

4 El Niño y la Agricultura

Cecilia Conde¹, Rosa María Ferrer¹, Raquel Araujo¹, Carlos Gay^{1,9}, Víctor Magaña¹, José Luis Pérez¹, Tomás Morales¹, Saturnino Orozco¹⁰.

El Niño en el sector agrícola

En el libro “Historia del clima desde el año mil”, Emmanuel Le Roy (1991) presenta múltiples ejemplos de cómo las alteraciones en el clima influyen en los manejos de los cultivos y cómo aumenta la prosperidad de las poblaciones que conocen las condiciones climáticas. Es claro que el clima no es el único factor que determina el éxito de las actividades agrícolas, ya que las condiciones sociales y políticas pueden ser de igual o mayor importancia.

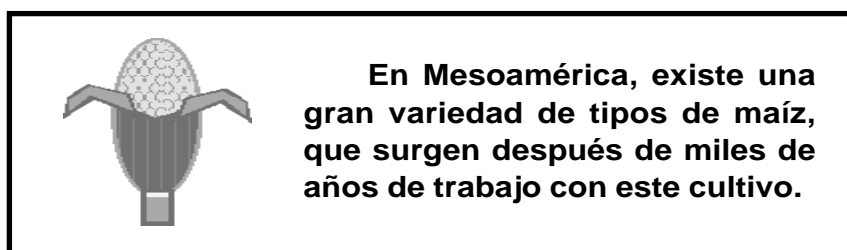
Aunque siempre han existido variaciones del clima, cuando éstas se presentan de manera brusca o persistente generan problemas en las actividades agrícolas, pudiendo resultar en migraciones de las poblaciones afectadas. Por ejemplo, en el siglo XII la población vikinga que habitaba Groenlandia era floreciente, pero para fines del siglo XV todos sus pobladores habían emigrado debido a un prolongado enfriamiento que impidió las actividades agrícolas y congeló los mares de sus puertos. A esta época se le llama en la actualidad “la pequeña edad glacial” y tuvo consecuencias en todo el continente europeo entre los siglos XIII y XVI (Le Roy, 1991). Recientemente, una prolongada sequía en México ha hecho que sectores de la población del estado de Chihuahua emigren.

Cambios drásticos en el clima pueden resultar en migraciones, como la de los vikingos en el siglo XV por causa de la «pequeña edad glacial en Groenlandia»



Diferentes culturas han interpretado de muy diversas maneras los fenómenos atmosféricos con la finalidad de poder pronosticar el clima, objetivo que se persigue con diversos métodos que incluyen las ancestrales cabañuelas y los actuales modelos numéricos de simulación climática.

Debido a que la agricultura depende del clima se han probado una gran variedad de tipos de maíz y otras semillas, buscando aquellas que tengan resistencia a factores climáticos adversos, como las sequías. En el caso de Mesoamérica, la domesticación del maíz fue fundamental en el desarrollo y florecimiento de las culturas regionales precolombinas. El registro arqueológico muestra que la selección y cultivo del maíz desde hace 8,000 años condujo a variedades de este cultivo con mazorcas más grandes y granos más gruesos.



El conocimiento histórico empírico sobre clima ha sido muy importante para el desarrollo de la agricultura en México. Buena parte de ese conocimiento no se puede incorporar de manera formal a los modelos de simulación agroclimática. Sin embargo, el desarrollo de métodos científicos en el estudio de la variabilidad y cambio climático, permite que algunas prácticas agrícolas tradicionales se modifiquen, para adaptarse a las condiciones dominantes hoy en día.

Quienes practican la agricultura tradicional tienen un íntimo conocimiento de su medio, obtenido a través de la observación constante del entorno. Tal conocimiento 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 y otras observaciones del entorno.

A pesar de este conocimiento empírico, los agricultores tradicionales enfrentan hoy en día los aspectos negativos de condiciones climáticas extremas, por lo que es necesario establecer alternativas en los manejos y tipos de cultivo que reduzcan las pérdidas en el campo. Una de ellas incluye el uso de información climática regional utilizando datos de décadas recientes y métodos modernos de análisis.

Los cambios en el clima comienzan a volver limitado el conocimiento tradicional por lo que se requiere hacer uso de los avances de la Meteorología en la planeación de actividades agrícolas.



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. La sequía persistente en el Sahel a principios de esa década fue el detonador de importantes avances en el campo de la predicción climática.

El Fondo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) decidió, durante la Conferencia Alimentaria Mundial de 1974, establecer un sistema de información y alerta sobre alimentación y agricultura a nivel mundial, teniendo como objetivos principales el seguimiento de las condiciones del cultivo, así como el pronóstico de rendimientos, especialmente en los países en desarrollo. Esta iniciativa propició el desarrollo de modelos agroclimáticos para la estimación de los impactos del clima en los cultivos.

La ocurrencia de sequías prolongadas, como la del Sahel en los 70s, dio un gran impulso a los estudios agroclimáticos.



Otra organización interesada en impulsar el desarrollo de modelos agroclimáticos ha sido la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que en diversas notas técnicas, trata de explicar la estructura de algunos modelos y de comparar estudios realizados en diferentes países (Baier, W. 1977; Doorenbos y Pruitt, 1977; Frére y Popov, 1986). Así, existen dos líneas de trabajo para examinar las respuestas de los cultivos a las variaciones climáticas, basadas en:

- i) La medida de la aptitud de un cultivo mediante el uso de índices agroclimáticos.
- ii) La estimación de la productividad potencial¹ al modelar la interacción cultivo-clima.

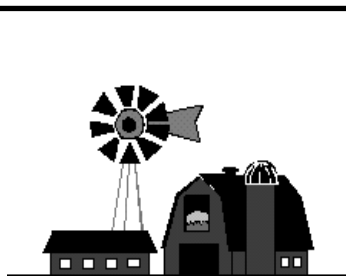
¹ Productividad en condiciones óptimas del cultivo

Los índices agroclimáticos se utilizan para caracterizar el crecimiento de un cultivo sobre la base de variables dadas. Por ejemplo, es común el uso de la clasificación agrotérmica del clima, a partir de la Temperatura Efectiva Acumulada (TEA), usualmente medida en unidades de calor. La TEA es la suma de las temperaturas durante el periodo de crecimiento que se da por encima de una Temperatura Base, considerada como crítica para el desarrollo del cultivo. Este tipo de índices permite determinar la potencialidad de una región para un cultivo.

Un segundo método consiste en el uso de modelos de interacción cultivo - clima, que pueden ser empírico-estadísticos o modelos de simulación de procesos. Los primeros establecen relaciones estadísticas entre una muestra de datos de producción del cultivo y una muestra de datos climáticos, las cuales se emplean para predecir rendimientos con base en las observaciones climáticas. Este procedimiento no necesariamente se basa en la comprensión de las relaciones causales entre el clima y el rendimiento del cultivo.

Por otra parte, los modelos de simulación de procesos describen el crecimiento del cultivo a lo largo de sus diferentes etapas, mediante un conjunto de ecuaciones que relacionan el desarrollo de la planta, el suelo y los factores climáticos. Estos modelos intentan describir los procesos del crecimiento vegetal. Algunos los consideran como los más adecuados para estimar las respuestas de los cultivos a los cambios en el clima (Conde *et al.*, 1997). Sin embargo, también presentan algunas desventajas. Por ejemplo, fueron diseñados para la toma de decisiones a nivel de granjas, lo que los hace difícilmente generalizables a nivel regional. Además, precisan de datos climáticos, edáficos y del cultivo, no siempre disponibles en países como México.

Los modelos de interacción cultivo-clima tienen un gran potencial para estimar la respuesta de los cultivos a variaciones climáticas, aunque requieren de información detallada de clima, suelo y del cultivo mismo.



En México se han desarrollado estudios con gran variedad de modelos. Por ejemplo, para la simulación de procesos en el cultivo del maíz se ha utilizado el modelo CERES-Maize (Jones y Kiriny, 1986). Este modelo proporciona información sobre crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz. Además, simula los efectos del genotipo, el clima, las propiedades del suelo y su interrelación con la dinámica del nitrógeno y el cultivo.

Dentro del proyecto *Estudio de País: México* (Conde *et al.*, 1997) se utilizó este modelo para la evaluación de impactos de cambio climático en la producción de maíz. Actualmente se está utilizando para analizar la producción de maíz en el estado de Tlaxcala, bajo diversas condiciones climáticas asociadas a El Niño (Conde *et al.*, 1998).

El modelo CERES-Maize, es un modelo que proporciona información sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz bajo diversas condiciones climáticas.



Efectos

Los efectos del fenómeno de El Niño en la agricultura se han estudiado sistemáticamente desde la década pasada. Buena parte de los estudios se basan en lo que se denomina “teleconexiones”, esto es, en relaciones estadísticas entre el clima de dos (o más) puntos distantes entre sí. Así, se ha observado que durante condiciones de El Niño se presentan precipitaciones por debajo de lo normal en Oceanía, en la India y en el sureste de África. El Niño provoca también cambios en el clima de México (Cap. 2).

En agricultura, Cane *et al.* (1994), encontraron una teleconexión entre la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial en la región El Niño 3 y los rendimientos de maíz en Zimbabwe. Ahí, el maíz es la fuente más importante de alimento para la población y se cultiva principalmente en condiciones de temporal. Sorprendentemente, la correlación entre los rendimientos de maíz y la TSM resultó mayor (0.78) que aquella entre la TSM y la lluvia anual en ese país (0.64) para los años de 1970 a 1993. Los resultados de tal relación para la agricultura hacen pensar que el diagnóstico y pronóstico del El Niño son claves en Zimbabwe. Sin embargo, en ese país aun existen reservas en cuanto al uso de pronósticos. Aunque el evento de El Niño 1991 fue pronosticado correctamente, no fue posible convencer a los agricultores de aplicar acciones preventivas para la severa sequía que se presentó en 1992. Si bien hubo buenas lluvias en octubre y noviembre de 1991, en 1992 se presentó la peor sequía en el siglo para 10 países de África del Sur, que se tradujo en cosechas reducidas a la mitad de lo esperado, afectando a 10 millones de personas. Quizá su impacto en la población no resultó tan grave gracias a las acciones de los gobiernos amigos y a la ayuda internacional.

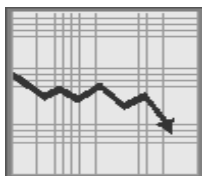
En algunos países hay dudas entre los agricultores sobre los beneficios de usar pronósticos climáticos basados en la señal de El Niño, aún cuando estos pronósticos son cada vez mejores.



En otras partes del mundo también se trabaja en el uso de pronósticos de El Niño para agricultura. En Perú, se decide en qué regiones se plantará arroz o algodón, dependiendo del pronóstico de El Niño. Resulta entonces fundamental contar con un pronóstico confiable de El Niño, conocimiento sobre los tipos de semillas, fertilizantes y conocimiento en el manejo de cultivos alternos, para evitar pérdidas en agricultura.

Para los Estados Unidos, los datos de rendimientos en los estados, del llamado cinturón de los cereales, muestran aumentos significativos durante eventos de El Niño y bajos rendimientos durante eventos de La Niña (Mearns, 1998). Su interés en clima y agricultura se extiende a otros grandes países productores de granos. Bajo ciertas fluctuaciones en el clima, algunos países están en condiciones de exportar granos, por ejemplo Estados Unidos y Argentina, mientras que otros se ven en urgente necesidad de importarlos, por ejemplo, los países africanos.

Algunas estimaciones de los cambios en los precios de los granos a nivel mundial bajo escenarios de cambio climático (Rosenzweig, 1994), sugieren que los países en desarrollo resultarán ser los grandes afectados, pues ellos no sólo perderán áreas de cultivo, sino que también tendrán que pagar más por las importaciones.



Los precios de granos mundiales están en gran medida en función de las variaciones climáticas globales, como las que ocurren durante eventos de El Niño.

La productividad agrícola depende de una compleja interrelación entre clima, factores biofísicos y manejo de los cultivos. Sin embargo, resulta fundamental considerar adicionalmente los factores económicos y sociales como potenciadores o barreras a las alternativas de adaptación propuestas bajo condiciones de un evento como El Niño.

Clima y Agricultura

De la discusión de los efectos del fenómeno de El Niño en México, particularmente en el régimen de lluvias, es claro que la disminución de la precipitación durante veranos de El Niño afecta el ciclo agrícola primavera - verano, fundamental para la producción agrícola en nuestro país.

