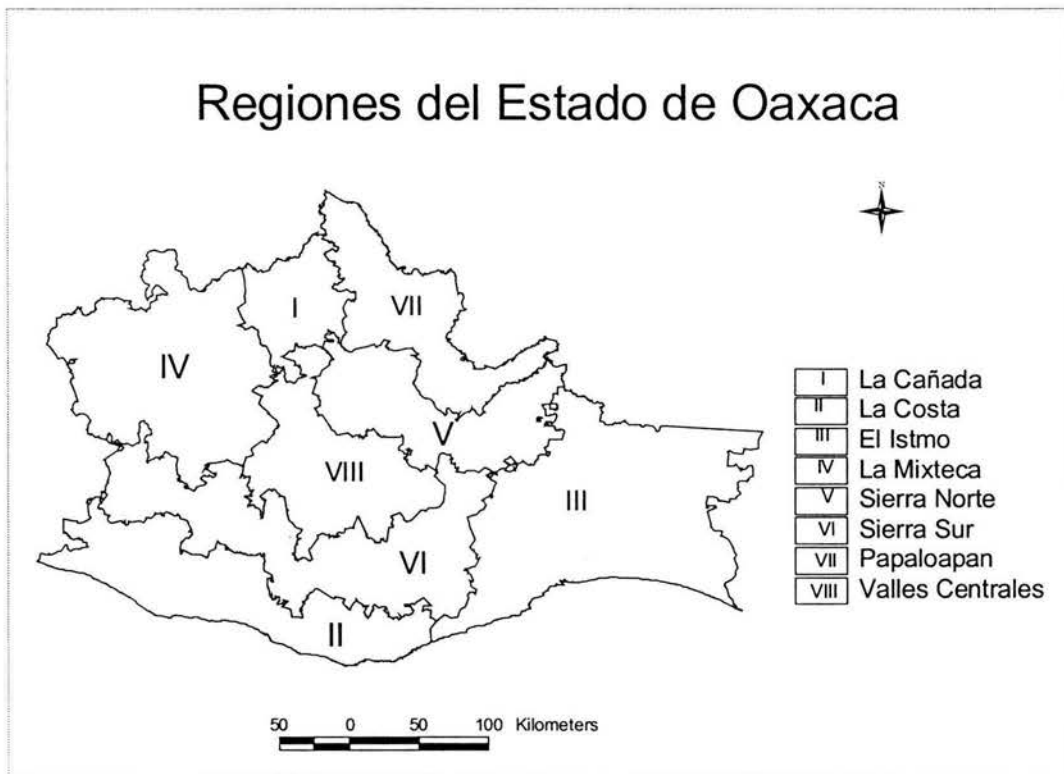


Fig. 6 Regiones de Oaxaca

El cultivo de modalidad temporal del ciclo primavera-verano de mayor importancia en el estado es el maíz grano, siguiéndole el frijol y el trigo respectivamente (Tabla 2). Cabe señalar que a pesar de que la siembra de los cultivos básicos como el maíz y el frijol ocupa una extensión considerable del territorio, su bajo volumen de producción es incapaz de satisfacer la demanda interna de los habitantes por lo que se tiene que complementar con grandes volúmenes de importaciones (Cruz, 1993).

Tabla 2 Principales cultivos de Oaxaca. Datos promedio del periodo de 1980 – 2001

Cultivos	Superficie sembrada (Ha.)	Superficie siniestrada (Ha.)	Volumen producción (ton.)	Rendimiento (ton./Ha.)
Maíz grano	433,124	62,347	396,253	1.05
Fríjol	33,426	4,240	12,833	0.43
Trigo grano	12,178	1,359	11,172	1.02
Arroz palay	1,822	224	6,108	3.62

(SAGARPA, 2002)

El maíz es el principal cultivo del estado más por cuestiones culturales y de tradición que por sus rendimientos. Su producción es principalmente para autoconsumo y ocupa el primer sitio en la cantidad de grano consumido por habitante. Además, en algunas regiones donde existe mayor producción, el maíz tiene amplio aprovechamiento en la alimentación de ganado y aves (INEGI, 1997). Su distribución en el estado por Distritos de Desarrollo Rural (DDR's) es de la siguiente forma:

Tabla 3 Distribución del maíz de temporal por DDR's

Maíz grano	Superficie sembrada	Superficie cosechada	Producción
Valles centrales	26.0 %	25.6 %	19.5 %
Mixteca	20.8 %	20.0 %	22.7 %
Istmo	17.3 %	18.3 %	17.3 %
Costa	16.3 %	17.0 %	17.2 %
Papaloapan	9.3 %	9.1 %	13.3 %
Cañada	6.6 %	6.3 %	6.7 %
Sierra Norte	3.8 %	3.7 %	3.2 %

(SAGARPA, 2001)

El Distrito que presentó en el 2001 mayor superficie sembrada de maíz fue el de Valles Centrales. Sin embargo, su nivel de producción no es el más alto del estado. La región cobra importancia debido a la concentración de infraestructura carretera y ubica a la Ciudad de Oaxaca como el principal centro de comunicación con otras regiones. Es ahí donde se comercian los mayores y más diversos volúmenes de productos alimenticios en el estado (Cruz, 1993).

La actividad agrícola en Oaxaca se caracteriza por la utilización de técnicas tradicionales de producción. A pesar de dotación de recursos naturales con que cuenta el estado, aún se carece de suficiente infraestructura, tecnificación y modernización. Las prácticas agrícolas presentan diferentes condiciones de desarrollo. Pueden distinguirse regiones con un alto potencial de producción y mayor desarrollo como el Istmo y Valles Centrales y regiones de subsistencia, como la Mixteca.

Para la economía oaxaqueña, las actividades relacionadas con el sector primario son de gran importancia debido a que absorben la mayor parte de la fuerza de trabajo del estado. Del total de la población considerada económicamente activa, el 41% se dedica a alguna labor relacionada con las actividades agropecuarias (INEGI, 2000). Dos de cada cinco personas se dedica a alguna labor relacionada con el campo. Pese a esto, la baja rentabilidad del sector ha ocasionado que los bajos ingresos predominen en la mayoría de la población, dando lugar a una agricultura de autoconsumo y consecuentemente al abandono de las actividades agrícolas, originando importantes flujos migratorios con destino principal a la capital del estado y a los Estados Unidos.

El sector agrícola oaxaqueño cuenta con programas de apoyo como Alianza para el Campo. La mayoría de las actividades de este programa están dirigidas principalmente a los cultivos hortícolas, ornamentales y frutícolas. El Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO), otorga apoyos económicos con base en la implementación de la Ley de Capitalización y las Reglas de Operación del Sistema de Garantías y Acceso Anticipado a Pagos Futuros, y en el 2002, otorgó \$409,369,000 pesos mexicanos para el ciclo primavera-verano beneficiando a 217,580 productores. Además, existe el programa “Oportunidades Productivas”, antes llamado “Programa de Crédito a la Palabra”, el cual está orientado a campesinos temporaleros de bajos ingresos sin acceso al crédito de la Banca de Desarrollo, que siembran en tierras en condiciones de baja productividad y/o alta siniestralidad. Este programa otorgó \$ 65,769,000 pesos mexicanos en el 2002 (Gob. Edo. Oax., 2002).

Asimismo, el Gobierno de Oaxaca ha implementado programas tales como “Empleo Temporal” con la finalidad de apoyar a más de 110 mil productores de cultivos básicos. El gobierno, además apoya a instituciones como la Coordinación de Planeación del Gobierno del Estado (COPLADE), en la cual participan empresarios, instituciones académicas y de investigación, dependencias estatales y federales y el Instituto de Capacitación y Productividad para el trabajo del Estado de Oaxaca (ICAPET), el cual se enfoca en la orientación de la tecnificación y productividad de trabajadores del campo e instrumenta el Sistema de Información Técnica Agrícola Básica (SITAB) ([www.oaxaca.gob.mx](http://www.oaxaca.gob.mx)).

Algunas instituciones científicas que realizan investigaciones en el campo agrícola son el Centro de Información del Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca y el Centro Regional Universitario Sur (CRUS), sede de la Universidad Autónoma de Chapingo en Oaxaca. Sus principales líneas de investigación están enfocadas en estudios de mejoramiento genético de los maíces nativos y en algunos programas para el control de la erosión y restauración de los suelos.

Pese a todos estos esfuerzos, los créditos y apoyos gubernamentales son muy escasos. La agricultura se muestra altamente vulnerable principalmente a los efectos de la variabilidad climática y a otros factores como las fluctuaciones de los precios nacionales e internacionales.

A lo largo del tiempo, fenómenos como El Niño han impactado de manera importante la producción agrícola del estado. Por ejemplo, de la producción de maíz grano del ciclo primavera-verano del 2001, el 22% se consideró como pérdida total, afectando principalmente a las regiones de Valles Centrales, Istmo, Mixteca y Sierra Sur. Otros cultivos como el frijol y el sorgo también presentaron altas cifras de siniestralidad (Gob. Edo. Oax., 2002).

La relación clima - producción agrícola muestra que los valores más altos de precipitación corresponden a valores de rendimientos positivos del maíz de temporal (Fig. 7), lo que

significa que no se presentaron pérdidas en el cultivo en comparación con el rendimiento del año anterior. Sin embargo, se presentan algunos años donde a pesar de las condiciones normales de precipitación se presenta una disminución del rendimiento indicada por las flechas.

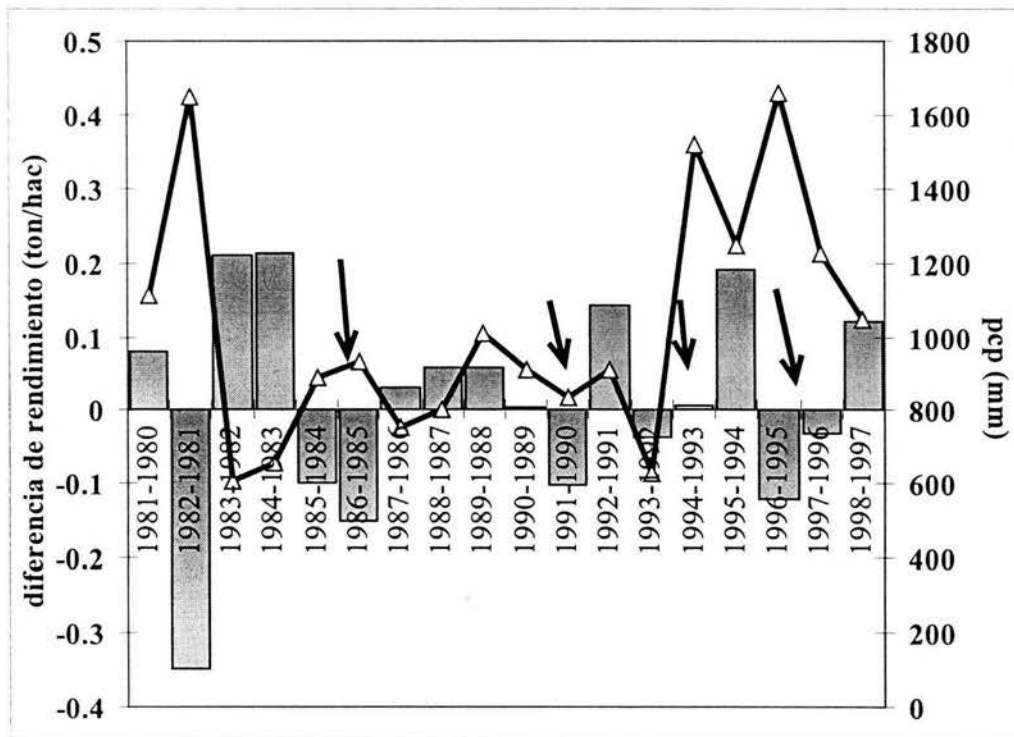


Fig. 7 La lámina de precipitación de mayo a octubre en Valles Centrales, Oaxaca (línea continua) y la diferencia (año  $n$  - año  $(n-1)$ ) del rendimiento del maíz grano de temporal (barras)

Debido a los efectos negativos de la variabilidad climática en la producción del maíz grano, desde hace algún tiempo los productores han implementado algunas alternativas como sembrar intercalando el maíz con el frijol y/o calabaza, con la esperanza de aprovechar al máximo la humedad del suelo y de poder escaparse con al menos uno de los cultivos a los efectos del clima.

En la actualidad y dentro de la realidad de los productores, el conocimiento empírico del clima no ha sido suficiente para poder tomar las medidas y decisiones pertinentes para la

planificación de sus cultivos y la implementación de medidas alternativas ante amenazas climáticas. Es por ello que surge la necesidad de hacer uso de los productos de las ciencias atmosféricas, esencialmente de los diagnósticos y pronósticos, con la finalidad de reducir la vulnerabilidad agrícola ante las variaciones climáticas.

Recientemente el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM en colaboración con agrónomos y extensionistas de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal (SEDAF), han implementado el uso de pronósticos estacionales para el sector agrícola. En el 2001, el pronóstico se difundió a través de medios de comunicación como son las estaciones de radio XEOA de Oaxaca y ARO, con la finalidad de que los agricultores planearan con anticipación sus prácticas agrícolas. Esta actividad obtuvo notables éxitos. El principal de ellos es que ha creado cierta polémica del uso del pronóstico climático entre el gremio agrícola, es decir, se ha comenzado a insertar en la conciencia de la gente el uso de los productos científicos.

