

Los Impactos de El Niño en México

editado por

Víctor O. Magaña Rueda
Investigador del
Centro de Ciencias de la Atmósfera
UNAM, México.

Con apoyo de la Dirección General de Protección Civil
Secretaría de Gobernación

©
Derechos de autor en trámite
Septiembre de 1999

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la valiosa colaboración del Fís. Gerardo Wright, quien ayudó en la edición y desarrollo de formatos de los textos, así como en la preparación de las figuras. Agradecemos también el apoyo técnico del Sr. Rodolfo Meza, así como al Fís. Miguel Angel Villanueva, al L.C.A. Vladimir Hernández y al Dr. Fernando García, por sus comentarios y sugerencias a los temas tratados.

Las investigaciones realizadas durante este proyecto son en gran medida el resultado de los apoyos financieros otorgados por CONACyT para el proyecto "Desarrollo de un esquema de diagnóstico y predicción de anomalías climáticas en México asociadas al fenómeno El Niño/Oscilación del Sur"; por el Programa de Apoyos a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) al proyecto IN100697 y por el Instituto Inter Americano para la Investigación del Cambio Global (IAI).

La integración del capítulo 5 fue posible gracias al apoyo del proyecto SIMAC 970106044. Los datos de pigmentos en el océano fueron utilizados con el permiso del proyecto SeaWiFS (clave 970.2) y DAAC (Distributed Active Archive Center; Code 902) del Centro de Vuelo Espacial Goddard, NASA.

Agradecemos también el apoyo de la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, otorgado para la impresión de este libro.

Instituciones participantes

- 1 Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México
- 2 Licenciatura en Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana
- 3 Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
- 4 Universidad Autónoma de Baja California Sur
- 5 Departamento de Física, Universidad de Guadalajara
- 6 Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
- 7 Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Guaymas
- 8 Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México
- 9 Instituto Nacional de Ecología
- 10 Departamento de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala
- 11 Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Guaymas, IPN
- 12 Centro Regional de Investigación Pesquera de La Paz, IPN
- 13 Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas, IPN
- 14 Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, IPN
- 15 Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México

Prólogo

Incendios forestales fuera de control en México, Centroamérica o Indonesia; desborde de ríos en China; gente evacuada en Alemania por las inundaciones. En el norte del México preocupa la prolongación de la sequía y algunos afirman que ésta ha durado ya por más de diez años. Al igual que en Perú, las pesquerías se ven afectadas en México. Estas noticias se repiten cotidianamente, dando la impresión de que estamos metidos en un lío climatológico, donde los culpables son El Niño, La Niña o el Cambio Climático. La realidad es que algo está pasando y los problemas se empiezan a acumular. Acerca de esto, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), en su segundo reporte de evaluación publicado en 1995, establece que: *“El balance de las evidencias sugiere la existencia de una influencia humana discernible en el clima”*. Esta afirmación implica que los eventos que están ocurriendo, o lo que aparece como comportamiento extraño en el clima, se deben en parte a la acción humana.

El PICC es un organismo internacional instituido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cuyo propósito es revisar la investigación que sobre cambio climático se realiza en el mundo. Sus análisis se presentan como informes integrados y coherentes, que son útiles tanto para investigadores, como para tomadores de decisiones. Sin embargo, para enterarse de lo que está ocurriendo en el planeta con relación al clima o la variabilidad climática, no es absolutamente necesario leer los voluminosos reportes del PICC. Las noticias y los diarios están llenos de información sobre el clima y los impactos de sus fluctuaciones: «Bangkok se ha sobrecalentado 1.2 grados en los últimos 50 años», «los hielos en la Antártida han retrocedido 3000 km² sólo durante 1998», «la primavera llega una semana antes que hace 20 años a Colorado (EEUU)». Algunos datos son muy reveladores, como por ejemplo: los años 1990, 1995, 1997 y 1998 han sido los más calientes desde 1400. En estas noticias se mezcla información de fenómenos que corresponden a cambios naturales en el clima, con otra que sugiere alteraciones al clima por influencia humana. Por ejemplo, el que años recientes sean más calientes, puede ser un síntoma de cambio climático por causas antropogénicas. Incluso el que los eventos El Niño se presenten con mayor frecuencia a partir de los ochentas en comparación a periodos anteriores, o que otros eventos como tormentas y huracanes sean más intensos en la actualidad, son indicadores de un cambio climático.