Las prácticas agrícolas de temporal en México son particularmente sensibles a cualquier alteración en la estación lluvias, ya sea por retraso, por irregularidad o deficiencia persistente en las precipitaciones. Condiciones de sequía pueden provocar desde la pérdida de algunos cultivos, hasta hambrunas y migraciones en vastas regiones del país.

La intensidad y duración de las condiciones de sequía para la época colonial ha sido reportada por Florescano (1980), cuyo análisis se basa en datos históricos de los impactos de este fenómeno en la sociedad, particularmente en aspectos agropecuarios, y no exactamente en mediciones físicas. La posible relación entre los eventos de El Niño y el déficit de lluvia en algunas regiones de México ha sido estudiada para eventos ocurridos desde 1524 (Jáuregui 1995), utilizando información sobre los impactos biofísicos de este evento en las costas de Perú (erosión del suelo por inundaciones, muerte masiva de aves, etc.) y los archivos históricos de Florescano (1980).

Mediante archivos que datan de las épocas de la colonia, se sabe que el fenómeno de El Niño ha existido siempre y comúnmente ha estado relacionado con sequías en el verano en México.



Para mostrar esta relación, se presentan en la Tabla 4.1 los años en que ocurren simultáneamente El Niño y sequías en algunas regiones de México. Se incluyen algunos casos en que los Niños tuvieron un fuerte impacto, no tanto por su intensidad, sino por su duración, o bien, por su efecto en regiones más amplias del territorio. Para los años previos a este siglo la información recopilada corresponde principalmente a la región centro del país. Es claro que la confiabilidad de los datos es mayor en la medida en que son más recientes. Los periodos reportados como sequía corresponden a los meses de mayo a agosto, principalmente. Los efectos en la agricultura se describen en primer lugar, como una disminución o pérdida de las cosechas, con la consecuente escasez y/o aumento en los precios de los granos básicos. También durante estas sequías se reporta la mortandad de ganado, el aumento en las plagas y las limitaciones en el suministro de agua. A partir de la década de los setentas, se encuentran ya reportes de enfermedades asociadas a ondas de calor.

Tabla 4.1 Relación entre eventos de Niño y efectos negativos en las actividades agrícolas en México de 1535 a 1987

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

Tabla 4.1 (continuación)

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

n/e: no especificado
Tomado de Jaúregui, E., 1995

De 452 años (1535 a 1987) estudiados por Jáuregui, casi la mitad de la serie (233), corresponden a condiciones de sequía. Sin embargo, la correlación entre sequías y años con condiciones de El Niño no es significativa. Ahora bien, al reducir el periodo analizado (1822 - 1987), se observa que en el presente siglo la correspondencia de los fenómenos El Niño y la sequía aumenta al doble que la frecuencia encontrada para el siglo pasado, concluyéndose que “las condiciones de sequía en regiones de México parecen estar ligadas significativamente al fenómeno de El Niño”.

A la tabla anterior hay que añadir prácticamente toda la década de los noventa. De hecho, la duración prolongada de condiciones de El Niño de 1991 a 1996 sometió, particularmente al norte y centro - norte del país, a severas y prolongadas condiciones de sequía. El fuerte Niño de 1997 - 1998, sólo comparable con el de 1982 - 1983, provocó una intensa sequía en prácticamente todo el territorio nacional.

La sequía de primavera - verano asociada a El Niño impacta principalmente a la agricultura. La magnitud de este impacto depende tanto de su intensidad como de su duración. La vulnerabilidad de una región a un evento climático extremo depende en primer lugar de las características de éste, pero también de las condiciones económicas, culturales y políticas de la región, que determinan la capacidad de prevención y respuesta (adaptación) a los impactos de tal evento.

En México, la sequía asociada a El Niño tiene efectos diferentes dependiendo de la región considerada. Liverman (1990) encuentra que en Puebla, los efectos de la sequía de 1982 - 1983 fueron mayores para los productores con acceso a tecnologías agrícolas modernas y créditos, derivados del Plan Puebla (Peña y Ramírez, 1993), que para los productores que siguieron esquemas de agricultura tradicional y aún para los que no sembraron y emigraron temporalmente a las ciudades, debido a que los primeros, además de perder la cosecha, aumentaron sus deudas.

La sequía representa para los productores no sólo la pérdida de sus cultivos, sino también el aumento de sus deudas.



De acuerdo con Dilley (1993), en el valle de Oaxaca se presentan actualmente grandes presiones sociales resultado de la competencia por el uso del agua. Los agricultores con recursos económicos han realizado un cambio de cultivos. Ahora siembran alfalfa como forraje para vacas lecheras para la producción de quesos, así como otros vegetales que requieren mayor cantidad de agua que los granos básicos

pero con una creciente demanda en los mercados de exportación. La creciente actividad turística y la demanda urbana de agua, colocan en desventaja a los productores de maíz pobres, que difícilmente tienen acceso a los suministros de aguas superficiales. En condiciones de sequía prolongada, como puede ser durante Niños intensos, se incrementan los conflictos sociales asociados a la disponibilidad del agua y los rendimientos de maíz de temporal disminuyen significativamente.

En el noroeste del país, particularmente en Sonora, el Tratado de Libre Comercio (TLC) de América del Norte condujo al cambio de los cultivos tradicionales. Puesto que México no es competitivo en la producción de granos básicos, la producción de la región incluye ahora uvas, alfalfa y espárragos para exportación. Liverman (1995) sostiene que para México, la exportación de dichos vegetales es en realidad exportación de agua, escasa en la región.

Impacto de El Niño en la producción de maíz de temporal

La agricultura mexicana se desarrolla fundamentalmente durante el ciclo primavera - verano (P-V). De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR, 1998) el ciclo P-V ocupa el 80% de la superficie de labor del país y genera el 70% de la producción agrícola anual. De esta superficie, el 87.5% se cultiva en condiciones de temporal.

Se considera temporal a la época del año en que se registran las precipitaciones para el establecimiento y desarrollo de un cultivo. El temporal se puede clasificar en cuatro niveles (Flores 1986), dependiendo de la cantidad de lluvia anual acumulada:

- i) temporal muy deficiente (menos de 350 mm),
- ii) temporal deficiente (de 350 a 500 mm),
- iii) temporal favorable (500 a 1000 mm) y
- iv) temporal muy favorable (más de 1000 mm).

A partir de criterios climáticos, se determina la distribución de regiones de temporal (Fig. 4.1). Los estados del norte son los menos adecuados para los cultivos de temporal, mientras que las regiones centro y del Pacífico son de temporal favorable. Dado que el promedio anual de lluvia en el país es de alrededor de 700 mm, la agricultura de temporal a nivel país tiene escaso rendimiento (Bassols, 1993).

Para la determinación de la aptitud regional a los cultivos, es preciso incorporar a los niveles anteriores otros criterios, tales como la distribución de las lluvias, los rangos de temperatura máxima y mínima, la pendiente del terreno, así como el tipo de suelo. Las condiciones en que se desarrolla la agricultura en México determinan su vulnerabilidad ante eventos climáticos, como El Niño.

Para la evaluación del impacto de fenómenos climáticos extremos en la agricultura de temporal se utilizan varios métodos. Uno de ellos determina cuál es el daño a nivel nacional en los cultivos, particularmente del maíz, tanto en la superficie siniestrada (la cual es entendida como el porcentaje de la superficie sembrada que se pierde durante el ciclo de cultivo), como en el decremento en la producción.

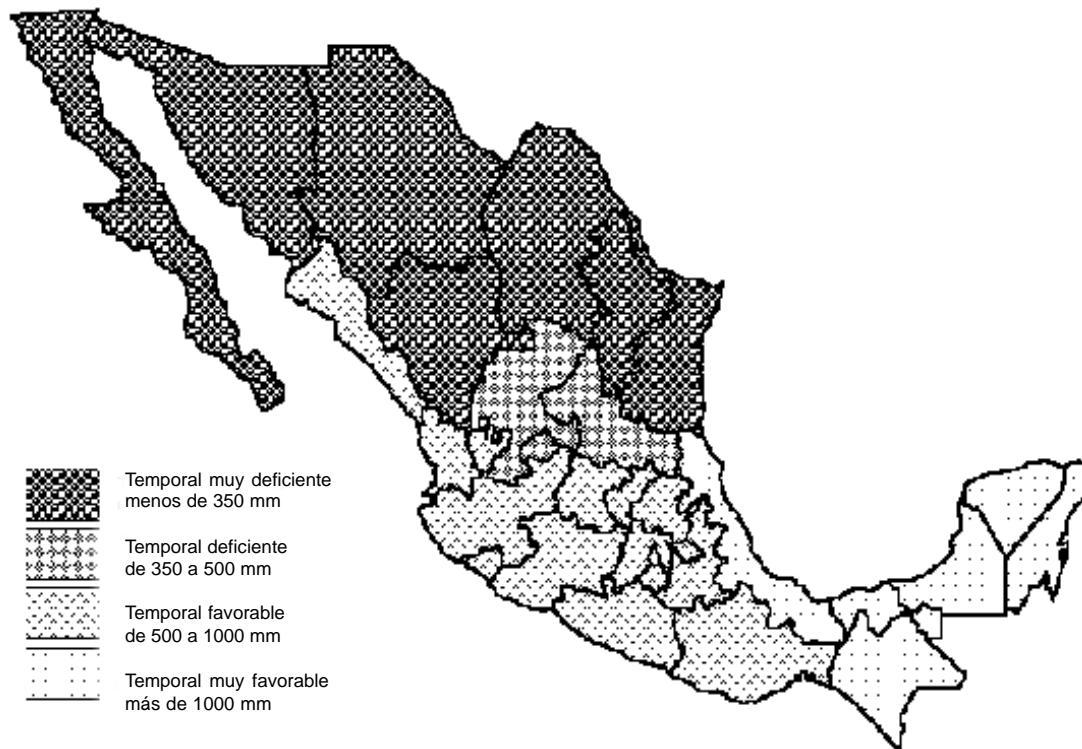


Fig. 4.1. Clasificación de temporal a nivel estatal. Criterios desarrollados a partir de estudios de Bassols (1993) y Flores (1986).

En el verano de 1997, El Niño afectó a gran parte del país. Extensas áreas tuvieron decrementos cercanos al 50% en las lluvias (Fig. 4.2), hecho que se reflejó en la superficie siniestrada para el cultivo de maíz grano¹. Las superficies siniestradas para el cultivo en 1997 aumentaron con respecto a años anteriores (Figs. 4.3a y 4.3b). Comparando dos años de El Niño (1991 y 1997), es claro que el fuerte evento de 1997 tuvo grandes consecuencias negativas para la agricultura de temporal del ciclo primavera - verano, particularmente en los estados del norte y costas del Pacífico. Si en 1991 cinco estados del país tuvieron pérdidas mayores al 40%, en 1997 fueron más de diez los estados afectados.

¹ De 3 tipos de cultivo de maíz: grano y palomero (para consumo humano) y forraje (para consumo animal), en este trabajo se considera sólo el maíz grano.