## 1.6 Objetivos

Dada la importancia que tiene la variabilidad climática en la producción y desarrollo de las prácticas agrícolas, el presente trabajo tiene como objetivo central evaluar el riesgo climático para el cultivo del maíz ante la variabilidad climática.

Esta evaluación permite proponer un modelo de toma de decisiones que considere el uso de la información climática, esencialmente el pronóstico climático, con la finalidad de promover acciones de prevención y mitigación ante pérdidas agrícolas.

Se considerará como estudio de caso el Estado de Oaxaca, para:

- Analizar la relación de la variabilidad climática con la actividad agrícola en Oaxaca
- Estimar el riesgo climático en la agricultura oaxaqueña
- Evaluar el uso del pronóstico climático como elemento reductor del riesgo



## CAPÍTULO 2. EVALUACIÓN DEL RIESGO EN OAXACA

### 2.1 Datos

Para estimar el riesgo de un cultivo ante condiciones extremas del clima, se necesita de series históricas largas y completas, tanto de las variables agrícolas como de las climáticas. Esto representa todo un reto debido a que en la actualidad no se dispone de bases de datos lo suficientemente confiables, largas y completas en estos campos. Los registros pueden abarcar un periodo largo de tiempo, pero contener muchos espacios vacíos, resultado de la falta de mantenimiento a los instrumentos de medición, al cambio de lugar de las estaciones o a la falta misma de observaciones y registros.

Para este estudio se utilizó la base de datos creada por la SAGARPA llamada Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) en su versión 1.1. Las variables agrícolas del cultivo de maíz con las que se trabajó son: superficie sembrada, superficie cosechada, superficie siniestrada, producción y rendimiento para el periodo de 1980 al 2001. Los datos para el periodo de 1969 a 1980 se extrajeron directamente de la biblioteca de la SAGARPA.

En cuanto a las variables climáticas, se utilizó la información de varias fuentes de datos con la finalidad de obtener una serie de una estación representativa del Estado. La estación seleccionada fue Oaxaca de Juárez (17° 04' latitud y 96° 44' longitud), ubicada en la región de Valles Centrales (Fig. 8).

Para el periodo comprendido de 1969 a 1980 se utilizó la base de datos de lluvia creada por el grupo de trabajo de Climatología del Instituto de Geografía dirigido por M. E. Hernández Cerda. El periodo de 1981 a 1998 fue completado con la base de datos del Explorador Rápido de Información Climática (ERIC II) editado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). El periodo de 1999 a 2001 fue completado con datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Se extrajeron datos diarios y se obtuvieron promedios mensuales de precipitación. A partir de los promedios mensuales se calculó el total de lluvia acumulado de mayo a octubre para cada año del periodo comprendido de 1969 a 2001.

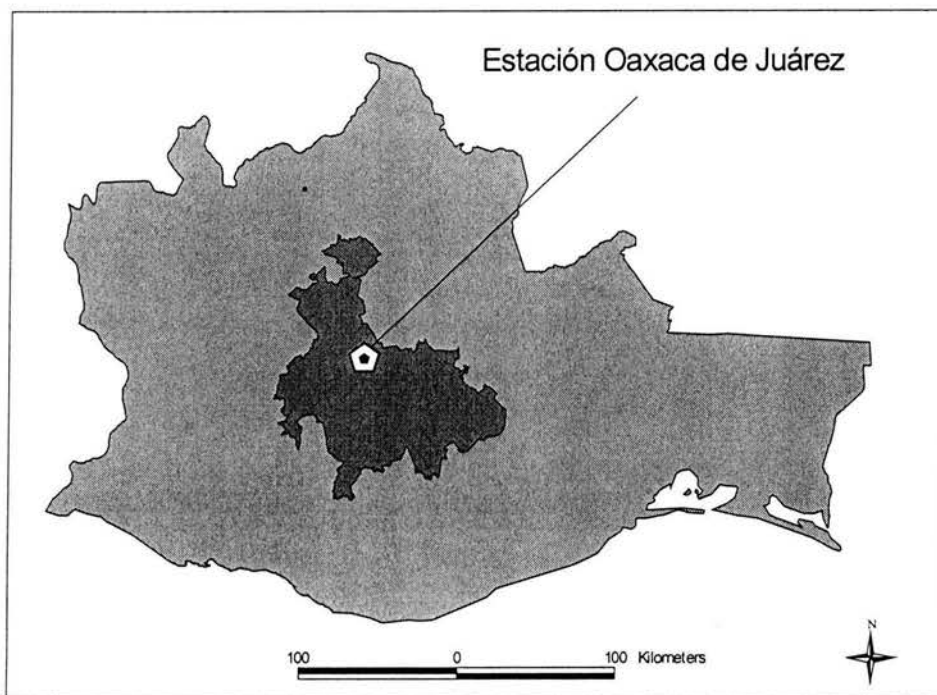


Fig. 8 Ubicación de la estación Oaxaca de Juárez (Valles Centrales en sombreado oscuro)

## 2.2 Metodología

La primera parte de este estudio se basó en la recopilación y control de la calidad de los datos de precipitación y de las variables agrícolas del cultivo de maíz; superficie sembrada, superficie cosechada, superficie siniestrada, producción y rendimiento. Con frecuencia, los reportes llegan a incluir valores fuera de los rangos de variabilidad natural del sistema. De no corresponder estos a un evento característico de la región, el valor queda marcado como sospechoso y no procede su utilización en las estadísticas.

Para determinar el riesgo climático se estimó cada uno de sus componentes; **amenaza** y **vulnerabilidad**. Para este análisis fue necesario:

1. Generar diagnósticos climáticos. Consistió en evaluar las condiciones históricas del clima para el estado de Oaxaca. Con base en estos, fue posible establecer en qué medida las variaciones en el clima constituyen una amenaza para el cultivo. Tales diagnósticos, incluyeron aspectos del clima de relevancia en la agricultura:

- a) Ciclo anual del clima
- b) Inicio de la temporada de lluvias y canícula
- c) Formas de variabilidad interanual del clima

2. Estimar la vulnerabilidad agrícola. Esto se realizó en forma cualitativa a partir de la siguiente deducción:

$$\text{Vulnerabilidad (V)} = \text{Impactos (I)} - \text{Adaptación (A)}$$

La adaptación es el conjunto de acciones o estrategias mediante las cuales los agricultores pueden enfrentar, manejar y sobreponerse a los riesgos climáticos. Mientras que los impactos son considerados como los efectos en el cultivo consecuencia de la variabilidad climática (IPCC, 1992). Dado lo anterior, se consideró que una forma de adaptación es el uso de la información climática en la planeación agrícola. Si bien es cierto, la adaptación no sólo incluye el uso de la información climática, para facilitar la estimación del riesgo se considerará que una forma de adaptación es el uso del pronóstico climático para la planeación de las prácticas agrícolas.

En el caso de Oaxaca no existe tal adaptación debido a que se siguen esquemas altamente tradicionales, por lo que la vulnerabilidad se resume a  $V = I$ . Una forma de evaluar dicho impacto es a partir de los valores del rendimiento (ton/ha). Se sabe que existen otros factores físicos y sociales que pueden determinar los valores del rendimiento, como es la aplicación de ciertas tecnologías; semillas mejoradas, uso de fertilizantes, etc., en este estudio se supondrá que algún impacto asociado a la variabilidad climática es la principal causa de que se presenten bajos o altos rendimientos.

El riesgo agroclimático se estimó en términos de probabilidad condicional. La probabilidad condicional (Wilks, 1995), es la probabilidad de que un evento  $E_1$  ocurra cuando sabemos que un evento  $E_2$  ocurrió u ocurrirá y lo denotamos por  $\Pr(E_1 | E_2)$ . Formalmente, la probabilidad condicional es definida en términos de la intersección del evento de interés ( $E_1$ ) y el evento condicionante ( $E_2$ ):

$$\Pr(E_1 | E_2) = \frac{\Pr\{E_1 \cap E_2\}}{\Pr\{E_2\}} \quad (2.1)$$

La evaluación del riesgo se desarrolló con base en una matriz que describe la relación impactos/amenaza (tabla 4). Los renglones representan las amenazas dadas por la variabilidad climática y las columnas los posibles impactos evaluados en los valores del rendimiento (ton/ha). Se consideró que dada la situación de que se presente un peligro o condición amenaza [A1], los impactos que pueden corresponder a la vulnerabilidad son obtener rendimientos bajos, medios o altos ( [B1], [B2] o [B1]). Por lo tanto, los elementos  $R(A, B)$  representan los valores de la probabilidad de riesgo de obtener rendimientos bajos, medios o altos cuando se presenta una condición climática.

Tabla 4 Matriz de riesgo

<b>Impacto/Amenaza</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>
<b>A1</b>	R(A1,B1)	R(A1,B2)	R(A1,B3)
<b>A2</b>	R(A2,B1)	R(A2,B2)	R(A2,B3)
<b>A3</b>	R(A3,B1)	R(A2,B2)	R(A3,B3)

Usando la información de la matriz de riesgo se elaboró un árbol de decisión en donde se usan los posibles escenarios y consecuencias de cualquier decisión potencial según la evaluación del riesgo y los pronósticos climáticos. El árbol de decisión resulta ser una herramienta de gran utilidad en la toma de decisiones, en donde cada punto final de ramificación representa una incertidumbre (los posibles resultados de obtener rendimientos bajos, medios o altos) y los puntos iniciales del árbol designan posibles acciones (adaptarse o no hacer nada).

Uno de los objetivos de este estudio es demostrar que el uso del pronóstico climático en la planeación de las actividades agrícolas puede reducir en gran medida el riesgo de pérdidas, en este caso de obtener bajos rendimientos.

### 2.3 Ciclo fenológico del maíz. Requerimientos agroclimáticos

Para la aplicación de la metodología propuesta en este estudio se tomó como caso el cultivo de maíz grano de temporal. Sin embargo, dicha metodología se puede aplicar para cualquier otro cultivo.

A partir de los requerimientos agroclimáticos por etapas fenológicas para un maíz “modelo”, se puede determinar si las condiciones climáticas que se presentan en el estado de Oaxaca son adecuadas o no para el desarrollo del maíz en cada una de sus fases fenológicas. De esta forma, se conoce qué tan vulnerable es el cultivo ante las condiciones climáticas predominantes.

En términos generales, el desarrollo del maíz puede dividirse en cinco fases fenológicas fundamentales:

*Tabla 5 Fases fenológicas del maíz*

	<b>Fases de desarrollo</b>
1	Germinación
2	Crecimiento vegetativo
3	Floración
4	Estado lechoso o mañoso
5	Madurez

*(SEP, 1983)*

Durante la primera fase, la planta comienza el proceso de germinación coincidiendo con el inicio de la temporada de lluvias en los meses de mayo y junio. En esta fase la temperatura juega un papel muy importante ya que no deben presentarse temperaturas menores a los

10 °C debido a que estas pueden llegar a inhibir el proceso de germinación (Flores, 1985). En esta etapa se requiere la menor cantidad de agua, 45 mm (Fig. 9).

La segunda fase corresponde al crecimiento vegetativo y se lleva a cabo durante todo el mes de julio. Con el crecimiento de la planta aumentan la transpiración y la evaporación del suelo por lo que en esta etapa aumentan las necesidades hídricas a 170 mm y el límite mínimo de temperatura se mantiene relativamente bajo, 15 °C (Flores, 1985).