Quizá no estamos seguros de que los fenómenos climáticos anómalos se deban al cambio climático global por efecto antropogénico, pero sí sabemos que somos capaces de perturbar la naturaleza. Los gases de efecto invernadero se están acumulando en la atmósfera y sabemos que su efecto es calentar el planeta. Una atmósfera más caliente puede contener una mayor cantidad de vapor de agua, que además de ser un gas de efecto invernadero, es un transportador muy eficiente de energía. Se puede inferir entonces que el cambio climático alterará el ciclo hidrológico que controla las precipitaciones. Es por ello que algunos investigadores atribuyen al cambio climático las alteraciones en el clima que se manifiestan como eventos El Niño más frecuentes e intensos.

De 1994 a 1996 se desarrolló el proyecto denominado *Estudio de País: México*, entre cuyos objetivos estaban: estimar los impactos que el cambio climático tendrá en nuestro

país, para así poder determinar las regiones más vulnerables a dichos cambios, con el fin de proponer estrategias de adaptación. Entre los trabajos desarrollados durante 1994 y 1995 destacó el de generar escenarios regionales de cambios climáticos, a partir de los cuales se evaluarían los impactos de dichos cambios en diversos sectores como la agricultura, la silvicultura, o el bienestar de la población. El estudio de país representó el inicio de una serie de trabajos multidisciplinarios para analizar un problema con implicaciones ambientales de gran importancia para la sociedad, no sólo de México, sino del mundo entero.

Con la ocurrencia de una prolongada sequía en el norte de México, los daños provocados por los huracanes Opal, Roxane o Ismael, o las inundaciones en Tijuana o en Chiapas, la sociedad mexicana comenzó a hablar más frecuentemente de El Niño, La Niña y el cambio climático. El Niño ocurrido en 1997-98 se convirtió en el gran detonador del interés por este fenómeno. Para muchos ya no existían dudas de que «El Niño se había ensañado contra nuestro país», y que «lo había hecho presa de frío en el invierno y las sequías e incendios forestales en verano y primavera». Quizá uno de los mayores avances en materia de estudios del clima, a partir del *Estudio de País*, haya sido el entender que el fenómeno El Niño es el gran modulador de las variaciones interanuales del clima mexicano. La generación de escenarios de los cambios a futuro en nuestro clima, mostró la íntima relación entre los procesos de interacción océano-atmósfera, como El Niño, y las fluctuaciones en precipitación y temperatura.

Conociendo de los efectos negativos de El Niño en nuestro país, el Gobierno Mexicano puso en marcha en 1997 acciones de protección civil en el noroeste, para prevenir los efectos negativos de las lluvias invernales intensas, que se presentan en estos periodos. Tal acción mostró que, con base en la experiencia de previos inviernos de Niño, era necesario prepararse. Sin embargo, los preparativos ante la sequía del verano de 1997 y 1998 fueron muy pocos. La sequía que se presentó en el verano de 1997 y la primavera de 1998 ocasionó cuantiosas pérdidas en el campo, tanto en agricultura como en materia de incendios forestales. Hoy quedan pocas dudas de que también hay que prepararse ante los impactos negativos de El Niño en verano. Los apoyos al campo entregados en la primavera de 1999 a los estados más afectados por la sequía, llegaron demasiado tarde y sólo ayudaron temporalmente a los más afectados por condiciones extremas en el clima. Quizá durante 1999 habrá que preparar más fondos de ayuda para los afectados, esta vez por las inundaciones.

Nuestra comprensión del fenómeno El Niño ha mejorado sustancialmente en los últimos años. Incluso nuestra capacidad de pronosticarlo se manifestó cuando predijimos su evolución con varios meses de anticipación en 1997. Debe recordarse sin embargo, la variabilidad entre un evento de Niño y otro. El Niño de 1991 no fue tan bien previsto, y es que en el fenómeno y sus impactos intervienen muchos factores adicionales como los vientos alisios, la temperatura del océano Pacífico ecuatorial o la alberca de agua caliente al sur de Baja California. En muchas partes del mundo, ya se usan pronósticos a largo plazo con el fin de planear actividades productivas. En México, se ha establecido un estudio regional del clima de Tlaxcala con el fin de proporcionar pronósticos a los productores de maíz para así disponer de una herramienta adicional de planeación. Los pronósticos a nivel regional permiten a agricultores adecuarse a condiciones extremas del clima, ya sea utilizando variedades de semillas resistentes a poca agua, calor excesivo o vientos intensos. Pero no sólo la agricultura se puede beneficiar de los pronósticos climáticos. Muchas otras actividades económicas requieren de esta información. Por ejemplo, los pronósticos de probabilidades de eventos extremos pueden ser de gran ayuda en materia de protección civil. El saber si en un cierto año habrá más o menos nortes o huracanes, ayuda a que la población tome medidas