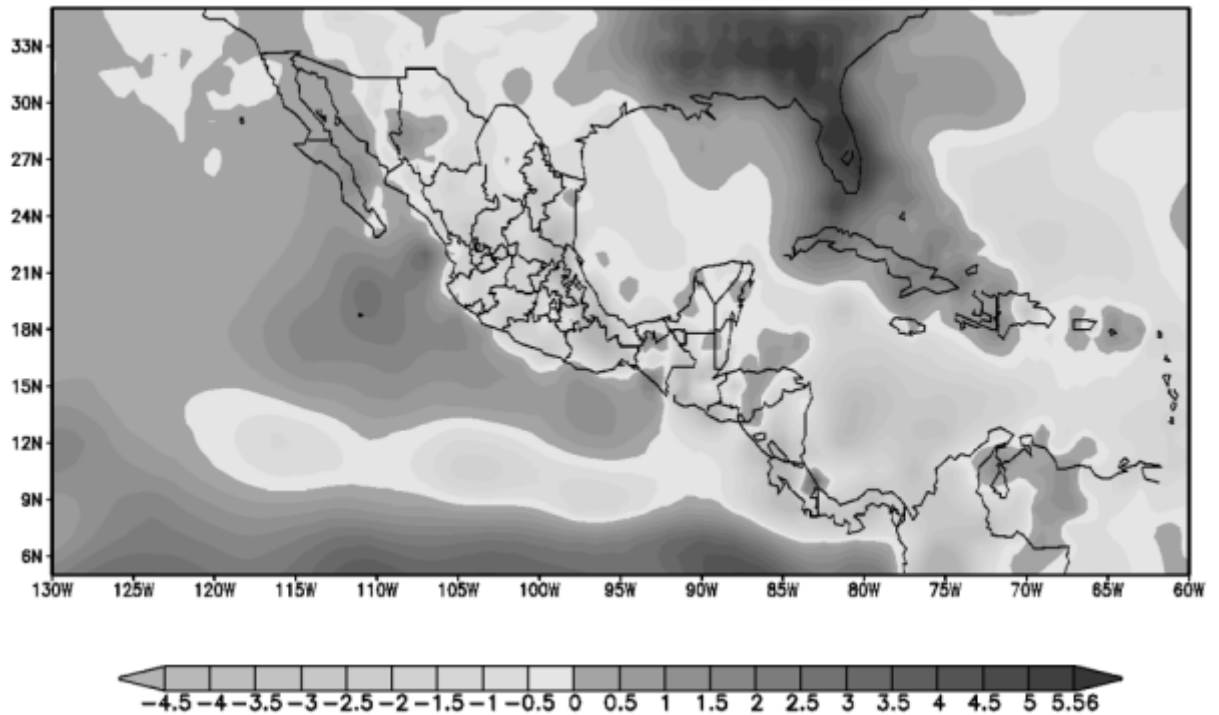


Fig. 4.2. Anomalías de precipitación (mm/día) para el verano de 1997

El Niño que inició en 1997 se prolongó hasta mediados de 1998. La precipitación acumulada a nivel nacional del 1° de enero al 30 de abril, fue un 40% menor a la media histórica para este período (SAGAR, 1998). La falta de lluvias en abril y la primera quincena de mayo, es decir, el retraso del inicio de las lluvias, provocó también un retraso en las siembras de los valles altos, principalmente en la región centro del país que abarca los estados de México, Puebla, Hidalgo, Guanajuato, Tlaxcala, Morelos y Querétaro. Con la información anterior, la SAGAR (1998) estimó una disminución de la producción en el ciclo primavera - verano de 1998 del 14% del volumen programado, esto es, de 14.7 millones de toneladas.

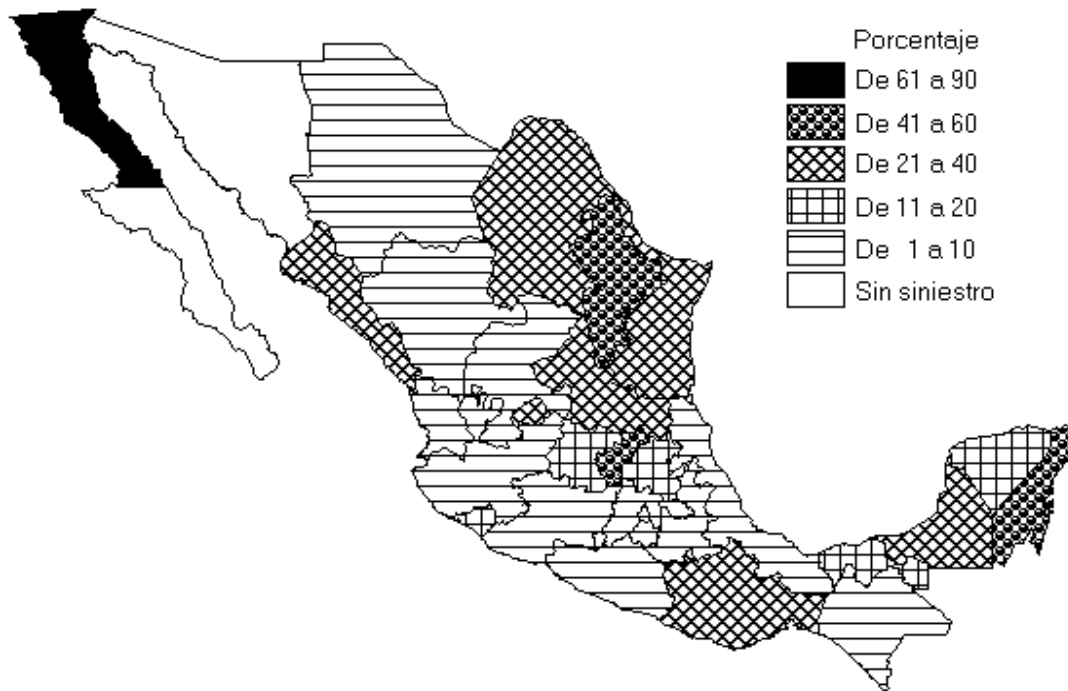


Fig. 4.3a. Superficie sembrada en temporal de maíz-grano con siniestro, ciclo primavera-verano, 1991

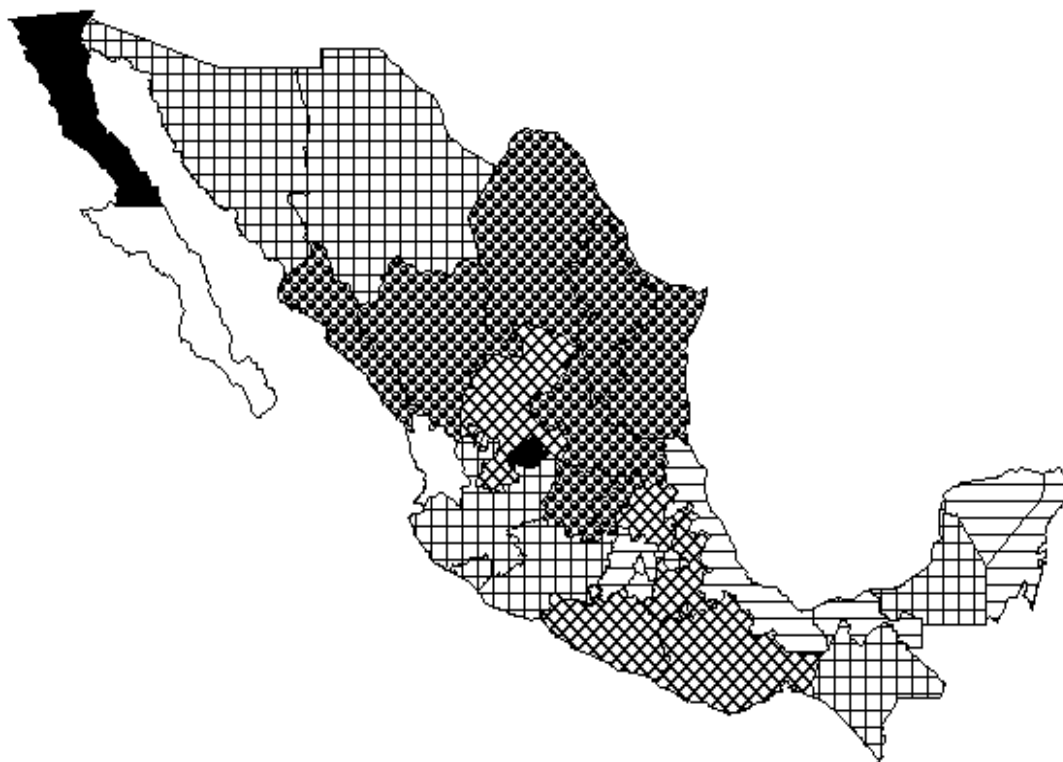


Fig. 4.3b. Superficie sembrada en temporal de maíz-grano con siniestro, ciclo primavera-verano, 1997

Tlaxcala: un estudio de caso

El estado de Tlaxcala se localiza en la zona centro - oriental de la República Mexicana, entre los 97° 37' 07'' y los 98° 42' 51'' de longitud oeste, y entre los 19° 05' 43'' y los 19° 44' 07'' de latitud norte. Está situado en las tierras altas del Eje Neovolcánico sobre la meseta de Anáhuac. El estado se localiza por encima de los 2000 metros de altitud. Tlaxcala es la segunda entidad más pequeña del país y cuenta con una superficie de 4,060.92 Km², sólo mayor al Distrito Federal.

Los datos del Censo de Población y Vivienda 1995, elaborados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1996a), indican que la densidad de población en Tlaxcala es de 226 habitantes por Km², casi 5 veces mayor que la media nacional. Asimismo, la tasa de crecimiento poblacional, de 3.2% (INEGI, 1992), rebasó en 1.2% la media nacional. Tlaxcala, sufre de los agudos problemas relacionados con la erosión y la degradación del suelo, así como la disminución de la disponibilidad de agua. Estas condiciones se acentúan por la competencia de estos recursos entre la población urbana, la industria y la agricultura.

El estado de Tlaxcala sirve como estudio de caso por ser pequeño y porque ahí la agricultura ocupa un 82.6% de su superficie (INEGI, 1996b). De este espacio, 92.2% se dedica a la producción de temporal, lo que hace a la agricultura altamente dependiente del clima. La producción de maíz de temporal predomina, ocupando el 53% de la superficie dedicada a labores del campo, con rendimientos promedio de 2 toneladas por hectárea. La mayor parte de formas agrícolas (85%) corresponde a unidades productivas de menos de 5 hectáreas.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Tlaxcala reporta que durante el ciclo primavera - verano, más del 90% de la superficie de labor en el estado se encuentra bajo condiciones de temporal (Legorreta-Padilla, 1998).



En Tlaxcala, más de 120 mil hectáreas son dedicadas al maíz, alrededor de 70 mil al trigo y a la cebada, y 10 mil al frijol, a la haba y a otros cultivos

De acuerdo a datos del VII Censo Agrícola y Ganadero de 1991 (INEGI, 1994), la superficie de labor sembrada con maíz es grande pero los rendimientos obtenidos son bajos (Fig. 4.4). Una gran extensión de la superficie resulta siniestrada (Fig. 4.4c) debido a que el maíz se cultiva en regiones del estado en donde, ni el clima, ni las condiciones topográficas, ni el suelo son las adecuadas.

Los estudios realizados por el INIFAP demuestran que de la superficie sembrada con maíz de temporal, sólo alrededor de 23 mil hectáreas son clasificadas como de buen potencial productivo, mientras que para los cultivos de trigo y cebada se consideran aptas más de 50 mil y 60 mil hectáreas, respectivamente. En el caso del frijol, 21 mil hectáreas presentan condiciones adecuadas (Tabla 4.2).

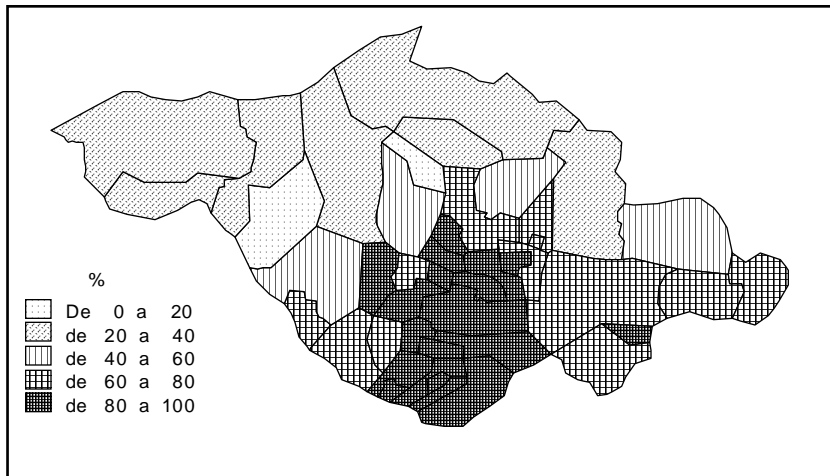


Figura 4.4a. Porcentaje de la superficie de labor sembrada con maíz, ciclo primavera - verano 1991 (INEGI, 1994).

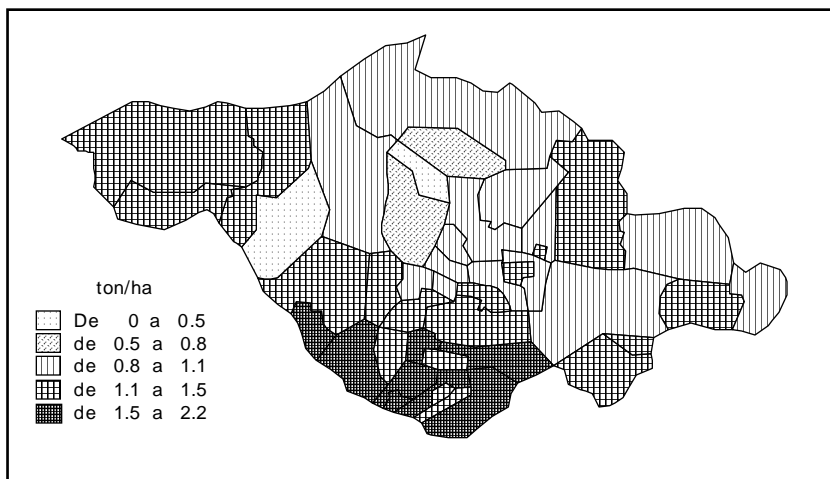


Figura 4.4b. Rendimientos del cultivo de maíz, ciclo primavera - verano 1991 (INEGI, 1994).