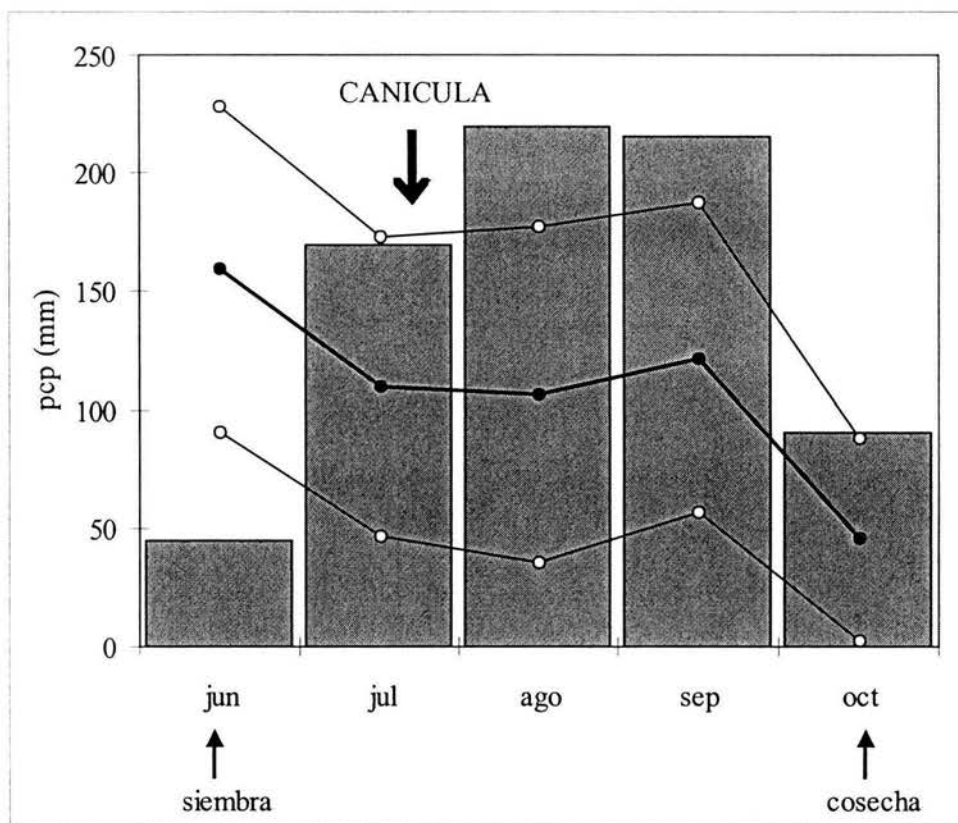


Figura 9 Requerimientos mensuales de agua para el maíz (barras) y el promedio de precipitación mensual acumulada en la estación Oaxaca de Juárez (línea con círculos negros); más y menos una desviación estándar (líneas con círculos blancos) (SEP, 1983)

En el mes de agosto y principios de septiembre se presenta el periodo de floración. Esta fase ha sido señalada por diversos autores, entre ellos Robles (1983), como una fase crítica ya que de ésta dependen los futuros rendimientos del cultivo y por tanto la producción. Las

necesidades térmicas del cultivo demandan mayores temperaturas diarias, entre los 20 y 30 °C. Es de vital importancia que éstas se mantengan durante todo el periodo. En esos meses el requerimiento de agua aumenta a 220 mm. Sin embargo, en esta fase el cultivo puede verse afectado por los efectos de la canícula o sequía intraestival (Flores, 1985). Resulta por tanto importante que el suelo mantenga suficiente humedad para resistir la canícula.

La cosecha se realiza en el mes de octubre, los requerimientos hídricos disminuyen sustancialmente, a 90 mm. Es por ello muy importante que no se presenten lluvias excesivas, pues un exceso de agua puede resultar en enfermedades en el maíz (Flores, 1985).

Bajo condiciones de temporal y con variedades adaptadas del maíz, se puede tener buenos rendimientos con una cantidad mínima de lluvia de 500 mm y como máxima 1,000 mm (Robles, 1983). Sin embargo, lo más importante es que la cantidad de lluvia debe estar bien distribuida durante todo el ciclo vegetativo (Reyna, 1970).

Como se puede observar en la Fig. 9, los requerimientos hídricos del maíz son cubiertos casi en su totalidad por la variabilidad de precipitación en las dos primeras etapas (tabla 5). Sin embargo, en los meses considerados como críticos no se satisface lo que el cultivo demanda de agua por las lluvias, debido a la presencia de la canícula. Es por ello, que desde hace algún tiempo se ha implementado el uso de variedades criollas que pueden prosperar con cantidades de agua por debajo de los 400 mm para todo el ciclo.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

## 2.4 Características espacio – temporales del clima de Oaxaca

### a) Ciclo anual del clima de Oaxaca

En el estado existen una gran diversidad de climas (Tabla 6) que van desde los tropicales húmedos hasta los semisecos. Los climas varían con las diferentes altitudes sobre el nivel del mar y con el diferente régimen de vientos, dando como resultados climas cálidos en las costas y en las cuencas bajas de los ríos, cálidos y semicálidos en los valles y montañas bajas y templados en las altas montañas (INEGI, 1991).

Tabla 6 Distribución climática por regiones en Oaxaca

Zona	Clima	Precipitación (mm/año)	Temperatura mensual (°C)
Costa	Am	700 a 2000	24 a 28
Istmo	Aw - Am	800 a 2500	22 a 28
Papaloapan	Af	2000 a 4500	24 a 26
Sierra Norte	Af - Cw	1000 a 3000	12 a 22
Sierra Sur	Aw -Cw	800 a 2000	10 a 22
Mixteca	Aw - Cw	500 a 2000	16 a 22
Cañada	BS	300 a 600	22
Valles	BS - Cw	600 a 800	16 a 22

(INEGI, 1991)

- Am: cálido húmedo con abundantes lluvias en verano
- Aw: cálido subhúmedo con lluvias en verano
- Af: cálido húmedo con lluvias todo el año
- Cw: templado subhúmedo con lluvias en verano
- BS: semiseco semicálido

Tal es la descripción promedio del clima. Sin embargo, es la variabilidad de tal condición la que resulta en cierta medida en variaciones en los rendimientos. Es por ello, que se necesita un análisis más detallado de la variabilidad estacional del clima, con el objetivo de determinar esencialmente el comportamiento de la temporada de lluvias pues es en esta época cuando se realiza la agricultura de temporal.



**b) Inicio de la temporada de lluvias y canícula**

En el estado la temporada de lluvias comienza en mayo y termina en octubre. Entre estos meses llueve aproximadamente el 90% del total anual de lluvia. El ciclo anual de las lluvias de verano se caracteriza por presentar dos máximos en la precipitación, el primero en junio y el segundo en septiembre. Entre estos meses se observa un mínimo relativo conocido como la sequía intraestival o sequía de medio verano, canícula o veranillo (Fig. 10). La canícula es considerada como uno de los fenómenos que modulan las lluvias en México (Reyna, 1970).

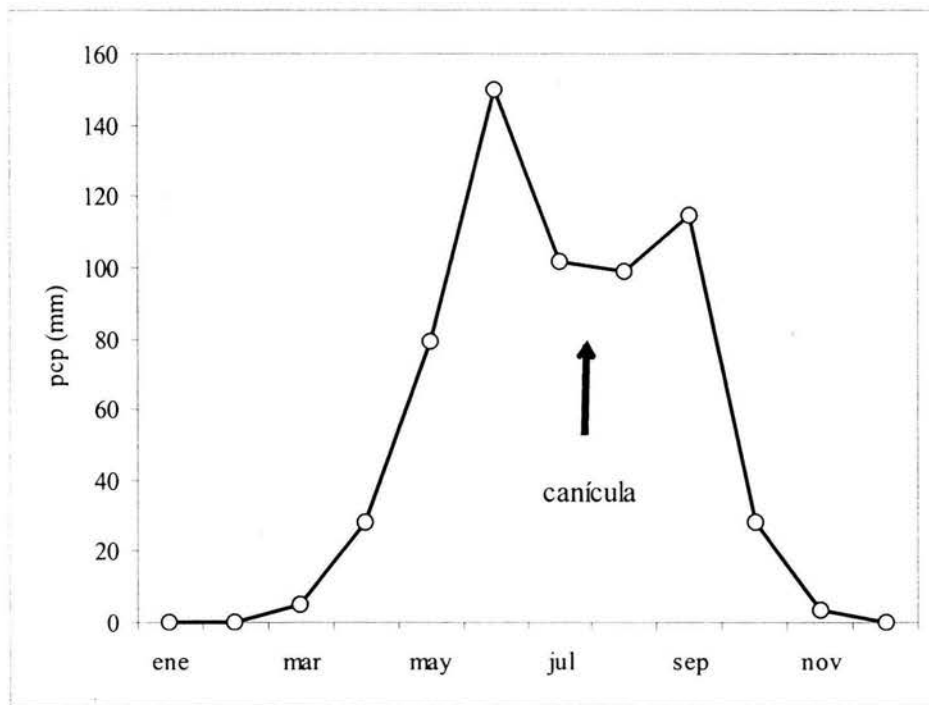


Figura 10 Ciclo anual de la precipitación en Valles Centrales, Oaxaca. Periodo 1969-2001

Este mínimo de precipitación corresponde a una menor cantidad de nubes convectivas profundas, lo que permite la mayor incidencia de radiación solar y por lo tanto una mayor temperatura de superficie que la gente asocia con el calor agobiante de la canícula. La canícula ocurre en la región del Pacífico Mexicano y se extiende hacia la zona continental del centro de México. La región del Caribe mexicano y Centro América manifiesta una

señal diferente en las lluvias, con un máximo de precipitación acumulada en los meses en que se presenta la canícula (Magaña, 2004, comunicación personal).

Como se puede observar en la Fig. 11, la canícula se presenta cada año con un comportamiento diferente.

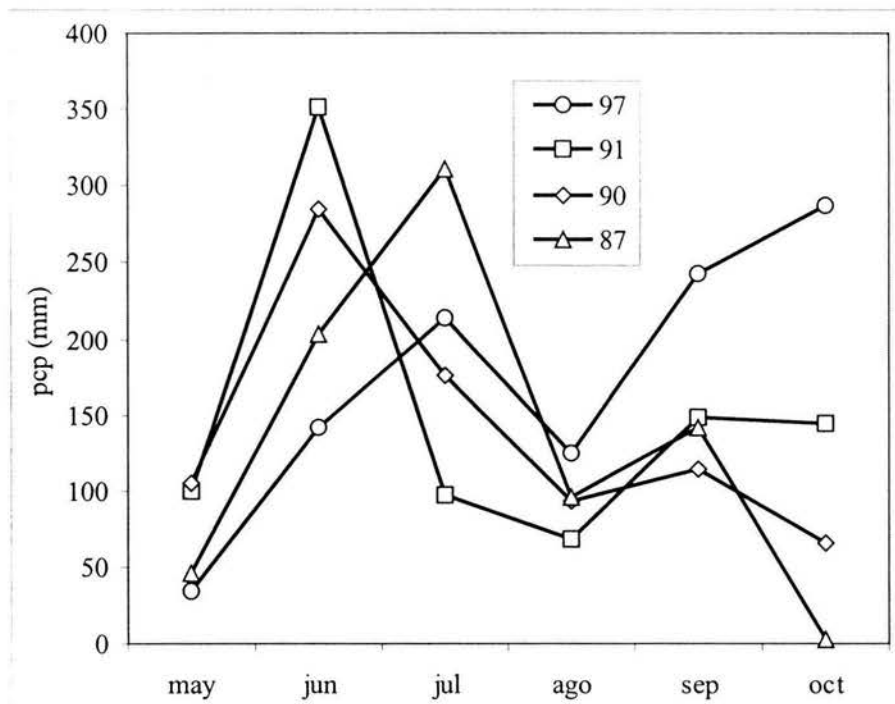


Figura 11 Comportamiento de la canícula en Valles Centrales, Oaxaca

En verano, las mayores precipitaciones se concentran en las laderas orientales de la Sierra de Juárez, noreste del estado. Esto se debe a diversos factores pero sobre todo a que esas laderas están expuestas a los vientos húmedos del Golfo de México y tienen una orientación y altitud tales que propician el ascenso de los vientos, su enfriamiento, la condensación del vapor de agua que contienen y finalmente la precipitación.

Durante el invierno, las lluvias disminuyen notablemente en todo el estado. En estas fechas se alcanzan los mínimos de temperatura principalmente en las zonas montañosas, mientras

que en las zonas de menor altitud la temperatura media del mes más frío esta por encima de los 18 °C.

**c) Formas de variabilidad interanual del clima**

Un factor modulador esencial de las lluvias en Oaxaca es la presencia del ENOS. En términos generales cuando es año El Niño, el régimen de lluvias de verano presenta una disminución en la cantidad de precipitación. Ésta falta de lluvias esencialmente en los meses de abril y mayo se puede traducir en el retraso del inicio de las lluvias.

Los años 1982-83, 1986-87, 1992-93, 1995-96 y 1997-98 de El Niño, coinciden con una importante disminución de la lluvia del Estado. Solo en aquellos periodos en que El Niño se debilitó o desapareció, como en 1980, las lluvias se recuperaron (Fig. 12).

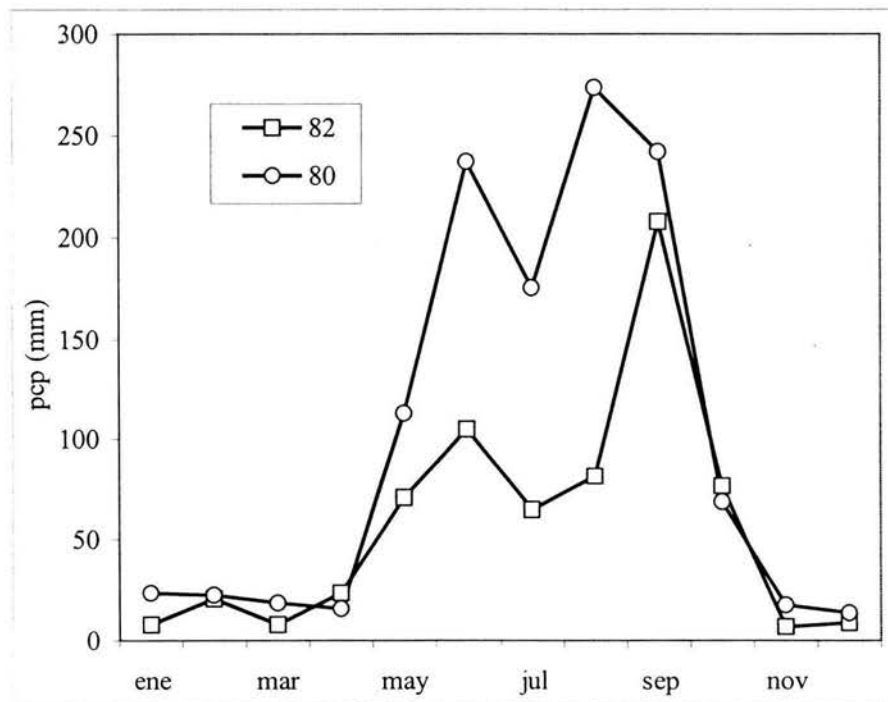


Figura 12 Comparación del ciclo anual de la precipitación durante año Niño (1982) y año No-Niño (1980)

Las prácticas agrícolas de temporal son muy sensibles a estas alteraciones, ya sea por retraso, por irregularidad o deficiencia persistente en las precipitaciones. En la mayoría de las ocasiones la presencia de El Niño significa severas pérdidas en la cosechas (Fig. 13).