preventivas. Es claro, se trata sólo de pronósticos y como tales tienen una probabilidad de fallar. En todo caso, el principio de precautoriedad, apoyado por la guía del pronóstico, resulta de gran valía para: “prevenir, en lugar de lamentar”.

El trabajo conjunto de expertos en diferentes áreas del conocimiento, unidos a través del tema El Niño, ha dado como resultado este libro que constituye una valiosa contribución al estudio del clima de México. La meteorología, la oceanografía, la agroclimatología, la pesquería, así como la economía y la sociología, encuentran que El Niño es un vasto campo por explorar. Esta es una muestra de que para obtener el mayor provecho del conocimiento en esta área, es necesario impulsar el trabajo interdisciplinario e interinstitucional. El libro “Los Impactos de El Niño en México”, describe algunas de las formas en que este fenómeno tropical altera el clima de nuestro país. El material está al alcance de cualquier profesional dedicado a las ciencias ambientales, incluyendo descripciones de los procesos involucrados en la detección de la señal El Niño en la atmósfera y el océano. Los capítulos 2 y 3 son sin duda una muestra de «la riqueza» de nuestro país en materia de variabilidad y procesos climáticos. Nortes, huracanes, corrientes y remolinos oceánicos, son sólo algunos de los temas tratados. Por otro lado, las relaciones de estos fenómenos con la agricultura y la pesca, presentadas en los capítulos 4 y 5 respectivamente, nos permiten concluir que la variabilidad climática es de trascendental importancia en la vida de muchos mexicanos aunque hasta la fecha, haya pocos ejemplos del uso de este conocimiento sobre variabilidad climática en dichos sectores. Finalmente, el capítulo 6, sobre la economía, la sociedad y el fenómeno El Niño, constituye un claro ejemplo de los costos que tiene la variabilidad climática. En esta parte del libro se distingue cuáles pérdidas económicas pueden ser asociadas a El Niño 1997-1998 y cuáles no. También se trata de cambiar aquella visión de que todo lo malo que ocurre en México es causa de factores naturales, fuera de nuestro control e inevitables.

El presente volumen es un compendio de información que describe una gran parte de lo que sabemos acerca del fenómeno El Niño y sus señales en México. Es importante y original, pues abarca aspectos que van desde la física atmosférica y oceanográfica, pasando por los impactos en la agricultura y otros sectores, hasta los impactos económicos y su importancia en la sociedad del país. El libro es serio y riguroso, al no trivializar los aspectos más complicados del problema, aunque sí hace un esfuerzo importante por ponerlos al alcance del mayor número de lectores posibles. Otra de sus virtudes es que presenta un problema con una visión multidisciplinaria, al dar una visión integrada del fenómeno. La información que aquí se presenta permitirá sin duda la reflexión de científicos, estudiantes, tomadores de decisiones y de aquellos interesados en problemas ambientales y en la importancia de la variabilidad del clima, así como de sus consecuencias. No se trata de un trabajo más sobre El Niño y su dinámica en la zona tropical ecuatorial del Pacífico del este. El estar enfocado en la señal de El Niño en México lo hace un trabajo pionero, que esperamos genere entusiasmo para seguir avanzando en esta materia, ya que el no tomar medidas de adaptación a la variabilidad climática hará al país más vulnerable.

Finalmente, debe señalarse que la estructura del libro por temas en cada capítulo, permitirá al lector concentrarse en el área de su interés, con la posibilidad de analizar los otros componentes para enriquecer su conocimiento del tema, adquiriendo esa visión multidisciplinaria que el fenómeno El Niño tiene en sí mismo. Hacemos pues una invitación al lector para que avance en su conocimiento sobre el clima de México y El Niño.