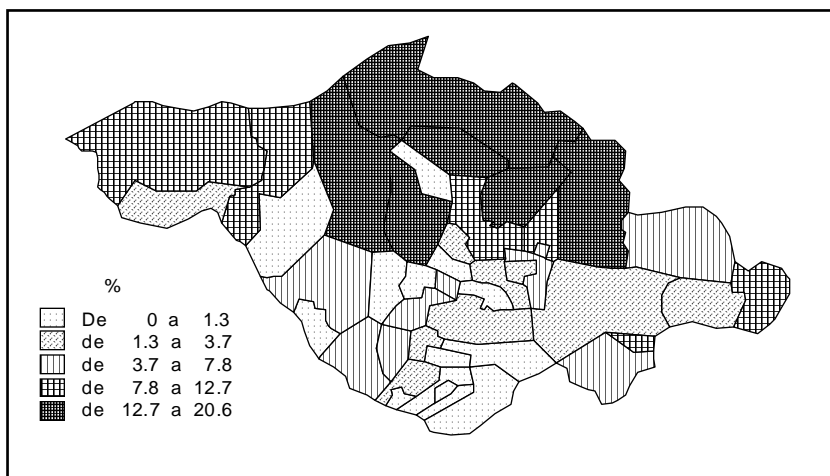


Figura 4.4c. Superficie siniestrada del cultivo de maíz, ciclo primavera - verano 1991 (INEGI, 1994).

Por lo anterior, en Tlaxcala se presenta la aparente incongruencia de tener el 53% de su superficie dedicada a la producción de maíz de temporal, cuando sólo el 15% de la misma o menos, es considerada por el INIFAP como de buen potencial para tal cultivo. Tal condición vuelve al Estado altamente vulnerable a variaciones climáticas.

Tabla 4.2 Características de los principales cultivos en Tlaxcala.

Cultivo	Requerimiento de agua (mm acumulados)	Profundidad del suelo	Pendiente del suelo	Fecha de siembra	Duración del ciclo	Hectáreas con alto potencial productivo
Maíz	600	Profundos (mayores a 1 metro)	Menores al 4% para labranza tradicional y hasta el 6% para labranza de conservación	Antes del 30 de abril	160-200	23 000
Cebada	450	Poco profundos (menores a 40 cm)	De 0 a 8%	30 de junio	120-130	60 000
Trigo	600	Poco profundos (menores a 40 cm)	De 0 a 8%	20 de mayo a 5 de junio	114-129	50 000
Frijol	450 a 500	sin dato	sin dato	Hasta 30 de junio	100-135	21 000

Pronóstico climático para Tlaxcala

Siendo Tlaxcala un estado de actividades agrícolas poco eficientes y vulnerables a extremos climáticos, el uso de pronósticos y diagnósticos del clima se considera de gran utilidad. La fuerte relación entre producción de maíz de temporal y las lluvias, controladas en gran medida por la señal de El Niño (Fig. 4.5), hacen del caso Tlaxcala un buen tema de estudio. Evidentemente, el ciclo más importante es el de primavera - verano, donde resulta clave describir y pronosticar, por ejemplo, el inicio y fin del periodo de lluvias, así como la lluvia acumulada. Esta información es un elemento adicional de juicio en la elección de la variedad de maíz a sembrar (dependiendo de su ciclo) , o aún en la decisión de un cambio de cultivo, si las condiciones pronosticadas son lluvias escasas.

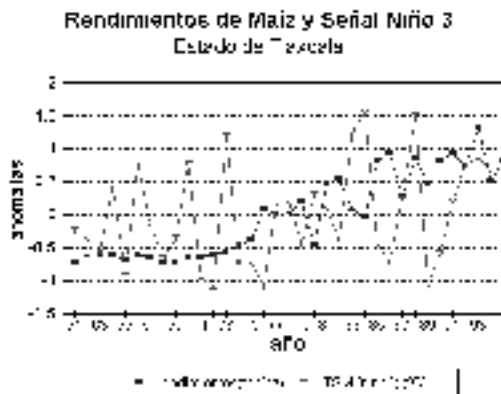


Fig. 4.5 Rendimientos de producción de maíz en Tlaxcala y la señal El Niño

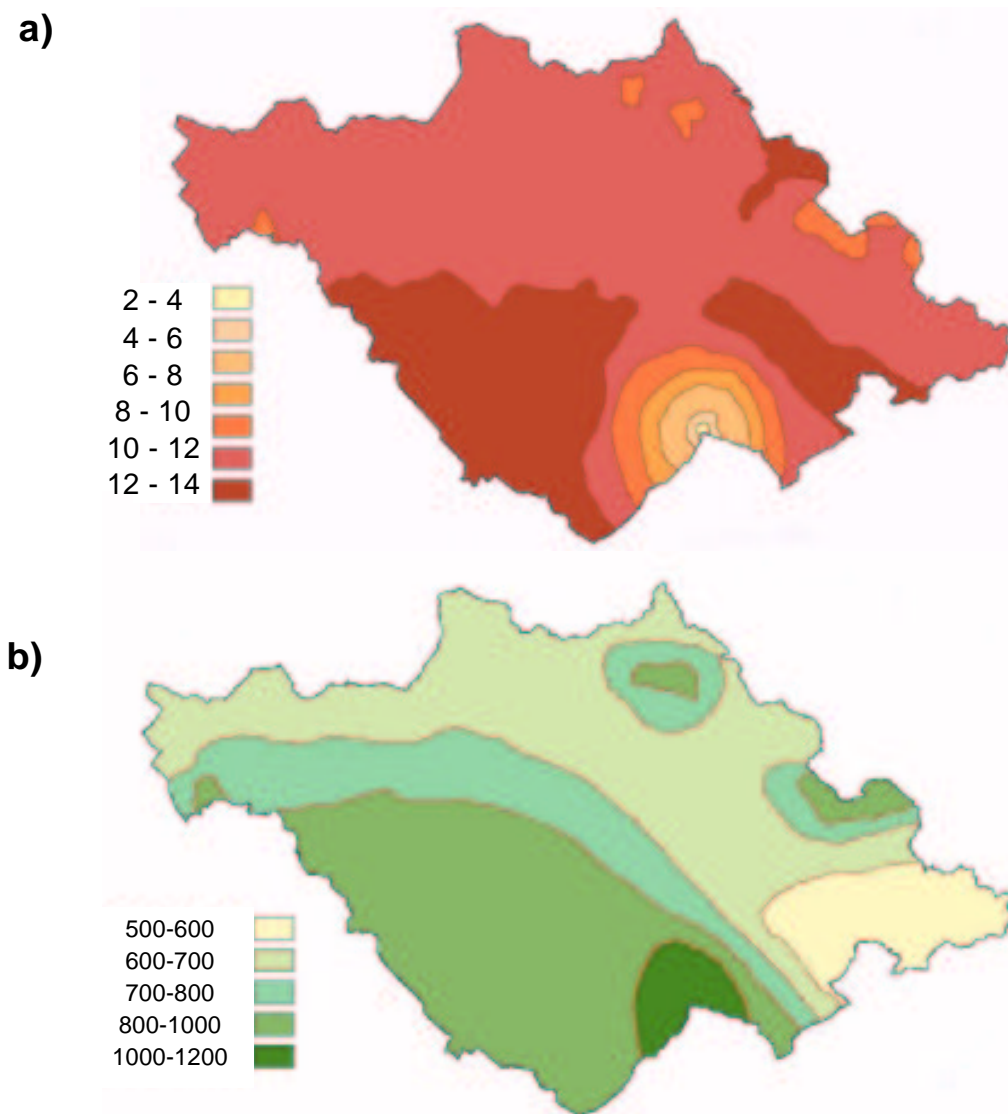


Fig. 4.6 Condiciones medias anuales a) de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y b) de precipitación (mm) para el estado de Tlaxcala.

En mayo de 1997 y durante el desarrollo del proyecto “Utilización de Pronósticos Climáticos en Actividades Agrícolas en Tlaxcala”, se trabajó en diagnosticar las condiciones climáticas a escala regional dominantes, sus fluctuaciones y las relaciones de éstas con el fenómeno El Niño (Conde *et al.*, 1999). Con base en los impactos de El Niño en Tlaxcala se elaboraron pronósticos de inicio y fin de la temporada de lluvias, lluvia acumulada (de junio a septiembre, 1997) y anomalías de temperaturas máximas, mínimas y medias. El pronóstico se elaboró en términos de si se tendrían condiciones por encima o por abajo de lo normal o bien, alrededor de la climatología normal (Fig. 4.6). Se incluyeron algunos diagnósticos de la canícula o sequía intraestival (moderada, débil, intensa) y de la probabilidad de heladas, que es el evento de tiempo severo que más daño causa en los cultivos del estado.

Los pronósticos se basaron en las relaciones entre las condiciones regionales observadas y los pronósticos de temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico tropical (TSM en la región Niño 3). El pronóstico indicaba que en marzo de 1997 se estaría en condiciones de Niño débil. Se analizaron las condiciones en Tlaxcala durante eventos anteriores de Niño débil y se obtuvo una primera estimación de las condiciones a pronosticar (uso de análogos).

Para tener una mejor predecibilidad se evaluaron modelos estadísticos basados en ecuaciones de regresión. Finalmente, se analizaron otros pronósticos disponibles, como el del Instituto Internacional para la Investigación del Clima (IRI). La conclusión fue que se aproximaba un Niño débil, por lo que las lluvias en Tlaxcala estarían cerca de la media. El resultado fue medianamente exitoso ya que, aunque se pronosticó acertadamente que se adelantarían las lluvias, la lluvia acumulada hasta septiembre estuvo muy por debajo de lo normal ya que, el evento El Niño se desarrolló hasta convertirse en un Niño muy fuerte.

Para 1998 se decidió utilizar un método de análogos (Magaña *et. al.*, 1998), considerando que el comportamiento del fenómeno El Niño 1997 - 1998 evolucionaría de manera semejante al ocurrido en 1982 - 1983. Esto permitió que se emitieran pronósticos de lluvia acumulada mes por mes a nivel regional y local para seis lugares: Apizaco, Ixtacuixtla, Huamantla, Calpulalpan, Tlaxco y Españita (Fig. 4.7). La mayor precisión de los pronósticos sobre la evolución de El Niño, resultó en mejores predicciones de lluvia en Tlaxcala, que se distribuyeron entre los productores (Fig. 4.8).

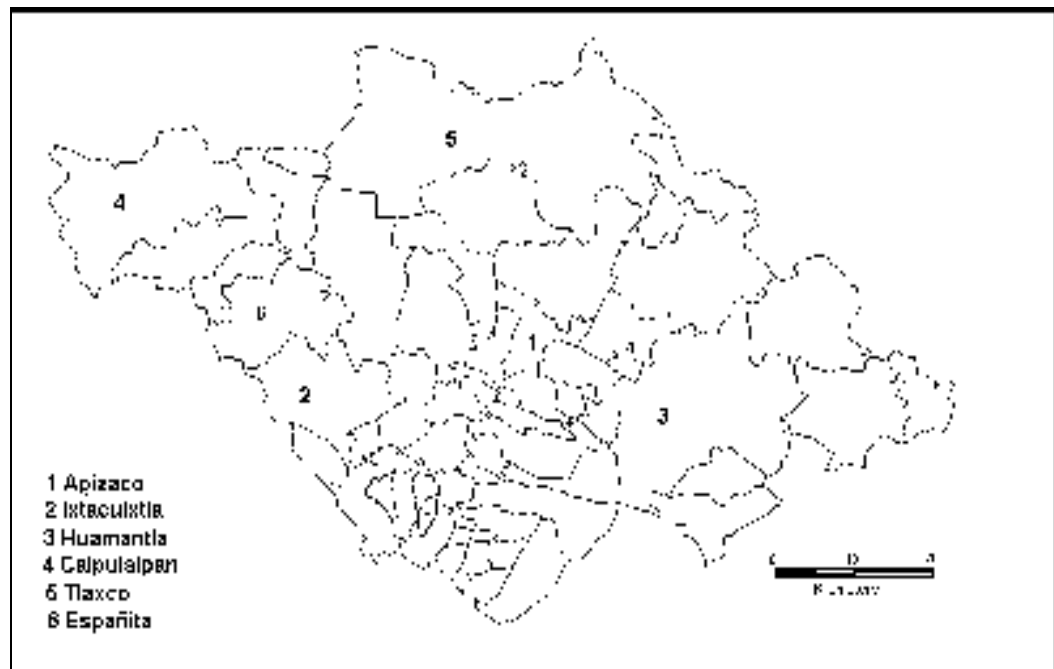


Fig. 4.7 Municipios para los que se emitieron pronósticos de lluvia acumulada mes por mes.