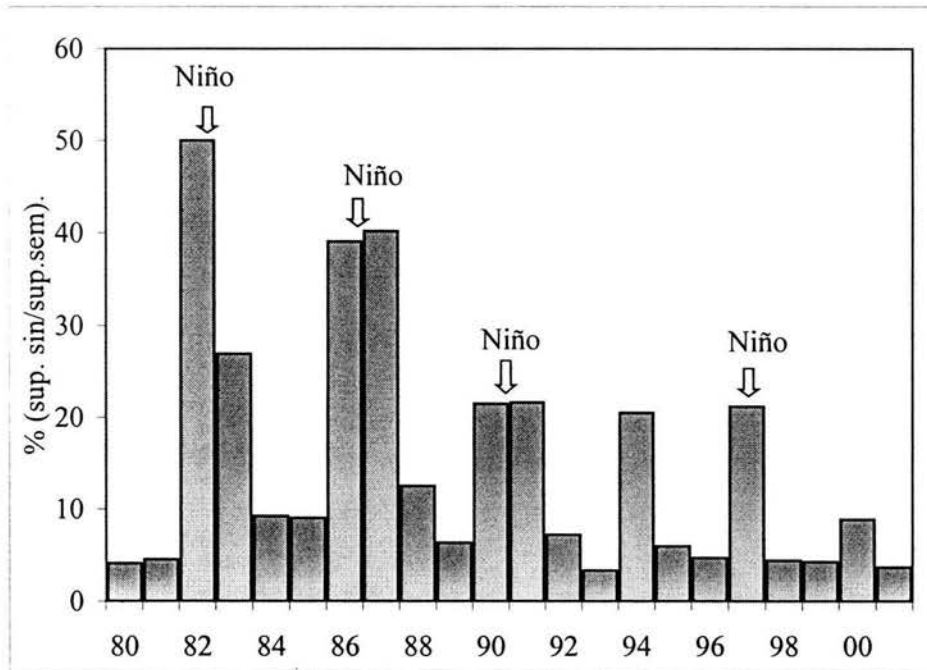


Figura 13 Relación de El ENOS y el grado de siniestrada(sup. siniestrada /sup.sembrada) del maíz en Oaxaca. Periodo 1980 - 2001

Por otro lado, cabe mencionar que en el largo plazo las lluvias en Oaxaca presentan una leve tendencia a disminuir. Según estudios realizados en Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (Méndez, 2002), en el sur de México la tendencia durante el periodo de 1960 a 1998 es a menos precipitación. Una explicación a esto podría estar relacionada con la actividad de la ZITC (Zona Intertropical de Convergencia) durante veranos El Niño. Cuando ocurre este fenómeno, la ZITC tiende a desplazarse hacia el sur (cerca del Ecuador) favoreciendo a una mayor actividad convectiva y lluvias a esas latitudes, mientras que en latitudes más altas aumenta la subsidencia. Además, un incremento en la frecuencia e intensidad de El Niño en las últimas dos décadas podría estar produciendo una menor cantidad de lluvia en diversas regiones del mundo, tal es el caso que presenta la región sureste de México (IPCC, 2001).

## 2.5 Resultados

Según los diagnósticos climáticos de Oaxaca, la falta o exceso de lluvias pueden causar severos impactos en las prácticas agrícolas. Se sabe que El Niño está relacionado con valores bajos de precipitación para el sureste de México (Magaña et al. 1999). Dado lo anterior, se procedió a estimar el riesgo para dos casos, la relación entre El Niño - Rendimientos y Lluvias - Rendimientos.

Para el primer caso (El Niño – Rendimientos), se determinaron para el periodo de estudio, los años en los que ocurrió un Niño o una Niña. De acuerdo con los datos de la NOAA, en el periodo de 1969 a 2001 han ocurrido 8 episodios de Niño de variada intensidad, 19 años normales y 6 de Niña, dando un total de 33 episodios reconocibles (Tabla 7). A partir de estos datos, se obtuvo que la probabilidad de que ocurriera un evento considerado como año Niño fue de 24.2%, año normal fue de 57.6% y año Niña de 18.2%.

Tabla 7 Episodios de ENOS. Periodo 1969- 2001

El Niño	Normal	La Niña
1969	1974	1970
1972	1977	1971
1976	1978	1973
1982	1979	1975
1986	1980	1988
1987	1981	1999
1991	1983	
1997	1984	
	1985	
	1989	
	1990	
	1992	
	1993	
	1994	
	1995	
	1996	
	1998	
	2000	
	2001	

(NOAA, [www.cdc.noaa.gov](http://www.cdc.noaa.gov))

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo con la base de datos obtenida de SIACON de las variables agrícolas cuando se presenta un año Niño, un año normal y un año Niña. Para ello, se eligieron los datos del cultivo correspondientes a estos eventos y se promediaron los valores (Tablas 8, 9 y 10).

Algunos resultados de este análisis se muestran en el Tabla 11. Se aprecia que hay reducciones significativas para el cultivo cuando es año Niño en comparación con años normales. En el caso de las hectáreas cosechadas, se presenta una notable disminución en un 21%, mientras que los rendimientos caen en 18% y consecuentemente la producción total decae en 35%. Resalta el valor correspondiente a las hectáreas siniestradas, el cual asciende en un 243.4%. Esto indicaría que la superficie siniestrada ilustraría con mayor precisión los impactos del clima, desgraciadamente no se cuenta con una serie de datos históricos para realizar la evaluación del riesgo con este parámetro.

En años Niña, los efectos son menos desastrosos que en el caso de años Niño. Una explicación podría asociarse a que cuando es año Niña las condiciones de lluvia son por encima de lo normal. Sin embargo, éstas no llegan a representar un peligro para el cultivo. En este caso tanto las hectáreas sembradas como las cosechadas aumentan en un 5.8% y 11% respectivamente, mientras el porcentaje de hectáreas siniestradas disminuye en un 8.8%. Sin embargo, tanto los valores de producción como de rendimiento sufren los efectos de la Niña, estos caen en un 6.2% y en un 14.8% respectivamente.

Tabla 11 Resultados del análisis comparativo

ITEM	Años Niño	Años Normal	Años Niña	Niño / Normal (%)	Niña / Normal (%)
<b>Prom. Has. Sembradas</b>	413,205	430,997	456,063	-4.13	5.82
<b>Prom. Has. Cosechadas</b>	308,869	390,247	433,110	-20.85	10.98
<b>Prom. Has siniestradas</b>	138,552	40,353	36,795	243.35	-8.82
<b>Prom. Producción (ton)</b>	261,838	405,076	379,958	-35.36	-6.20
<b>Prom. Rendimiento (t/h)</b>	0.84	1.02	0.87	-17.55	-14.78

Tablas 8, 9 y 10 Promedios agrícolas según episodio

<b>AÑOS NIÑO</b>	<i>Ha Sembradas</i>	<i>Ha Cosechadas</i>	<i>Ha Siniestradas</i>	<i>Producción</i>	<i>Rendimiento</i>
1982	372449	186260	186189	132,312	0.71
1976		242,500		179,700	0.74
1986	381,344	232,392	148,952	205,158	0.88
1987	408,916	244,599	164,317	223,336	0.91
1969		380,596		298,387	0.78
1991	416,758	326,609	90,149	304,149	0.93
1972		474,593		339,334	0.72
1997	486,556	383,404	103,152	412,327	1.08
promedio	413,205	308,869	138,552	261,838	0.84

<b>AÑOS NORMALES</b>	<i>Ha Sembradas</i>	<i>Ha cosechadas</i>	<i>Ha siniestradas</i>	<i>Producción</i>	<i>Rendimiento</i>
1974		278400		208,600	0.75
1983	356522	260571	95951	239,881	0.92
1979	345,371	327,236		273,885	0.79
1977		411,286		315,450	0.77
1990	435474	341900	93574	353,301	1.03
1978		452487		357,631	0.79
1984	352701	320146	32555	362,669	1.13
1980	392018	375891	16127	368,488	0.98
1985	412,199	374,986	37,213	387,897	1.03
1992	403,031	373,946	29,085	401,075	1.07
1981	399869	381823	18046	404,518	1.06
1993	414,138	400,223	13,915	414,142	1.04
1994	518,691	412,244	106,447	429,358	1.04
1989	448,328	419,950	28,378	432,722	1.03
1996	480,933	458,277	22,656	509,699	1.11
1998	477,953	456,829	21,124	546,444	1.20
1995	475,881	447,478	28,403	551,109	1.23
2001	492,089	473,858	18,231	567,765	1.20
2000	490,748	447,157	43,591	571,808	1.28
promedio	430,997	390,247	40,353	405,076	1.02

<b>AÑOS NIÑA</b>	<i>Ha Sembradas</i>	<i>Ha Cosechadas</i>	<i>Ha Siniestradas</i>	<i>Producción</i>	<i>Rendimiento</i>
1973		418,871		278,968	0.666
1975		412,328		320,791	0.778
1970		411,776		330,656	0.803
1988	420,078	367,580	52,498	357,042	0.971
1971		517,150		449,921	0.870
1999	492,048	470,957	21,091	542,371	1.150
promedio	456,063	433,110	36,795	379,958	0.87

Cabe mencionar que a partir de la década de los 90' s la superficie sembrada, la producción y el rendimiento de maíz se han incrementado con respecto a la de cada de los 80' s. Esto es esencialmente resultado de la implementación, por parte del Gobierno, de programas de apoyo al campo. En 1990 se inicio el Programa Nacional de Maíz de Alta Productividad (PRONAMAT) y en 1993 PROCAMPO (Luna, 2003).

La estimación del riesgo se realizó a partir de la relación de que se presente un año Niño, año normal o año Niña y los posibles impactos en los rendimientos. Para ello, se requirió establecer los rangos correspondientes a lo que se consideró como rendimiento bajo, normal y alto. Esto se calculó al restarle y sumarle una desviación estándar al rendimiento promedio del periodo considerado, los valores son:

*Tabla 12 Rangos de rendimiento*

<b>Rendimiento (ton/ha)</b>	
<b>bajo</b>	< 0.781
<b>medio</b>	de 0.782 a 1.125
<b>alto</b>	> 1.125

De esta manera, los valores para la matriz 1 se obtuvieron a partir de la fórmula (2.1):

$R(A1, B1)$  = probabilidad de que se presenten valores de rendimiento menores a 0.781 en años Niño = 3 / 8.

$R(A2, B1)$  = probabilidad de que se presenten valores de rendimiento menores a 0.781 en años normales = 2 / 19.

$R(A3, B1)$  = probabilidad de que se presenten valores de rendimiento menores a 0.781 en años Niña = 2 / 6.

Este procedimiento se realizó para los demás casos.



Los resultados para la matriz 1 son:

*Tabla 13 Resultados de la Matriz 1*

<b>Rendimiento/Evento</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
<b>Niño</b>	37.5%	62.5%	0.0%
<b>Normal</b>	10.5%	68.4%	21.1%
<b>Niña</b>	33.3%	66.7%	0.0%

De la matriz 1 se observa que en años normales se tiene un 68.4% de probabilidad de obtener rendimientos medios y un 21% de obtener rendimientos altos. El riesgo de obtener rendimientos bajos cuando se presentan las condiciones climáticas normales representa sólo el 10.5%. En años Niño, hay un 62.5% de probabilidad de que los rendimientos sean medios. Sin embargo, el riesgo de que se presenten rendimientos bajos aumenta en comparación con años normales en un 37.5%. En el caso de años Niña la probabilidad de tener un rendimiento bajo es menor con respecto a años Niños y la probabilidad de tener un rendimiento medio es mayor con respecto a años normales.

Para estimar el riesgo de los impactos asociados a la variación de las lluvias se construyó una segunda matriz. El riesgo se determinará a partir de la relación que se presente un año considerado como sequía meteorológica, año normal o año de lluvia excesivas y los impactos posibles en los rendimientos.

Los años considerados como secos, normales o de lluvia excesiva se determinaron a partir de la distribución de los datos de precipitación del periodo de 1969 a 2001. Se obtuvieron rangos de precipitación (Tabla 14), a partir de los cuales se tiene: 7 años que representan el 20% de los datos, son considerados como sequía meteorológica, 19 años que representan el 60% como años normales y 7 años que representan el 20% restante como años con lluvias excesivas (Tabla 15).

Tabla 14 Rangos de precipitación

<b>Precipitación (mm)</b>	
<b>sequía meteorológica</b>	< 498.7
<b>normal</b>	de 536.6 a 788.0
<b>lluvias excesivas</b>	> 791.6

Los valores de la matriz 2 se obtuvieron a partir de la formula (2.1):

R (A1, B1) = probabilidad de que se presenten valores de rendimiento menores a 0.781 en años considerados como secos = 2 / 7.

R (A1, B2) = probabilidad de que se presenten valores de rendimiento menores a 0.781 en años considerados normales = 3 / 19.

R (A1, B3) = probabilidad de que se presenten valores de rendimiento menores a 0.781 en años considerados como lluvias excesivas = 2 / 7.

Esto se realizó sucesivamente para los demás casos. Los resultados para la matriz 2 son:

Tabla 16 Resultados de la Matiz 2

<b>Rendimiento/Precipitación</b>	<b>Bajo</b>	<b>Normal</b>	<b>Alto</b>
<b>Sequía meteorológica</b>	28.6%	57.1%	14.3%
<b>Normal</b>	15.8%	63.2%	21.1%
<b>Lluvia excesivas</b>	28.6%	57.1%	14.3%

De la matriz 2 se observa que cuando se presentan años con lluvias normales, la probabilidad de obtener rendimientos normales es de 63%, de obtener rendimientos altos es de 21% y de obtener rendimientos bajos es de 16%. En el caso de sequía meteorológica y lluvias excesivas la probabilidad de obtener rendimientos normales es de 57% para ambos casos, la probabilidad de obtener rendimientos bajos es de 29%, aumentando con respecto a lluvias normales y la probabilidad de obtener rendimientos altos es de 14%.

Tabla 15 Relación Precipitación – Rendimientos. Periodo 1969 - 2001

Total de pcp p/v	Rendimiento	Año	Condición
338.40	1.200	1998	Sequía meteorológica
407.00	1.073	1992	
426.70	0.913	1987	
436.10	0.767	1977	
460.90	1.034	1985	
466.10	0.710	1982	
498.70	0.921	1983	
536.64	1.280	2000	
545.00	1.042	1994	
550.92	1.200	2001	
570.37	1.150	1999	Normal
575.40	0.741	1976	
585.10	0.883	1986	
600.40	0.778	1975	
610.90	1.030	1989	
611.90	0.790	1978	
619.65	1.059	1981	
625.10	0.715	1972	
634.00	1.080	1997	
637.70	0.870	1971	
676.00	0.784	1969	Lluvias excesivas
706.70	0.793	1979	
747.70	1.035	1993	
761.30	0.803	1970	
772.32	1.232	1995	
788.00	0.980	1980	
791.60	1.133	1984	
800.00	0.971	1988	
851.00	0.749	1974	
852.20	0.931	1991	
916.00	0.666	1973	
977.36	1.033	1990	
1,458.97	1.112	1996	

Los resultados de la matriz 1 y 2 son similares a las de un estudio realizado por Cane et al (1994). En dicho estudio se encontró que la correlación entre los rendimientos de maíz y la señal de El Niño (con la temperatura de la superficie del mar (TSM)), es mayor (0.78) que aquella entre los rendimientos de maíz y la lluvia anual en Zimbabwe (0.64).

Dado lo anterior se deduce que la señal que refleja en mayor proporción la relación con los rendimientos del maíz, es El Niño y en menor medida las lluvias. Tal relación, nos hace pensar que el diagnóstico y pronóstico de El Niño es clave para la planeación de las prácticas agrícolas en Oaxaca.

Hasta este momento se ha analizado la relación ENOS – Rendimientos y Lluvias – Rendimiento. Sin embargo, se conoce que el ENOS modula las lluvias de verano por lo que se realizó un tercer análisis con la finalidad de conocer la relación ENOS – Lluvias.

Para ello, se construyó una tercera matriz donde se estimaron los posibles efectos en las lluvias de verano cuando se presenta un año Niño, normal o Niña. Los valores se obtuvieron a partir de la formula (2.1):

$R(A1, B1)$  = probabilidad de que un año Niño sea un año seco = 2 / 8

$R(A1, B2)$  = probabilidad de que un año Niño sea un año normal = 5 / 8

$R(A1, B3)$  = probabilidad de que un año Niño sea un año con lluvias excesivas = 1 / 8

Esto se realizó sucesivamente para los demás casos.

Los resultados de la matriz 3 son:

Tabla 17 Resultados de la Matiz 3

<b>Evento / Precipitación</b>	<b>Sequía Met.</b>	<b>Normal</b>	<b>Lluvia excesiva</b>
<b>Niño</b>	25.0%	62.5%	12.5%
<b>Normal</b>	26.3%	52.6%	21.1%
<b>Niña</b>	0.0%	66.7%	33.3%

En esta primera estimación se encontró que la relación ENOS y las lluvias no es muy significativa, dado que la probabilidad de que sea un año seco es la misma para los casos de año Niño y normal. Esto es debido a que el ENOS modula en cierta medida el comportamiento y distribución de las lluvias, lo cual no se refleja necesariamente en la lluvia total de verano.

Sin embargo, al graficar la distribución de la lluvia para los años secos (Fig. 14), se encontró que la mayoría de los registros coincidían con años posteriores a un año Niño. Las condiciones de El Niño se presentan durante los meses de noviembre, diciembre y enero. Estas condiciones se pueden prolongar hasta mediados del siguiente año impactando a las lluvias de verano. En la Fig. 14, se observa que en la mayoría de los casos la lluvia se encuentra por debajo del promedio esperado.

Considerando lo anterior, se realizó una nueva distribución de los episodios de El Niño y La Niña (tabla 18), pero esta vez considerando su influencia hasta el año siguiente (Niño (a) + 1 año) y se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 18 Episodios de ENOS + 1 año

	<b>El Niño</b>	<b>Normal</b>	<b>La Niña</b>
	1969	1978	1970 - 1971
	1972	1979	1973 - 1974
	1976 - 1977	1980	1975
	1982 - 1983	1981	1988 - 1989
	1986 - 1987	1984	1999 - 2000
	1991 - 1992	1985	
	1997 - 1998	1990	
		1993	
		1994	
		1995	
		1996	
		2001	
<b>TOTAL DE CASOS</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>9</b>

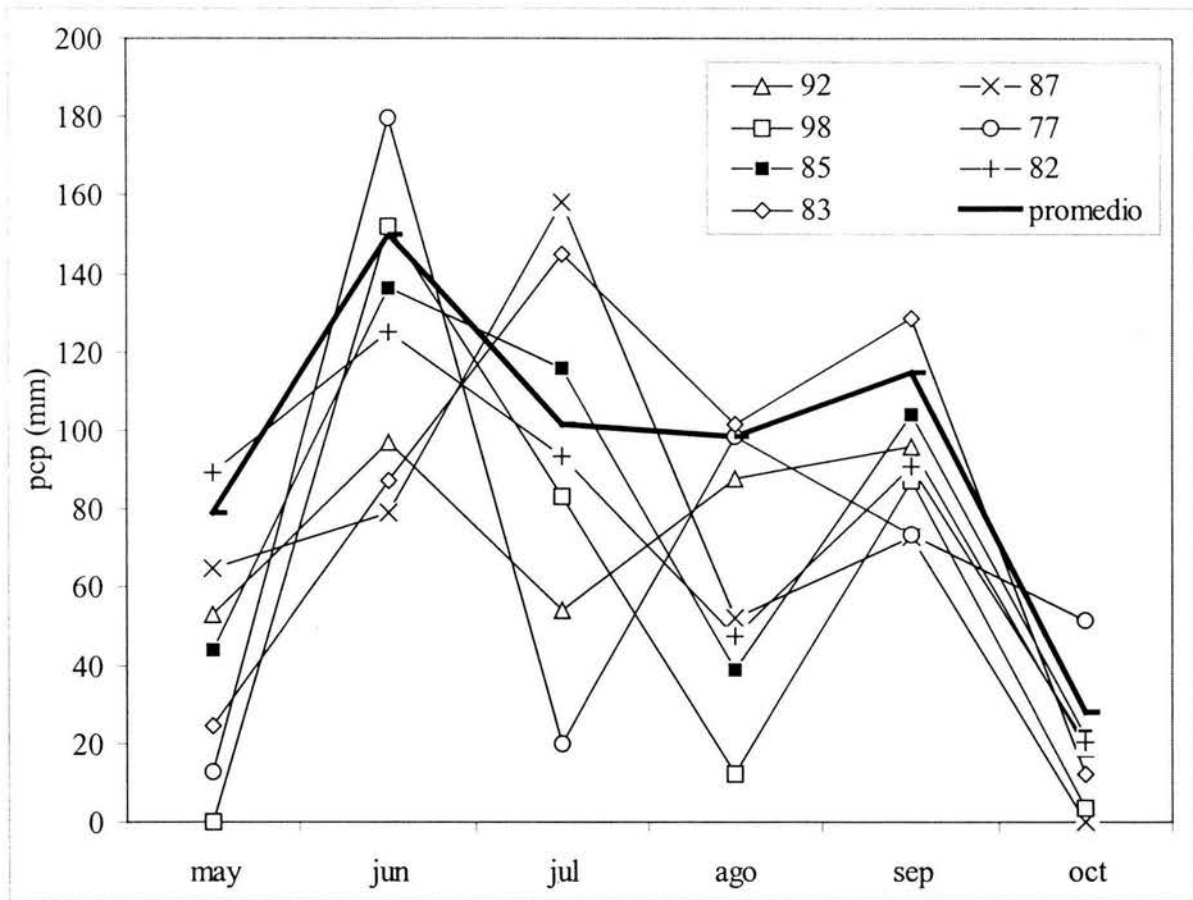


Fig.14 Distribución de la precipitación mensual de verano para años secos y la media para el periodo de 1969-2001

La nueva relación ENOS y lluvias se presenta en la matriz 4. Los valores se obtuvieron a partir de la formula (2.1):

$R(A1, B1)$  = probabilidad de que un año Niño sea un año seco = 6 / 12.

$R(A1, B2)$  = probabilidad de que un año Niño sea un año normal = 5 / 12.

$R(A1, B3)$  = probabilidad de que un año Niño sea un año con lluvias excesivas = 1 / 12.

Esto se realizó sucesivamente para los demás casos y se obtuvo:

Tabla 19 Resultados de la Matriz 4

<b>Evento/Precipitación</b>	<b>sequía met.</b>	<b>normal</b>	<b>lluvia excesiva</b>
<b>Niño</b>	50.0%	41.7%	8.3%
<b>Normal</b>	8.3%	66.7%	25.0%
<b>Niña</b>	0.0%	66.7%	33.3%

Según los resultados obtenidos de la matriz 3, la probabilidad de que un año Niño sea un año seco es de 50%, de que sea un año normal es de 42% y de que se presenten lluvias excesivas es de 8%. Cuando se presenta un año normal, la probabilidad de que sea un año seco es de 8%, la probabilidad de que sea un año con lluvias normal es de 67% y de que sea un año con lluvias excesivas es de 25%. En el caso de año Niña, la probabilidad de que se presenten lluvias normales es de 67% y de que se presenten lluvias excesivas es de 33%.

Considerando los efectos del ENOS no sólo en su año de ocurrencia sino sus efectos en los meses posteriores, muestra la veracidad de lo que hasta este momento se ha considerado en este trabajo. Esto es que los efectos de El Niño causa que las lluvias de verano se encuentren por debajo de lo normal, teniendo como posibles consecuencias bajos rendimientos del maíz. En el caso de La Niña, los efectos en las lluvias son que se presenten valores por arriba de lo normal, teniendo, también como posibles consecuencias bajos rendimientos del maíz.

### 2.6 Esquema de toma de decisiones usando pronósticos climáticos para Oaxaca

El siguiente árbol de decisión pretende demostrar que dadas las probabilidades del riesgo y considerando el pronóstico del clima, la opción más adecuada para enfrentar y mitigar los impactos negativos de la variabilidad climática es la adaptación al Niño o Niña. Por adaptación se comprenden las acciones que el agricultor debe seguir para disminuir los posibles impactos de un Niño o una Niña. Algunas medidas de adaptación se mencionaron en el punto 1.4. El árbol de decisiones muestra la relación del riesgo y las posibles opciones de decisión (Fig. 15).