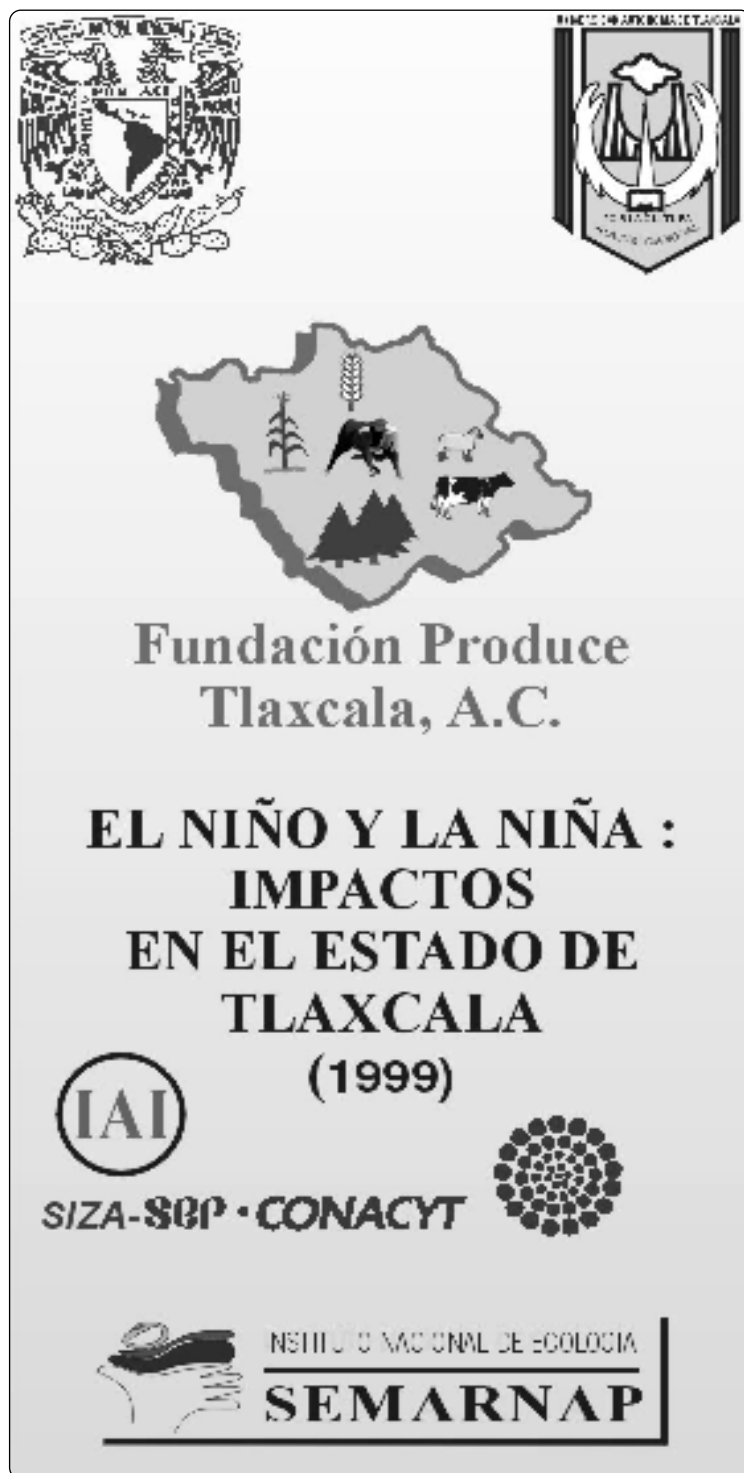
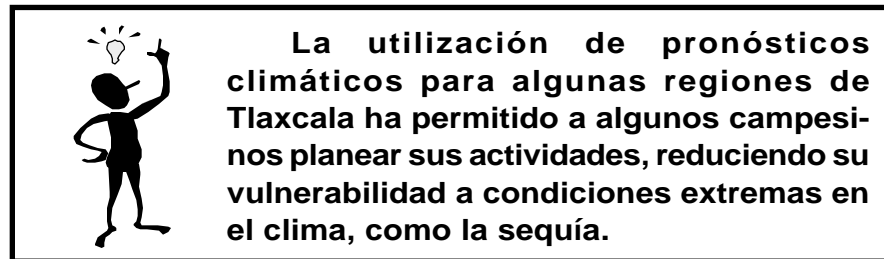


Fig. 4.8 Portada del tríptico de pronóstico climático para Tlaxcala.

A nivel estatal, se pronosticó para 1998 una disminución muy importante de la lluvia para los meses de marzo hasta mayo (Fig. 4.9a). Se determinó que no sería sino hasta julio que se tendrían lluvias normales o por encima de lo normal (Fig 4.9b). Después del mes de agosto el pronóstico señalaba la posibilidad de que se presentaran lluvias muy por encima de lo normal.

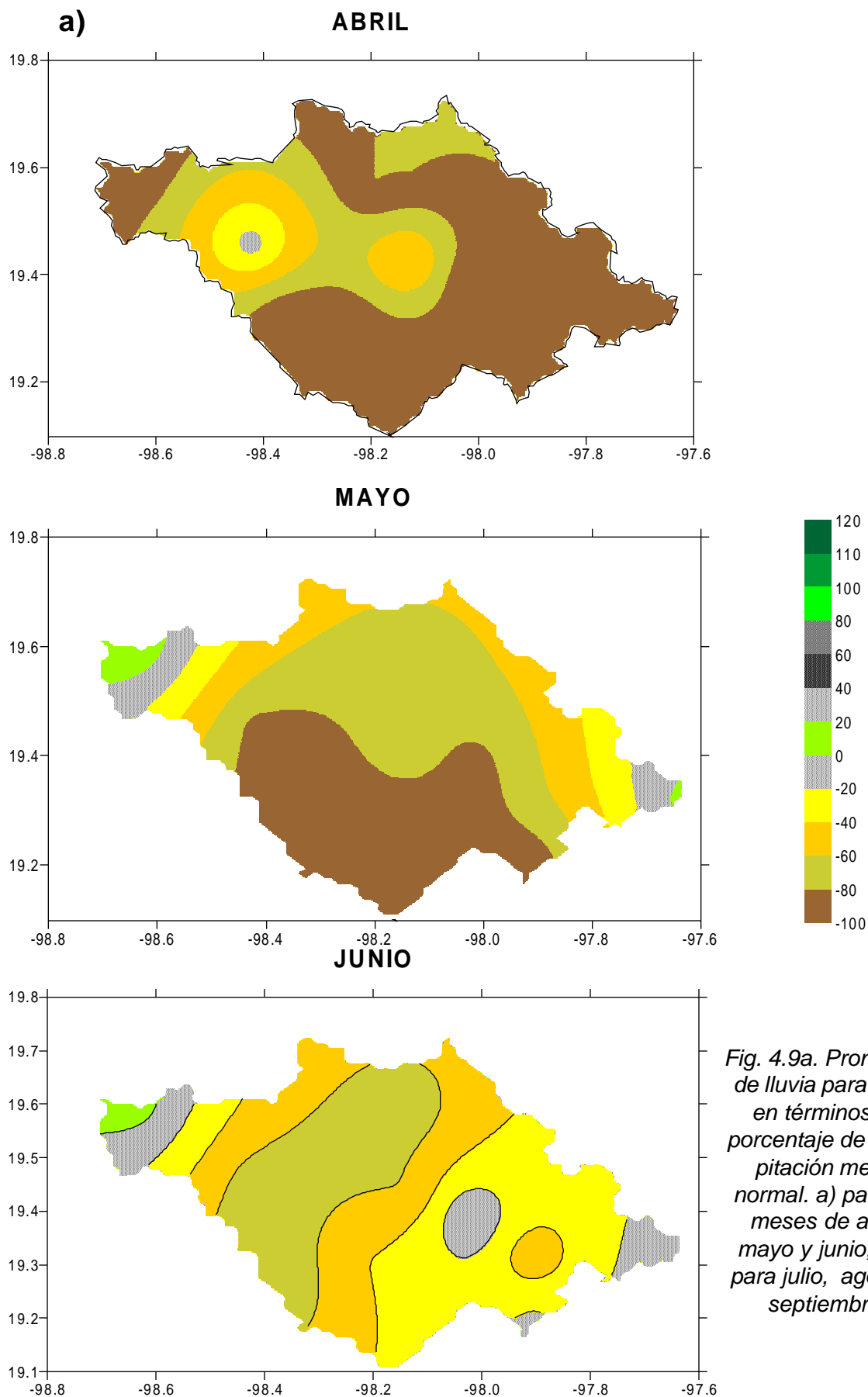


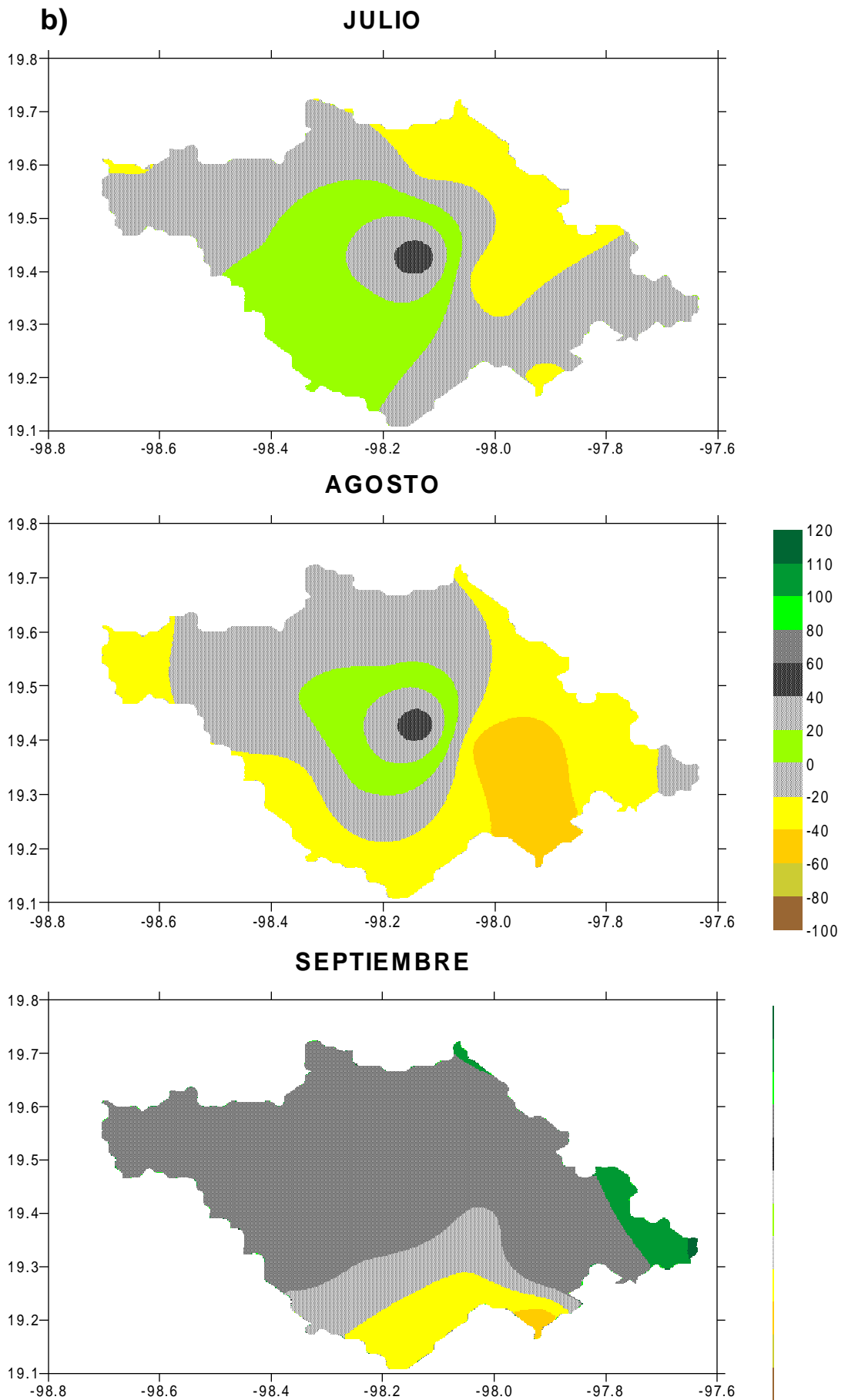
Este pronóstico, presentado en marzo de 1998, fue altamente satisfactorio, tanto a nivel estatal como a nivel regional. Los resultados fueron discutidos en talleres y conferencias municipales y se repartieron en forma de tríptico en los seis municipios señalados (Fig 4.8). Gran parte del éxito se debió a la precisión del pronóstico de la evolución de El Niño.

Las variaciones del clima en Tlaxcala a nivel local, basadas en el fenómeno Niño, resultaron razonablemente pronosticadas para diversos municipios del estado para los meses de marzo a septiembre (Fig. 2.28). El contraste entre valores climatológicos y observados permite llegar a tal conclusión (ver Cap. 2). Sólo para marzo y julio no se acertó en cuanto a pronosticar correctamente el signo de anomalía de la lluvia, en algunas localidades, pues en algunos casos la precipitación en marzo fue nula y en julio aún se tuvieron condiciones de déficit.

Un modelo de productividad agrícola: CERES

Apizaco es el municipio del estado para el que se tuvieron las series más completas de datos diarios (más de 30 años), necesarios para el estudio climático y la aplicación del modelo de simulación agrícola: el CERES-Maize. El Departamento de Suelos de la Escuela de Agrobiología de la Universidad de Tlaxcala realizó análisis de suelos para simulaciones con el modelo. La información acerca del manejo del cultivo: fecha de siembra, densidad de siembra, distancia entre los surcos, semillas por mata y aplicación de fertilizante, así como de las variedades de maíz empleadas y su fenología (inicio de floraciones masculina y femenina), fue proporcionada por los expertos de el INIFAP - Tlaxcala, Desarrollo Rural y los agricultores, a través de entrevistas y encuestas.





Además de las variaciones interanuales, cada vez es más importante analizar las tendencias del clima. Un estudio de variaciones decadales (Conde, *et al*, 1998) de datos climáticos hace evidente, para el caso de la temperatura máxima, una tendencia al calentamiento de aproximadamente 1.5 grados entre las décadas de los sesentas y el periodo 1991 - 1995 (Fig 4.10). Esta tendencia también se observa, aunque en menor grado, en la temperatura mínima. Para la precipitación se presenta una tendencia al aumento (Fig 4.11), aunque para el quinquenio 1991 - 1995, se observa un cambio en el régimen de la precipitación, particularmente en el fenómeno de la canícula o sequía intraestival (Magaña *et al.*, 1999), la cual se acentúa coincidiendo con la ocurrencia de más eventos El Niño prolongados. Cabe resaltar que los promedios decadales pueden enmascarar condiciones contrarias a la tendencia, puesto que minimiza, en periodos particulares, la aparición de eventos climáticos extremos.

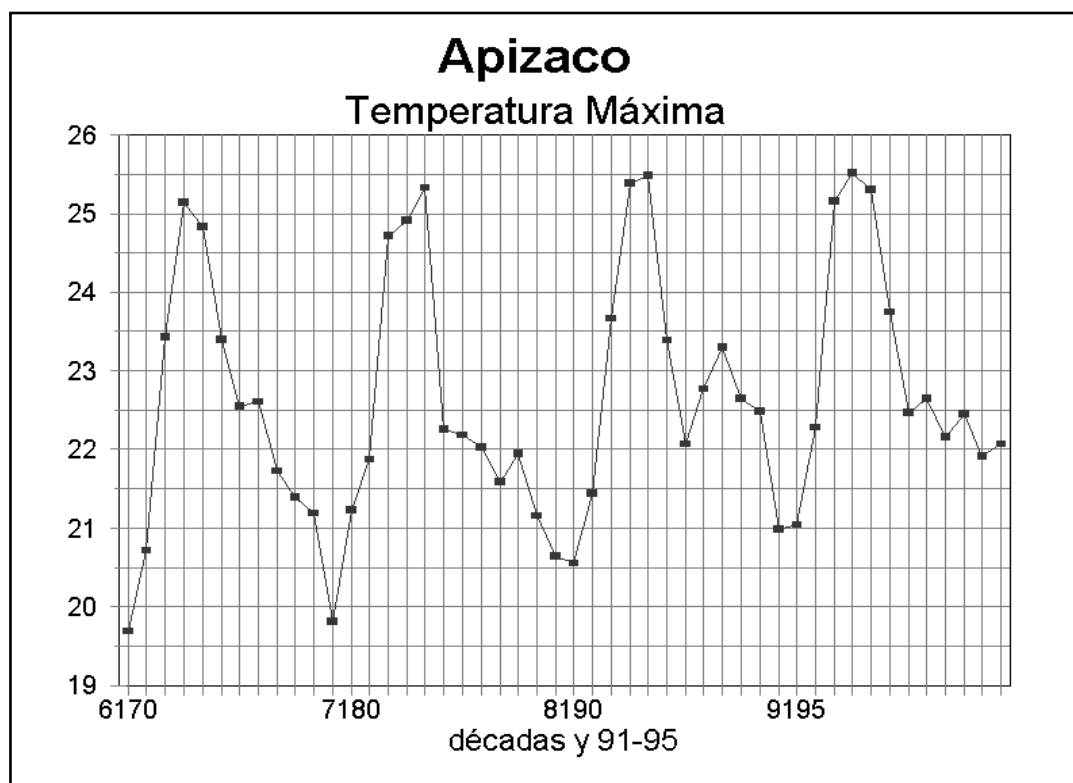


Fig. 4.10 Temperatura máxima (°C) promedio mensual para las décadas: 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 y para el periodo de 1991-1995.

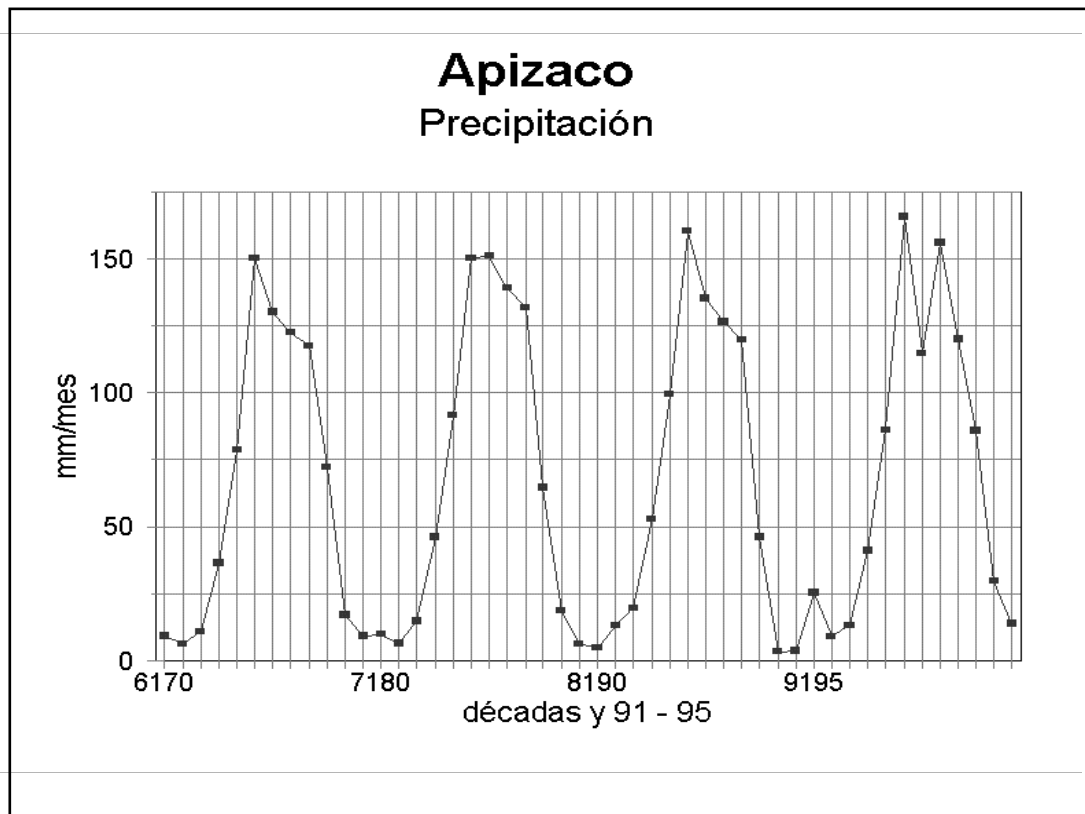


Fig. 4.11 Como en la Fig. 4.10, pero para precipitación (mm/mes).

Al realizar el análisis decadal de los patrones de vientos, comparando la década de los sesentas con el periodo 1991 - 1997 (Fig 4.12), se observa que los vientos del norte - noreste se presentan con mayor frecuencia que los del sur - sureste. Además se observa una tendencia al aumento de la lluvia anual acumulada y una mayor intensidad de la canícula, calculada como el decremento de la precipitación de junio a julio. Así pues, las tendencias decadales exhiben variaciones climáticas importantes, acentuadas particularmente en los años recientes bajo condiciones El Niño.

Si se analiza la precipitación promedio para los años El Niño más fuertes, a partir de los sesentas (1965 - 1966, 1972 - 1973, 1982 - 1983, 1986 - 1987 y 1991 - 1992) se observa que el efecto más importante es una disminución en las lluvias de verano (Fig 4.13), especialmente en los meses en los que se presenta la sequía intraestival (julio - agosto). Para los años La Niña, el patrón de lluvias es cercano a la climatología media.

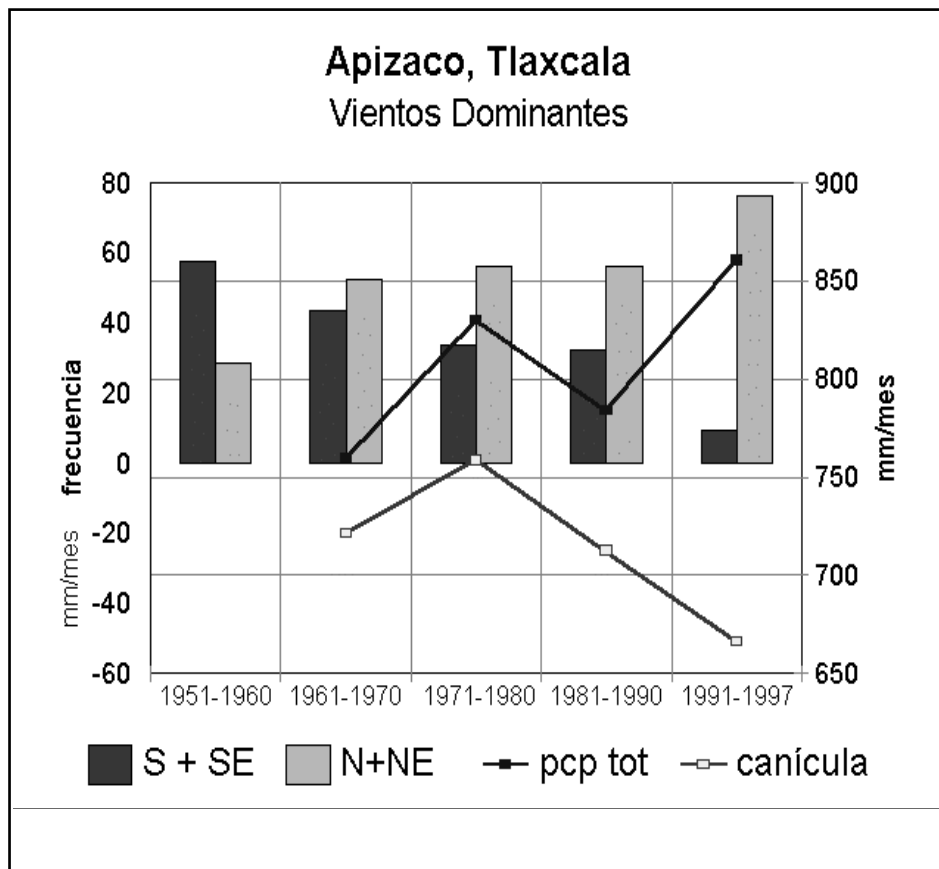


Fig. 4.12 Vientos dominantes, tendencia de la lluvia acumulada e intensidad de la canícula para las décadas: 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 y para el periodo de 1991-1995 en Apizaco, Tlaxcala.