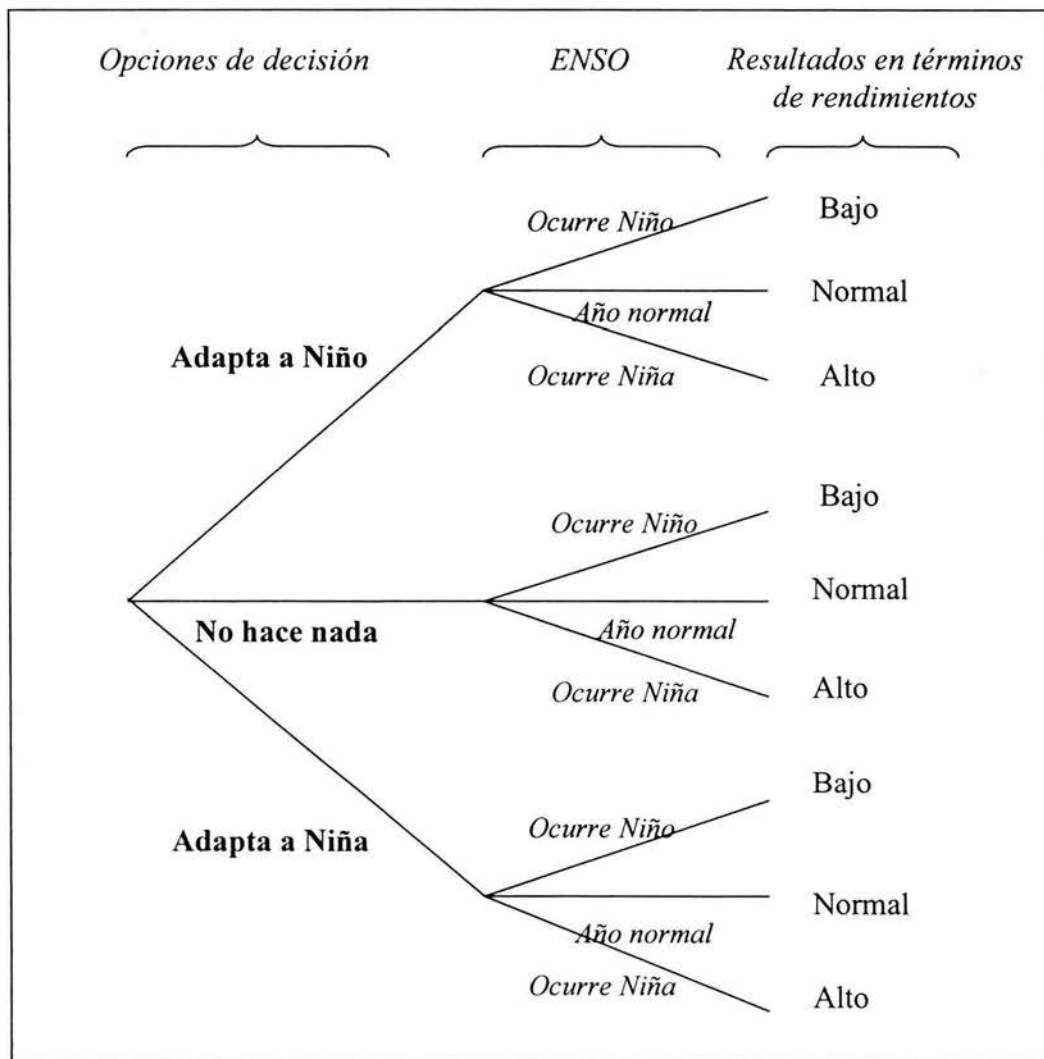


Fig.15 Árbol de decisiones para el caso de Oaxaca



Actualmente existen modelos que pueden predecir con una alta probabilidad El Niño. Por lo que se deduce que un pronóstico dado en términos de Niño o Niña es de gran utilidad en la planeación de las prácticas agrícolas. Una primera cuestión es tomar la decisión de tomar o no medidas de adaptación con base en el pronóstico de El Niño.

La relación entre los posibles escenarios y el pronóstico climático se resumen en la matriz 5. A partir de los escenarios propuestos en el árbol de decisión y de la certeza del pronóstico de El Niño o La Niña, el agricultor puede tomar la decisión más conveniente, esto es, adoptar medidas de prevención ante Niño o Niña, o no hacer nada.

Según el IRI ([www.iri.columbia.edu/pred/](http://www.iri.columbia.edu/pred/)) la certeza de un pronóstico en el caso de Niño es de 84%, para un año normal es 46% y para Niña es de 49%. Una alta probabilidad en el pronóstico representa una garantía para en la toma de decisión del agricultor.

De esta manera, se tienen 4 pronósticos: el caso 1 es aquel en que se pronostica Niño y ocurre Niño (84%) o aquel en que se pronostica Niño y es un año normal (16%). Se descarta la probabilidad de que pronosticando Niño ocurra Niña. De manera similar se tiene el caso de que se pronostica un año normal y ocurre un año normal (46%) o que se pronostica normal y ocurre Niño (54%). El caso 3, es aquel en el que se pronostica año Niña y ocurre Niña (49%) o se pronostica año Niña y ocurre año normal (51%). El caso 4, es aquel en que se pronostica año normal y ocurre un año normal (46%) o se pronostica año normal y ocurre Niña (54%).

Las opciones de acción se reducen a dos para cada pronóstico; se adapta o no se hace nada. En la situación de se adapta, se deduce que los agricultores tienen acceso oportuno al pronóstico del ENOS y deciden realizar acciones de prevención. En la situación de que no se adapta se deduce que los agricultores disponen de un pronóstico del ENOS y que no adoptan medidas preventivas. Así mismo, se debe considerar el caso en el cual los agricultores adoptan medidas de mitigación, pero no se presenta el fenómeno pronosticado, en este caso nos remitiremos al caso de que se presente un año normal.

Tabla 20 Resultados de la matriz 5

Num.	Pronóstico	Prob.1	Opciones de acción	Evento	Resultado esperado	Prob.2	prob 1* prob 2	Decisión óptima
1	Niño	84%	Adapta al Niño	ocurre Niño	bajo	37.50%	32%	Adapta a Niño
					medio	62.50%	53%	
				año normal	alto	0.00%	no aplica	
	Normal	16%	No hace nada	ocurre Niño	bajo	37.50%	6%	
					medio	62.50%	10%	
				año normal	alto	0.00%	no aplica	
2	Niño	54%	Adapta al Niño	año normal	bajo	10.50%	5%	Adapta a Niño
					medio	68.40%	31%	
				ocurre Niño	alto	21.10%	10%	
	Normal	46%	No hace nada	año normal	bajo	10.50%	6%	
					medio	68.40%	37%	
				ocurre Niño	alto	21.10%	11%	
3	Niña	49%	Adapta a la Niña	ocurre Niña	bajo	33.30%	16%	Adapta a Niña
					medio	66.70%	33%	
				año normal	alto	0.00%	no aplica	
	Normal	51%	No hace nada	ocurre Niña	bajo	33.30%	17%	
					medio	66.70%	34%	
				año normal	alto	0.00%	no aplica	
4	Niña	54%	Adapta a la Niña	ocurre Niña	bajo	10.50%	5%	Adapta a Niña
					medio	68.40%	31%	
				año normal	alto	21.10%	10%	
	Normal	46%	No hace nada	ocurre Niña	bajo	10.50%	6%	
					medio	68.40%	37%	
				año normal	alto	21.10%	11%	

En el caso 1, con un pronóstico de  $P(\text{Niño}) = 84\%$  y  $P(\text{normal}) = 16\%$ , hay dos opciones a considerar: (a) adoptar las medidas de mitigación de impactos para el Niño, o (b) no hacer nada. Si se adoptan las medidas de mitigación y tomando en cuenta las probabilidades pronosticadas, se tiene que la probabilidad de rendimientos medios es de

53%. Si no se hace nada, y tomando en cuenta la misma probabilidad, es decir que se presenta Niño, la probabilidad de obtener rendimientos medios se reduce al 10%.

Para el caso 3, con un pronóstico de  $P(\text{Niña}) = 49\%$  y año  $P(\text{normal}) = 51\%$ , siguiendo el mismo razonamiento, se tiene que la probabilidad de obtener rendimientos medios es de 33%, casi similar a la probabilidad de que si no se hace nada y ocurre Niña, 34%. Dada la baja certeza del pronóstico, los resultados son similares si se toman medidas de adaptación a si no se hace nada.

Un agricultor conciente del riesgo tomará la decisión de adoptar las medidas de mitigación al Niño y a la Niña, aún cuando las probabilidades son semejantes a lo normal. Con la evaluación del riesgo y el uso de un pronóstico certero se puede reducir el riesgo de los impactos negativos del Niño o la Niña. Si el uso de la información climática en la toma de decisiones se transforma en algo usual dentro de las prácticas agrícolas, se esperaría que las acciones encaminadas a la mitigación evolucionen a acciones preventivas.

En este análisis no se consideraron 2 aspectos que son de gran importancia. Uno es tener estrategias adecuadas de comunicación de la información climática, dado que por más que un pronóstico climático sea muy certero, si este no llega al usuario final y mas aún si no se toma una decisión a partir de el, es como si no se hubiera generado nada.

Otro aspecto es la viabilidad en términos monetarios que resulta tomar decisiones de adaptación. En este estudio se deduce que el riesgo de obtener bajos rendimientos es menor, sin embargo, esto podría ser mejor ejemplificado en términos monetarios, es decir, costos – beneficios. La finalidad es que el agricultor se de cuenta que si invierte en medidas de adaptación, estos gastos serán siempre menores en comparación con las pérdidas consecuencia del impacto climático.

### CAPITULO 3. LA IMPORTANCIA DEL PRONÓSTICO CLIMÁTICO

#### 3.1 El caso de otras entidades

Como se mencionó anteriormente, el clima es un elemento determinante en el éxito o fracaso de la agricultura en México, principalmente de la de temporal. Los registros históricos de rendimiento del maíz de temporal y lluvias en algunos estados del país así lo demuestran. Por ejemplo, las variaciones en los rendimientos de maíz en Tamaulipas, Jalisco, Oaxaca y Durango están altamente relacionadas con las variaciones en la precipitación. Cuando las lluvias disminuyen, los rendimientos también.

Es importante resaltar que decrementos parecidos en la precipitación de un año a otro llevan a diferentes cambios en los rendimientos. El caso de Jalisco es notable, reflejo en gran medida de una disminución de la vulnerabilidad a los cambios en la precipitación a partir de los noventa (Fig. 16). Los años 1982 y 1994, con marcadas disminuciones en precipitación resultaron en diferentes caídas en los rendimientos de maíz.

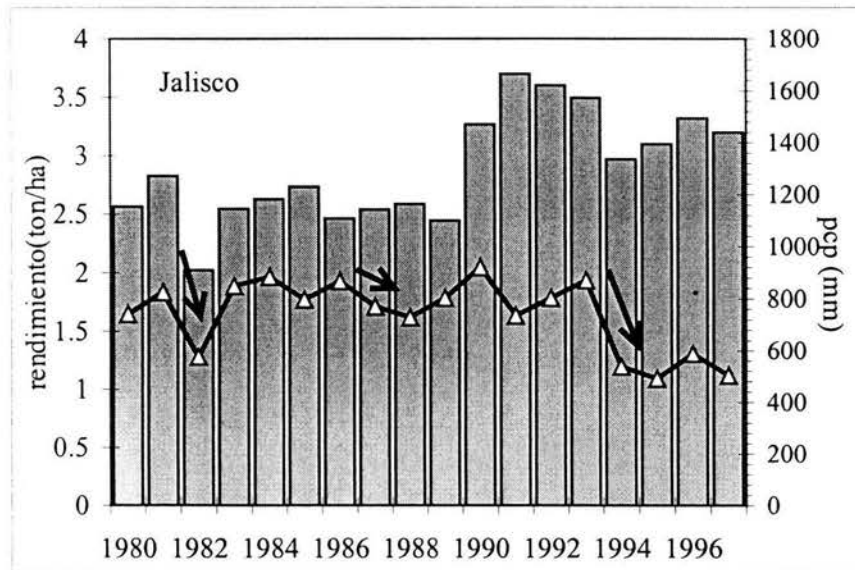
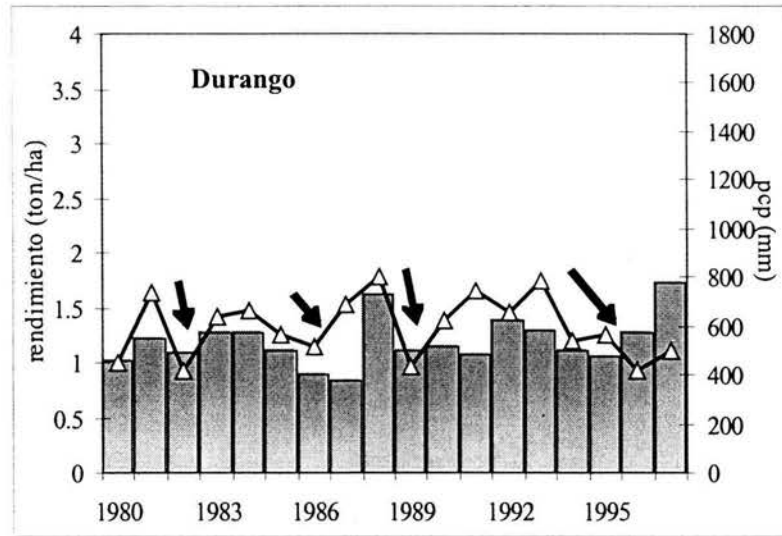


Fig. 16 Histograma de precipitación de verano (mayo a octubre) y rendimiento de maíz de temporal para Jalisco. Las flechas indican decrementos marcados en precipitación de un año a otro (SIACON y ERIC II.)