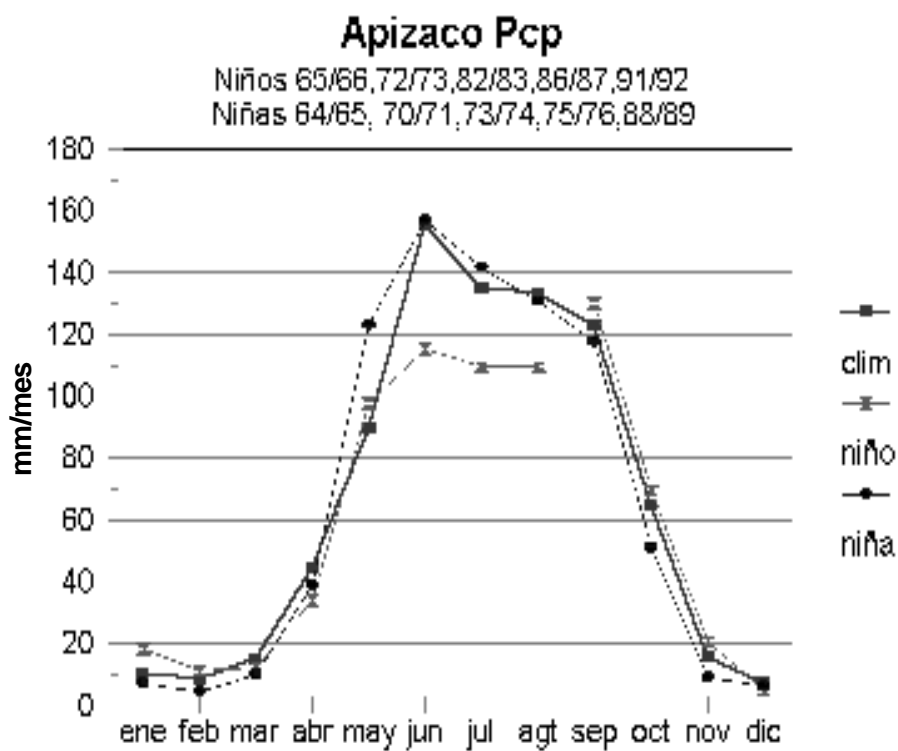


Fig. 4.13 Comparación de la precipitación promedio del periodo 1961-1992 (climático) con años El Niño y La Niña en Apizaco, Tlaxcala.

Los resultados de los experimentos de simulación con el modelo CERES-Maize (Conde *et al*, 1999) para los años El Niño muestran un notable decremento en los rendimientos durante estos años, particularmente para El Niño 1982-1983, cuando se perdió más de un 20% de la producción y existió una reducción en la fase de llenado de grano (Fig 4.14).

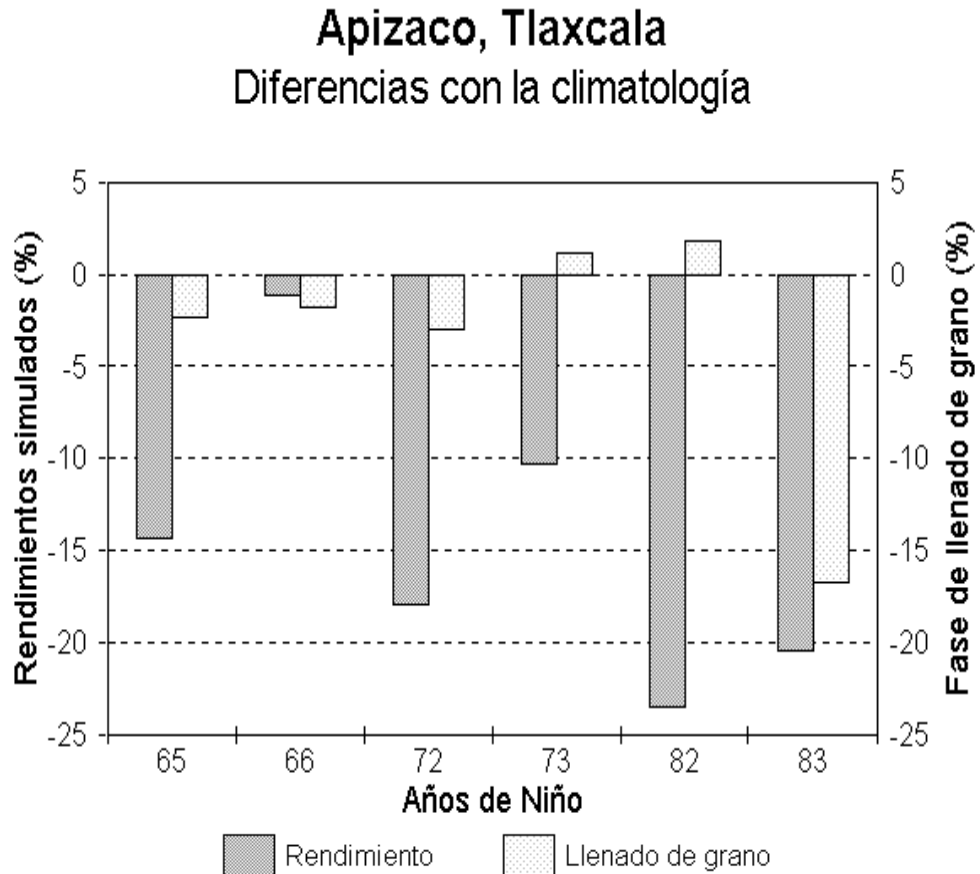


Fig. 4.14 Reducciones en los rendimientos y en la fase de llenado de grano para los años El Niño que se muestran.

Para los agricultores del estado, el comportamiento de la canícula es muy importante. Cuando es muy severa ("la canícula no viene con agua") su impacto se refleja en el desarrollo del maíz. Una canícula sin lluvia puede producir heladas inesperadas por radiación durante el mes de septiembre (Morales y Magaña, 1999). La falta de humedad en la atmósfera en años de Niño parece permitir que escape el calor y con ello que aumente la probabilidad de heladas (Sánchez, 1998). Al presentarse este fenómeno no es posible aplicar medidas de adaptación.

Comparando la precipitación normal para los meses de marzo a junio, con las lluvias que se presentaron para los mismos meses en 1983 y 1998, aparece la gran deficiencia de lluvia, característica de condiciones de Niños muy fuertes (Fig 4.15).

La cultura popular que se tiene sobre el clima, se traduce en una serie de dichos o expresiones populares que son indicativos de las expectativas e intereses de los agricultores del estado en lo que a pronóstico climático se refiere. Para los meses de marzo a junio se tienen dichos populares asociados a la lluvia, resaltando el conocimiento empírico sobre el pronóstico de la lluvia en este periodo. Podemos suponer que para los agricultores las lluvias de marzo son poco confiables para la toma de decisiones, sobre todo si se presentan de manera aislada, como lluvias tempranas (“marzo florido, año perdido”). Por otra parte, las lluvias de abril son fundamentales para el desarrollo del cultivo, ya que corresponden a las primeras etapas de crecimiento (“lluvias de abril, granos mil”), por lo que un pronóstico de la precipitación para este mes es de sumo interés. Finalmente, el dicho “lo que San Juan no ve nacido (24 junio), San Pedro (29 junio) lo da por perdido”, indica las fechas límite para aplicar cualquier medida de adaptación. Esto es, sólo hasta junio es posible para los agricultores decidir si se cambia de semilla (por una más precoz o “violenta”) o incluso de cultivo (trigo, cebada o avena), dependiendo de si las lluvias se adelantan y luego escasean o, más grave aún, si hubo condiciones de sequía entre marzo y junio. Después de este mes, se incrementa el peligro de que el cultivo no pueda prosperar por la aparición de las heladas.

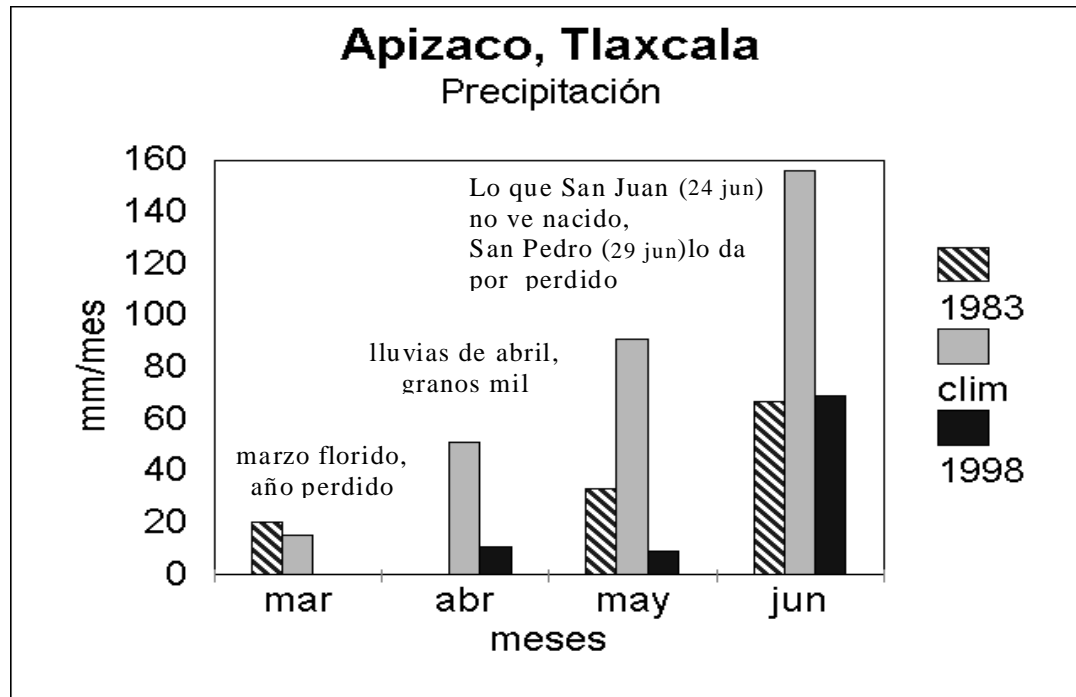


Fig. 4.15 Precipitación (mm/mes) de marzo a junio para condiciones normales, comparada con la correspondiente a 1983 y a 1998. Los dichos populares ilustran las expectativas de lluvia de los agricultores tlaxcaltecas.

El pronóstico desarrollado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM demostró su utilidad cuando, a principios de mayo de 1998 los productores agrupados en la Fundación Produce - Tlaxcala decidieron adquirir semilla de avena forrajera para la reconversión de cultivos, dada la sequía pronunciada que impedía la siembra del maíz y que confirmaba el pronóstico proporcionado a principios de marzo. Este hecho concuerda con la información emitida por la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) en mayo de ese año, que sugería fechas límite para la siembra del maíz, dependiendo del inicio de las lluvias, así como las estrategias de reconversión de cultivos.

Para el caso de Tlaxcala, en 1988 el cultivo de maíz aún era viable si las lluvias se iniciaban durante la segunda quincena de mayo (Tabla 4.3). Para el municipio de Apizaco esta situación no se presentó, por lo que la alternativa fue la reconversión de cultivos. Gracias a la existencia de un pronóstico adecuado fue posible que algunos productores adquirieran a tiempo y a menos costo la semilla de avena forrajera.

Tabla 4.3 Tlaxcala. Periodo de siembras y ciclo vegetativo (Primavera-Verano)

Periodo / Producto	Marzo		Abril		Mayo		Junio		Ciclo Vegetativo
	1-15	15-31	1-15	15-30	1-15	15-31	1-15	15-30	
Maíz									130 – 160
Frijol									90 – 120
Trigo									130 – 150
Cebada									120 – 130
Avena Forrajera									80

SAGAR, CNA, 1998

Las deficiencias en la producción anual de alimentos en el campo mexicano no son únicamente resultado de los efectos negativos de eventos como El Niño. Las tendencias actuales de la política agraria han derivado en una reducción de la capacidad productiva del campo (Calva, 1997). Por ejemplo, la producción agrícola en 1995 resultó ser un 16.5% inferior a la de 1981, lo cual se reflejó en el aumento de las importaciones de alimentos por casi 1,790 millones de dólares en 1982, a cuatro veces más para 1994, y a ocho veces más, 271.4 millones de dólares, para 1996. El maíz no escapa a esta tendencia según se observa en la Tabla 4.4.

Así pues, al deterioro de la agricultura debido a la política agraria deben aunarse los efectos siniestros de algunos eventos climáticos extremos como son las sequías, como las ocurridas durante los últimos años en nuestro país.

Tabla 4.4. Valor del maíz importado.

Año	Valor del grano importado (miles de dólares)
1988	393,819
1989	440,944
1990	435,346
1991	178,311
1992	183,311
1993	66,738
1994	369,183
1995	373,041
1996*	162,100
1997*	359,300
1998*	462,800
(Calva, 1997).	(* Delgadillo, 1999 Comunicación personal)

A partir del estudio Tlaxcala se hace evidente que la realización de pronósticos climáticos, asociados a la planeación de las actividades agrícolas, posibilita la reducción de pérdidas y riesgos para los productores, sobre todo en condiciones de eventos como El Niño. La vulnerabilidad de la región decrecería si estos estudios se realizaran sistemáticamente.

Además, resalta la necesidad de que los grupos de trabajo colaboren directamente con los productores, como los organizados en la Fundación PRODUCE Tlaxcala y con los tomadores de decisiones, como los representantes de el INIFAP y Desarrollo Rural.

El planteamiento de estrategias que consideren a los pronósticos climáticos como un elemento de juicio fundamental, permitiría el diseño de un abanico de posibles medidas de adaptación, previamente experimentadas y viables, aun en condiciones de cambio climático futuro.

El Niño y los incendios forestales

La disminución o exceso en las lluvias alrededor del mundo, ocasionadas por la aparición de El Niño, tiene impactos importantes en el clima del planeta. Los cambios ambientales en algunos casos pueden ser enormes, principalmente en regiones donde se presenta la sequía. Países como Australia, Indonesia, Brasil o México, vivieron en 1997 y parte de 1998 uno de los periodos de sequía más severos en años recientes. Al comparar la salud de la vegetación del suelo durante abril para dos años consecutivos, 1998 y 1999, se distingue claramente la señal de El Niño (Fig. 4.16). Por ejemplo, regiones en donde las lluvias disminuyen y aparece la sequía, la salud de la vegetación disminuye (e.g. México, noreste brasileño, Sudáfrica), mientras que en regiones donde llueve más de lo normal, la vegetación parece saludable (Uruguay, California).

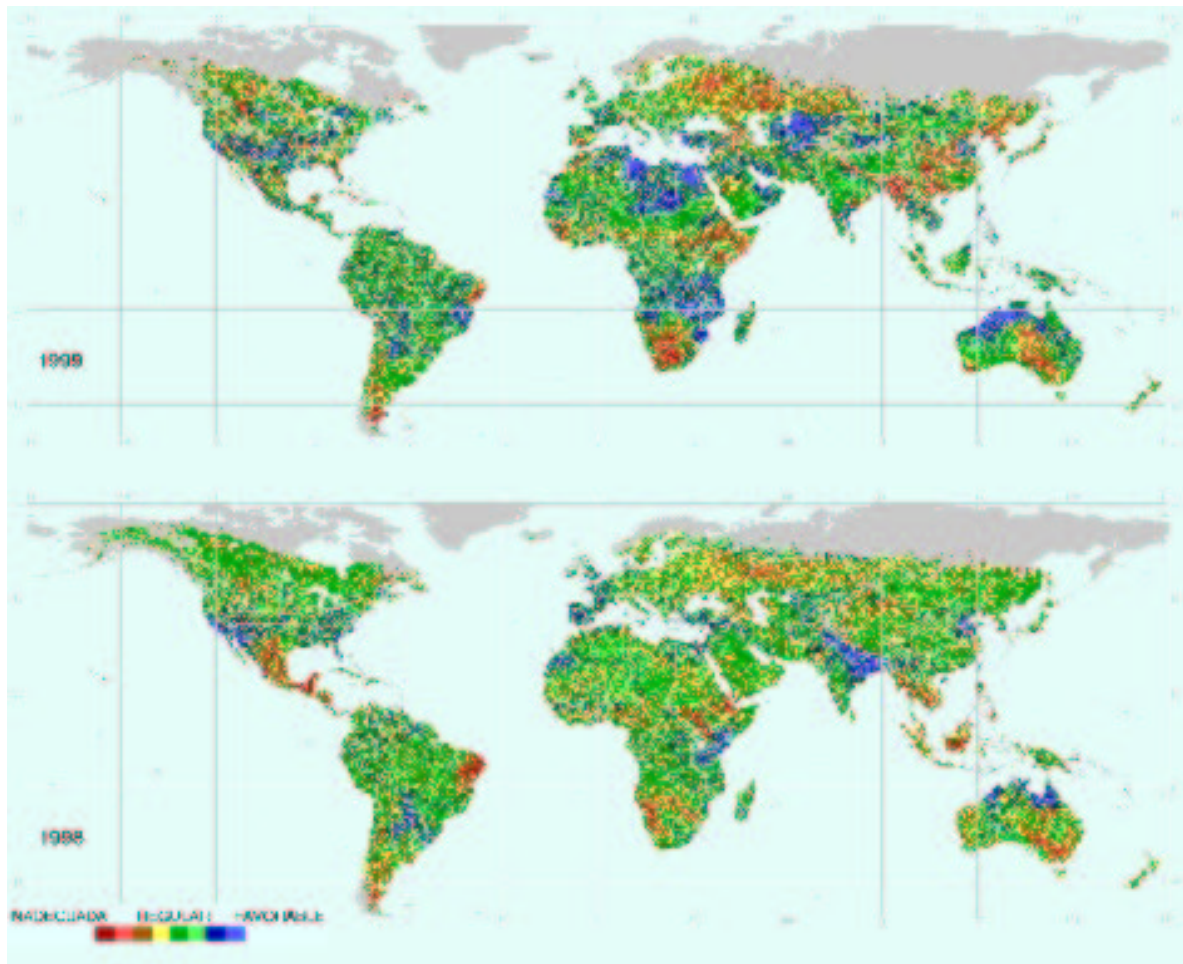


Fig. 4.16 Condición de la salud de la vegetación durante abril, a) de 1998 y b) de 1999 (tomado del National Geophysical Data Center, NOAA)

En el caso particular de México, la sequía registrada en el verano de 1997 y la falta de lluvias en el invierno 1997-98 provocó que la vegetación fuera susceptible de incendiarse en la primavera de 1998 (Fig. 4.17).

Las prácticas agrícolas tradicionales de roza, tumba y quema, provocaron un número anómalamente alto de incendios forestales (más de 10 mil) que afectó casi 850 mil hectáreas (Fig. 4.18).

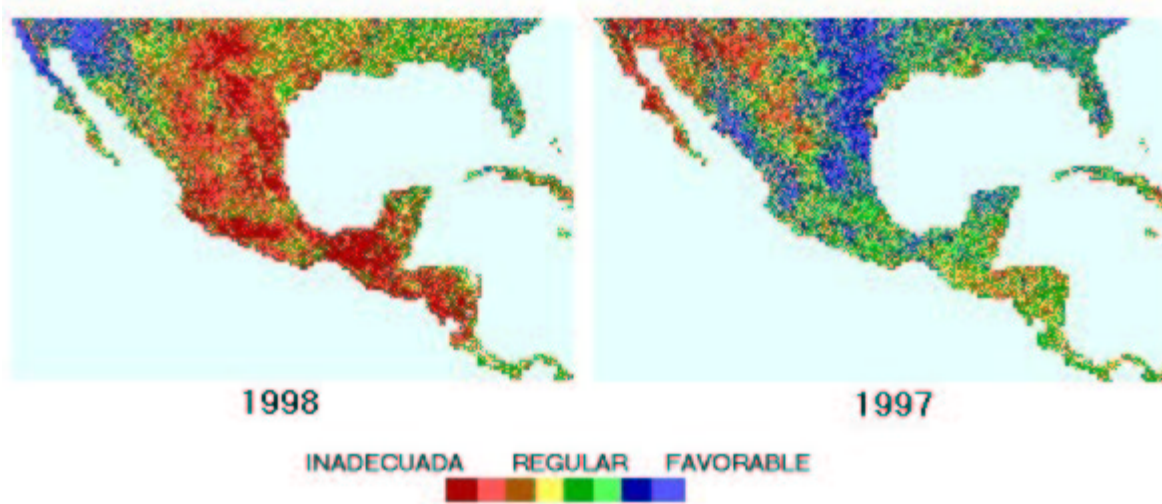


Fig. 4.17 Como en la Fig. 4.16 pero para mayo de 1998 y 1997.

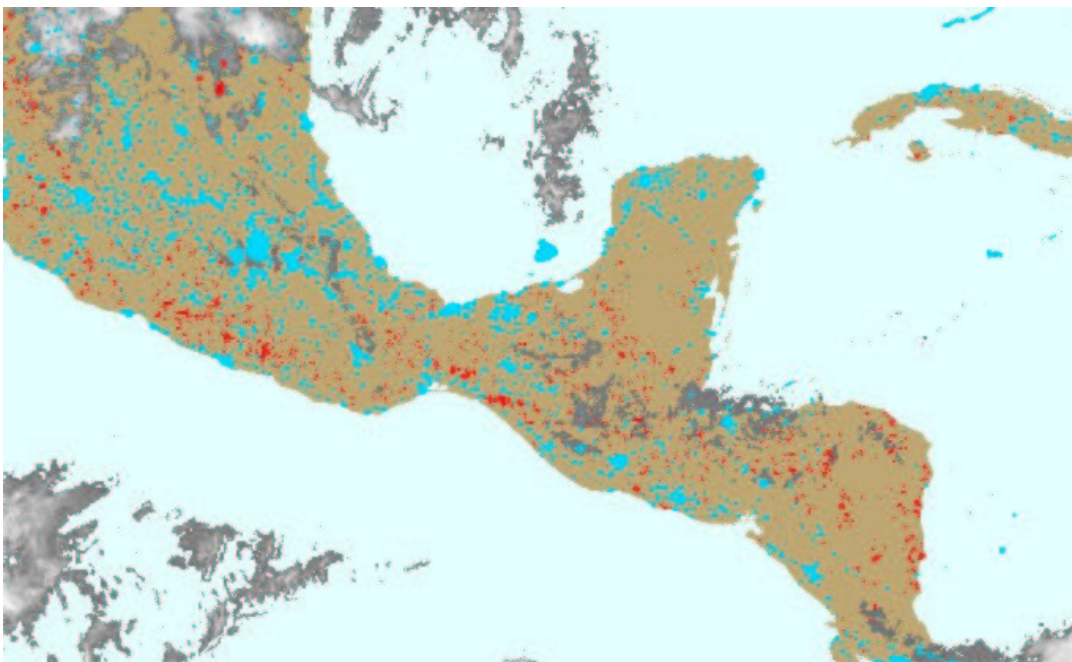


Fig. 4.18 Imágen de satélite del 17 de mayo de 1998 mostrando regiones de incendios forestales (puntos rojos), regiones iluminadas por luz eléctrica (manchas azules), nubes, continente y mares (tomado del National Geophysical Data Center, NOAA).

Aunque la mayoría de los incendios forestales en México son de tipo superficial (afectan vegetación herbácea y arbustiva), a causa de condiciones climáticas adversas (sequía y fuertes vientos), se presentaron incendios denominados de copa o de corona, difíciles de controlar (Cedeño y Medina 1999). Parte de los factores climáticos adversos pueden ser asociados con El Niño 1997-98, aunque en su mayoría, son por factores humanos.

Las condiciones de calor y sequía experimentada durante la primavera de 1998 no significaron condiciones negativas en todos los sentidos. Algunas regiones semidesérticas de México, como Puebla, Oaxaca, Coahuila y Tamaulipas, experimentaron un evento extraordinario de floración (Palacio *et al*, 1988).