Según los requerimientos hídricos del cultivo, los mayores descensos en productividad se dan al estar las lluvias por debajo de un valor umbral alrededor de 500 mm. A partir de este valor, se deduce que el peligro es mayor en sitios como Tamaulipas o Durango, por estar su valor medio de lluvia alrededor o por debajo de 500 mm (Fig. 17 y 18). Los bajos rendimientos son muestra del alto riesgo que enfrenta el maíz durante años secos.

a)



b)

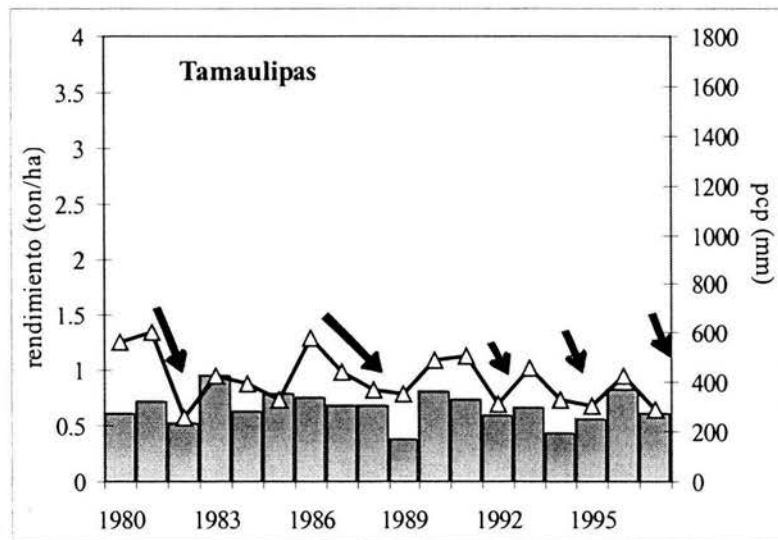


Fig. 17 y 18 Histogramas de precipitación de verano (mayo a octubre) y rendimiento de maíz de temporal para a) Durango y b) Tamaulipas. Las flechas indican decrementos marcados en precipitación de un año a otro (SIACON y ERIC II)

En Jalisco o Oaxaca (Fig. 19), el peligro es menor principalmente por tratarse de regiones con mayores precipitaciones que en el norte de México. Sin embargo, en Oaxaca los rendimientos son pobres, probablemente por que existen otros elementos que pueden no estar relacionados a las variaciones en la lluvia y que resultan en baja productividad del cultivo.

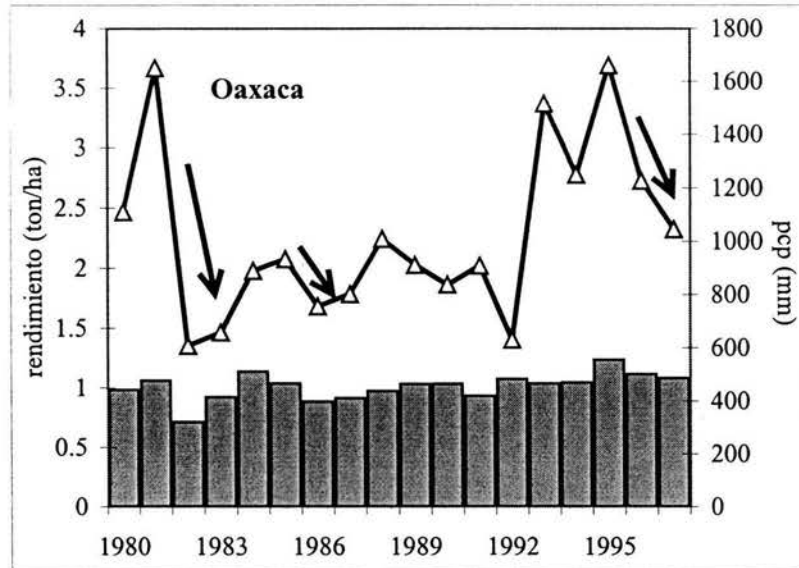


Fig.19 Histograma de precipitación de verano (mayo a octubre) y rendimiento de maíz de temporal para Oaxaca. Las flechas indican decrementos marcados en precipitación de un año a otro (SIACON y ERIC II)

Para disminuir los impactos negativos de anomalías en el clima y aprender a aprovechar las condiciones favorables, es importante realizar un análisis integral del riesgo, es decir, considerando el peligro y la vulnerabilidad. De lo anterior resulta claro, que el uso de la información climática reduce el riesgo al permitir una mejor planeación.

Un proceso importante para la planeación es el uso de los pronósticos climáticos, los cuales deben ser adaptados a la medida de las necesidades del usuario. Por ejemplo, para agricultores de maíz se requiere pronosticar la probabilidad de que las lluvias de verano estén por debajo de 500 mm, aún y cuando ése no sea un valor climático extremo en todas las regiones. El uso del pronóstico tendrá que hacerse extensivo a otros cultivos y en muchos casos, requerirá de ser presentado en términos de otras variables relacionadas con disponibilidad de agua o humedad en el suelo.

De igual forma, resultará necesario pronosticar en forma probabilística otros elementos de la temporada de lluvias de utilidad en la planeación agrícola. Tal es el caso de el inicio y final de la temporada, número de eventos de precipitación extrema, etc.

### **3.2 Mecanismos para evaluar el riesgo regionalmente**

El análisis del riesgo requiere determinar el peligro o la amenaza y la vulnerabilidad. La finalidad es poder reducir ésta última cuando el peligro aumenta. Un proceso estructurado de reducción de riesgo requiere que de manera constante se trabaje en reducir la vulnerabilidad al mínimo, para que el riesgo disminuya.

Para evaluar el riesgo regionalmente, se debe determinar un modelo de riesgo (tal y como se realizó para Valles Centrales). Además, se debe considerar que los factores económicos y de infraestructura determinan en gran medida la capacidad de adaptación. Países como México son generalmente los más vulnerables a las condiciones extremas del clima debido principalmente a factores socioeconómicos. Por ello, es importante desarrollar planes de adaptación, ya que los costos de remediar los daños por condiciones meteorológicas y climáticas extremas son por lo general de varios órdenes de magnitud mayores a los de acciones de prevención (Magaña et al., 1999).

La parte del peligro, esto es, los eventos climáticos extremos que pueden causar daños en la agricultura, se determina mediante la elaboración de diagnósticos y pronósticos climáticos. Para las actividades agrícolas, un buen entendimiento del clima resulta esencial para la evaluación del riesgo y para la toma de decisiones.

Uno de los principales aspectos para desarrollar estrategias efectivas de prevención y mitigación, es la confiabilidad en el pronóstico climático. El aumento en la cantidad y calidad de las observaciones permite contar no sólo con mejores diagnósticos (evaluación

de las condiciones históricas del clima), sino también con mejores pronósticos (futuras condiciones del clima).

Un aspecto de gran importancia en el uso de información climática, es la determinación de la predecibilidad del clima de una región, pues dependiendo de está, la confianza que se dé en el pronóstico al momento de planear una actividad cambiará. La predecibilidad es definida como el potencial que el clima de una región tiene de ser pronosticado en forma probabilística dentro de cierto margen de acierto (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2002).

En México, gran parte de la variabilidad climática puede ser explicada a partir de el ENOS. Sin embargo, aunque éste es un fenómeno importante, algunos estudios regionales en el noreste de México, han demostrado que no es el factor principal que modula la variabilidad climática (Uribe, 2000). Esto se debe a que no explica por si mismo todas las anomalías de lluvia en México. Hay mecanismos adicionales que producen variabilidad y que no siempre responden al ENOS (Magaña et al, 1999). Tal es el caso de:

- i. La Zona Intertropical de Convergencia (ZITC)
- ii. Las Ondas del Este
- iii. Los Huracanes en el Océano Pacífico del este, Mar Caribe y Golfo de México
- iv. El Monzón Mexicano

La importancia de cada uno de estos mecanismos se debe apreciar localmente. Por ejemplo, el efecto de las Ondas del Este es mayor en la costa este de México, por tratarse de perturbaciones originadas en el Océano Atlántico tropical que viajan a través del Caribe pudiendo llegar al país, pero su impacto está fuertemente limitado por la Sierra Madre Oriental. De hecho, la compleja orografía del país es uno de los principales factores responsables de las diferencias de los patrones de lluvia a escala regional (Uribe, 2002). El clima del centro y sur de México tiene una mayor predecibilidad, pues responde más



claramente a fenómenos como ENOS. El caso del Estado de Oaxaca presenta una alta predecibilidad climática (Magaña, 2004, comunicación personal).

El pronóstico debe servir para dar una respuesta regional ante eventos meteorológicos extremos con el objetivo de asegurar la estabilidad, intentando disminuir la vulnerabilidad. Comprender las condiciones de vulnerabilidad representa la clave para posibles soluciones.

### **3.3 Importancia del pronóstico climático**

Para la actividad agrícola de temporal es de gran interés conocer si se aproximará una buena o mala temporada de lluvias de verano. Es claro que la disponibilidad de agua en la agricultura depende de manera crítica de las lluvias de verano, por lo que pronosticar la duración e intensidad de la temporada de lluvias ha sido una idea no sólo muy atrayente, sino importante. Un pronóstico confiable permitirá la oportuna planeación de actividades preventivas ante posibles condiciones climáticas adversas o benéficas.

Los actuales esquemas de predicción del clima parecen ser suficientemente buenos para proveer información climática útil para la planeación de ciertas actividades socioeconómicas. Se piensa equivocadamente que un buen pronóstico es aquél que dice cuántos milímetros lloverán. Sin embargo, un pronóstico no puede tener tal determinismo dado el carácter no lineal del sistema climático (Magaña, 1998). Más que pronosticar cuánta lluvia caerá en el verano, el pronóstico climático debe predecir la probabilidad de que la estación se encuentre entre las más lluviosas, dentro de los rangos normales de variabilidad o entre las más secas.

El principal problema del uso del pronóstico, es que en la mayoría de los casos la gente no sabe qué hacer con la información dada en términos de probabilidades. Actualmente, no se cuenta con especialistas que propongan planes o esquemas de adaptación con base en la información climática. Si bien el Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx>)

genera pronósticos para todos los estados, rara vez se preocupa por satisfacer las verdaderas necesidades en cuanto a información climática de los campesinos, pescadores, ganaderos, etc. El problema se agrava en la cuestión de la comunicación de la información climática. Es por ello, que gran parte del reto en el uso de información climática en general, y de los pronósticos climáticos en particular, es poder comunicarlos de tal forma que sirvan como elemento de planeación.

Los organismos multilaterales, como el Banco Mundial, insisten en que los pronósticos deben estar disponibles para los agricultores de pequeña escala, a fin de aumentar la seguridad alimentaria. Un agricultor debe mantenerse informado de la evolución del pronóstico. En las estrategias de preparación para los desastres, no sólo agrícolas sino también desastres materiales, entre otros, se ha comenzado a tomar en cuenta los pronósticos y existe un gran interés en asignarles un valor económico (Blench, 1999).

En la actualidad, un sistema de información climática requiere no sólo de la participación de especialistas en Meteorología, sino de especialistas en otros campos como la agricultura, la economía, la comunicación e incluso la política. En nuestro país, aún no se cuenta con un sistema de información climática eficiente. En la mayor parte de los casos, sólo se generan algunos pronósticos y diagnósticos sin gran profundidad científica, que se entregan a organismos oficiales para que tengan sólo una idea del potencial riesgo de la agricultura.

Las perspectivas de aprovechar la información climática en el siglo XXI son grandes; ya no es aceptable seguir considerando a fenómenos como El Niño como feroces enemigos que se empeñan en destruirnos, sino como fenómenos naturales con los que siempre viviremos y a los que hay que adaptarse con estrategias de desarrollo adecuadas.

## CAPITULO 4. CONCLUSIONES

En la primera parte de este estudio se analizó la importancia que tiene el uso de la información climática para el sector agrícola mexicano. Se determinó que existe poco conocimiento y uso de la información climática, sobre todo en el caso del pronóstico climático. Los usuarios potenciales desconocen como usarlo en la planeación de las prácticas agrícolas. Es por ello que gran parte del reto en el uso de información climática en general, y de los pronósticos climáticos en particular, es poder comunicarlos de tal forma que sirvan como elemento de planeación.

La planeación de las actividades agrícolas es de gran importancia dadas las severas consecuencias que año con año traen la ocurrencia de extremos climáticos, principalmente la condición de sequía. México es un país con una gran tradición agrícola, por lo que los productos del campo son parte esencial para el bienestar de muchas familias.

Una parte fundamental para este estudio fue establecer los conceptos de riesgo, vulnerabilidad y amenaza o peligro para el sector agrícola. De ello se determinó que una evaluación integral del riesgo permite a los agricultores planear sus prácticas agrícolas. Más adelante, se trabajaron otros conceptos como adaptación, impactos y prevención. Con base en su análisis y considerando el carácter probabilístico del pronóstico climático se puede establecer un esquema de toma de decisiones.

Considerando el estudio de Oaxaca, se realizó una aplicación de la metodología para evaluar el riesgo. Un elemento esencial para este estudio fue reconocer mediante el contacto directo con agricultores de Valles Centrales de Oaxaca sus necesidades e inquietudes con respecto al clima. El análisis de la vulnerabilidad posibilitó comprender que el problema del campo debe tratarse no sólo en términos físicos, sino también sociales, económicos y políticos.

Debido a que la mayor parte de la actividad agrícola del estado coincide con la época de lluvias de verano, una gran parte de la producción depende principalmente de las condiciones climáticas. Sin embargo, los bajos rendimientos que se presenta en el sector, no sólo son producto de la variabilidad climática sino de diversos factores como son las inadecuadas condiciones del suelo, la deficiente tecnificación de la actividad agrícola y la escasez de apoyos. Oaxaca tiene un mal crónico, sus suelos no son aptos para la actividad agrícola y presentan serios problemas de erosión. Sin embargo, el maíz tiene un gran valor social, dado que para gran parte de la población es la fuente principal de alimentos y subsistencia económica.

De la estimación del riesgo se obtuvo que existe una fuerte relación entre el ENOS y las prácticas agrícolas en Oaxaca. De esta manera, para que los productores puedan planificar sus actividades, el pronóstico climático se debe presentar en términos de la probabilidad condicional, de que se presente este evento y sus impactos en la temporada de lluvia. Así, ante una mediana probabilidad de sequía como consecuencia de El Niño, considerando la calidad de la información climática y la predecibilidad climática de la región se concluye que la decisión más adecuada para reducir los bajos rendimientos es tomar medidas de adaptación al El Niño.

De manera general, debido a que las practicas agrícolas de temporal en la mayor parte del país comienzan en mayo, para elaborar un esquema de toma de decisiones, el pronóstico climático se debe presentar con un mes de anticipación, esto es a principios de abril. El mecanismo más adecuado para la difusión del pronóstico deberá ser mediante la colaboración del Servicio Meteorológico Nacional y otras instituciones que realizan pronósticos climáticos con las secretarías gubernamentales de agricultura como son el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAB), Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), entre otras. Éstas a su vez deberán trabajar con extensionistas y/o agrónomos que distribuyan a los campesinos de forma directa o mediante medios masivos de comunicación el pronóstico climático.

El pronóstico se debe presentar a los campesinos en términos regionales, de manera concreta y de fácil entendimiento. En el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM se ha venido trabajando con un modelo esquemático del pronóstico, en el cual se presenta la probabilidad de lluvia en función de 5 posibles situaciones que son; muy seco, seco, normal, poca lluvia y exceso de lluvia, indicados mediante colores representativos. Este formato permite que el pronóstico climático sea comprendido fácilmente por los campesinos (Magaña, 2004, comunicación personal).

Con el uso del pronóstico climático a través del tiempo, los campesinos podrían evaluar su propio riesgo y realizar sus esquemas de decisión siguiendo los 4 pasos propuestos en el punto 1.4, que en resumen son:

1. Realizar **diagnósticos** climáticos
2. Construcción de **escenarios** posibles a partir de los **pronósticos** del clima
3. Obtener el pronóstico del clima
4. Tomar una decisión

Se recomienda que los agricultores den seguimiento al pronóstico del CCA mes a mes a través de la pagina web (<http://serpiente.dgsca.unam.mx/cca>) o mediante comunicación personal con el grupo de Meteorología General a cargo de Victor O. Magaña R., esto con la finalidad de corroborar el pronóstico inicial y para mantenerse actualizados ante cualquier cambio en el sistema atmosférico que llevará a cambiar las estrategias de prevención. El monitoreo que cada uno haga en sus parcelas sigue siendo fundamental, y el pronóstico cobra importancia cuando las cosas no marchan bien.

Un pronóstico confiable permite la oportuna planeación de actividades preventivas ante posibles condiciones adversas para el desarrollo de las actividades agrícolas. Sin embargo, se debe entender que el pronóstico climático no es la panacea de todos los problemas en la agricultura, sino que es una de las muchas herramientas que algunas veces juega un papel importante en la toma de decisiones. Es claro que el éxito en el sector agrícola dependerá

de muchos más factores como mercados, apoyos, tecnificación, etc., pero una adecuada evaluación del riesgo climático permitirá planear acciones enfocadas a la disminución de desastres en el sector.

Todo pronóstico tiene cierto grado de incertidumbre. Es por ello, que resulta muy importante conocer cuáles son las limitaciones de los pronósticos para no crear falsas expectativas. Actualmente, se presentan casos tales como la aparición de charlatanes o pseudocientíficos vendiendo esquemas de generación de lluvia artificial. La ignorancia en materia meteorológica, en combinación con la corrupción, permite que la sequía resulte en “tiempos de bonanza” para algunos.

La utilidad de la información climática en la planeación de actividades en agricultura no se limita a cambios en las estrategias de cultivo. La participación de otros sectores relacionados con el campo mexicano podría verse beneficiada disponiendo de información climática. Por ejemplo, el sector de seguros agrícolas podría convertir la tradicional política de compensación por pérdidas relacionadas a desastres naturales (Ej., Fondo Nacional de Desastres Naturales), en un sistema que estimule el trabajo en el campo considerando el factor riesgo.

En el futuro, los programas de apoyo al campo deberán considerar con mucha más seriedad los avances en materia de clima para hacer del conocimiento una verdadera herramienta de apoyo a los campesinos, principalmente al momento de planear sus actividades. El pronóstico climático es sólo un elemento más de los que deben existir para que esta actividad recupere el papel que debe tener en nuestro país. A partir de esto, en el momento de la evaluación de los impactos de la variabilidad climática se podrán obtener respuestas cuando la parte de la variable clima no represente un factor negativo para la producción, es decir, no todas las respuestas de las pérdidas agrícolas pueden ser obtenidas de la variable clima, de ahí la importancia de conocer los diversos factores involucrados en el sector.

Ante las necesidades actuales de los agricultores, este estudio tiene dos finalidades esenciales, una es que la información climática sea utilizada por quienes trabajan la tierra, esto es, que llegue a las manos de la gente que lo requiere, refiriéndome así, a que exista una circulación de los productos meteorológicos y climáticos. La segunda es que mediante el uso del pronóstico climático el agricultor sea capaz de disminuir el riesgo ante posibles pérdidas relacionadas a eventos climáticos extremos.

Este trabajo podría ser base de otras investigaciones sobre el tema del riesgo y la planeación en la toma de decisiones. Además, podría motivar al trabajo multidisciplinario en la elaboración de esquemas de difusión del pronóstico climático.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Blanch, R., (1999). *¿Pronóstico climático estacional: ¿quién puede usarlo y cómo debería ser difundido?*. Núm. 47, noviembre. The Overseas Development Institute, Portland House, Stag Place, London.

Calva, J. L., (1988). *Crisis agrícola y alimentaria en México*. Fontamara. México

Cane M, G. Eshel y R. Buckland, (1994). *Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature*. Nature. Vol. 370. p. 204 -205.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), (2001). *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99*. Editado por Bitrán, Daniel. p. 38 - 43.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), (2000). *Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres*. Documento presentado en el Seminario “Enfrentando Desastres Naturales: Una Cuestión del Desarrollo”. Nueva Orleans, 25 y 26 de marzo de 2000. Elaborado por Zapata R, Rómulo C y Mora S. 47 pp.

Conde C., R. Ferrer y C. Gay, (1998). *Variabilidad Climática y Agricultura*. GEOUNAM. 5, 1: 26 – 23. México.

Conde C, M. Ferrer, R. Araujo, C. Gay, V. Magaña, J. L. Pérez, T. Morales y S. Orozco, (1999a). *Capítulo 4, en Los impactos de El Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, con apoyo de la Secretaria de Gobernación. México. p. 103 - 136.



Conde, C., V Magaña y M. Ferrer, (1999b), *On the Use of a Climate Forecast in the Planning of Agricultural Activities in the State of Tlaxacala México*. Presprints 11<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology 10 – 15 January. American Meteorological Society. Vol. 12. Dallas Texas. P. 2093 – 2104.

Cruz, J. R., (1993). *El abasto agroalimentario en el subsistema Oaxaca-Juchitán-Salina Cruz*. Tesis de Lic. en Geografía. Filosofía y Letras, UNAM.

European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF), (2003). *Predictability of Weather and Climate*. Shinfield Park, Reading, Berkshire RG2 9AX, England.

Flores M, R. Araujo y E. Betancourt, (2000). *Vulnerabilidad de las zonas potencialmente aptas para maíz de temporal en México ante el cambio climático*. En México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. UNAM-SEMARNAP. México. p. 103 - 118.

Flores, E. M., (1985). *Efectos de la sequía intraestival en la producción de maíz, frijol y sorgo en Michoacán*. Memorias del X congreso Nacional de Geografía. Sociedad Mexicana de Geografía y estadística. Tomo 1. Morelia, Mich. p. 113 – 126.

Florescano, E., (1980). *Una historia olvidada: La sequía en México*. Nexos 32, Vol. 9.

García, A. V., (1993). *Las sequías históricas de México*. En Desastres y Sociedad. Vol. 1. julio – diciembre. p. 83 – 97.

Gay, G. C., (2000). *México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*. UNAM-SEMARNAP. México. p. 119 – 142.

Gobierno del Estado de Oaxaca, (2002). *Cuarto Informe de Gobierno del Estado de Oaxaca 2001-02*. Editado por COPLADE. México. p. 43 – 51.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), (2000). *Explorador Rápido de Información Climática (ERIC II)*. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), (1996). *La agricultura en Oaxaca. VII Censo Agropecuario 1991*. México. 80 pp.

INEGI, (1997). *El maíz en el Estado de Oaxaca*. Aguascalientes, México. 65 pp.

INEGI, (2000). *Censo de Población y Vivienda de 2000*. México.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (1996), *Climate Change 1995, the Science of Climate Change*. Ed. by J.T Houghton et al. Cambridge Press. Cambridge, University Press. 572 pp.

IPCC, (2001). *Climate Change 2001, Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report. Cambridge University Press. 1032 pp.

Jennings D. y Wattan S., (1996). *Toma de decisiones, un enfoque integrado*. 1ra edición. Compañía Editorial Continental S. A de C. V. México. 235 pp.

Liverman, D., (1990). *Drought impacts in México: Climate, Agriculture, Technology, and Land Tenure in Sonora and Puebla*. Annals of the Association of American Geographers, Vol. 80. p. 49 – 72.

Luna, F. M., (2003). *¿Por qué no se deja de producir maíz en México?* En *¿El campo aguanta más?*. Coordinadores: Schwentesius R, Gómez M, Calva JL, y Hernández L. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 111 - 127

Magaña, V., J. Vázquez, J. L. Pérez y J. Pérez , (1998). *Impact of El Niño on precipitation in México*. Geofísica Internacional. Vol. 42. Num. 3. p. 313 – 330.

Magaña, V., J. Vázquez, J. L. Pérez y J. Pérez, (1999). *Los impactos de El Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Con apoyo de la Secretaría de Gobernación, México. 218 pp.

Magaña, R. V. , (2001). *Perspectivas climáticas para el 2001 en la Republica Mexicana*. Claridades Agropecuarias. Editado por SAGARPA. Abril. México.

Méndez, M., (2003). *Un estudio de eventos hidrometeorológicos extremos en la republica Mexicana*. Tesis de Maestría. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México.

Morales A. T, J. L. Pérez, S. Orozco, G. J., et al., (1999). *Experiencia para el pronóstico climatológico para actividades agrícolas en el Estado de Tlaxcala*. Notas INEGI. Vol. 7. p. 30 – 38.

Organización Meteorológica Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (OMM Y BID), (2002). *Factibilidad económica en México. En Estudio de factibilidad sobre la predicción y atenuación de los impactos socioeconómicos de El Niño-Oscilación del Sur en América Latina y El Caribe*.

Reyna, T., (1970). *Relaciones entre la sequía intraestival y algunos cultivos de México*. UNAM. México. 78 pp.

Robles, S. (1983). *Producción de granos y forrajes*. Limusa. México. 608 pp.

Rodríguez, V. D., (1999). *Prevención de desastres en la zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Tesis doctoral. UAM. México. p. 1 –72.

Sánchez S. L. (1983). Comunicación personal. Centro de Investigaciones Agrícolas. Morelia, Michoacán. Citado por Flores, 1985.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), (1990). *Guía para cultivar maíz en el estado de Oaxaca*. Folleto para Productores. Núm. 3. Marzo. México.

SAGARPA, (2001). *Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*.

SAGARPA, (2002). *Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON)*.

Secretaría de Educación Pública (SEP), (1983). *Maíz, Manual para educación agropecuaria*. Núm. 8 Trillas. México. 56 pp. Citado por Flores, 1985.

Uribe, M., (2000). *Análisis de la variabilidad de la precipitación en Tamaulipas*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM. México. 44 pp.

Uribe, M., (2002). *El inicio de la temporada de lluvias en la costa sudoeste de México: relaciones para su diagnóstico y pronóstico*. Tesis de Maestría. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México. 69 pp.

Wilhite and Glantz, (1985). *Understanding the drought phenomenon: The role of definitions*. *Water International*. Num. 10. 110-120 pp.

Wilks, D., (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press. San Diego, California. p. 10 – 20.



## **Sitios en Internet**

*www.iri.columbia.edu*

*www.oaxaca.gob.mx*

*http://serpiente.dgsca.unam.mx/cca*

*http://smn.cna.gob.mx*

*www.cdc.noaa.gov*