Dr. Carlos Gay
17 de septiembre de 1999
Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP

Contenido

1. Introducción	1
<i>El clima y la sociedad</i>	1
<i>El Niño</i>	6
<i>La vulnerabilidad ante El Niño</i>	12
<i>Las ventajas del pronóstico</i>	17
2. El Niño y el clima.	23
<i>Climatología de México</i>	23
<i>El Niño y el clima de México.</i>	29
<i>La señal de El Niño en invierno</i>	29
<i>Los Nortes.</i>	34
<i>La señal de El Niño en verano</i>	41
<i>Los huracanes</i>	47
<i>La Canícula</i>	56
<i>Hidrología</i>	57
<i>El pronóstico estacional de lluvias</i>	62
3. Oceanografía y El Niño.	69
<i>El Pacífico mexicano</i>	69
<i>Los efectos de El Niño en el Pacífico mexicano</i>	78
<i>El Golfo de Tehuantepec</i>	82
<i>El Golfo de California: la frontera norte de la alberca de agua cálida</i>	85
<i>La costa de Jalisco: un estudio de caso</i>	93
<i>La Alberca de Agua Cálida y el clima mexicano</i>	97
4. El Niño y la Agricultura.	103
<i>El Niño en el sector agrícola</i>	103
<i>Efectos</i>	107

Contenido

<i>Clima y agricultura</i>	109
<i>Impacto de El Niño en la producción de maíz de temporal</i>	113
<i>Tlaxcala: un estudio de caso</i>	117
<i>Pronóstico climático para Tlaxcala</i>	119
<i>Un modelo de productividad agrícola: CERES</i>	123
<i>El Niño y los incendios forestales</i>	132
5. Las Pesquerías y El Niño	137
<i>El sector pesquero</i>	137
<i>La administración pesquera en ambientes variables</i>	139
<i>Efectos regionales: el ambiente físico</i>	141
<i>Imágenes por satélite de los pigmentos del Fitoplancton en el Pacífico mexicano</i>	150
<i>Consecuencias inmediatas</i>	164
<i>Efectos a mediano plazo</i>	172
<i>El Niño 1997- 98: Una evaluación preliminar</i>	175
<i>Problemas y perspectivas</i>	177
6. Los aspectos económicos y sociales de El Niño	181
<i>Impactos económicos de El Niño en México</i>	181
<i>Economía y la pesca mexicana</i>	182
<i>Deforestación e incendios forestales</i>	184
<i>Impactos económicos en la agricultura mexicana</i>	189
<i>Los efectos de los huracanes</i>	199
<i>Balance de los costos económicos de El Niño en México</i>	199
<i>Procedimiento para evaluar costos asociados a la variabilidad climática</i>	200
<i>Aspectos sociales de El Niño</i>	204
<i>Vulnerabilidad, desastres naturales y sociedad</i>	204
<i>La sociedad mexicana ante los desastres naturales</i>	206
<i>El caso de El Niño 1997 -98</i>	207
<i>Políticas de estado ante desastres naturales</i>	208

Hacia una estrategia de prevención y mitigación de desastres naturales 209

7. Conclusiones 213

Bibliografía 219

1 Introducción

Víctor Magaña¹ y Cristina Morales¹

El clima y la sociedad

Las condiciones extremas en el clima siempre han preocupado a la gente, principalmente a quienes trabajan en el campo. Periodos de secas han resultado en cosechas pobres y, en muchas ocasiones, en hambruna y migraciones masivas. Con el rápido incremento de la población en el siglo XX, se requiere que las actividades agrícolas sean cada vez más eficientes, aun bajo los efectos negativos de las variaciones en el clima.



La escasez de lluvias provoca sequías agrícolas que pueden convertirse en problemas sociales como hambruna o migraciones masivas.

No sólo la agricultura siente los impactos de los cambios que año con año experimenta el clima. Otras actividades, como la ganadería, la pesca, la generación de energía eléctrica y las comunicaciones, también se ven afectadas por las variaciones del sistema climático. Incluso la salud humana puede reflejar los efectos negativos de condiciones meteorológicas extremas. Por ello, resulta fundamental tener un mejor entendimiento de los mecanismos que controlan el clima (Fig. 1.1), para así planear y tomar decisiones en materia de producción agrícola y pesquera, o en materia de protección civil.

Por otro lado, cada vez es más clara la estrecha relación existente entre sociedad y medio ambiente, y la necesidad de un manejo de los recursos naturales en forma racional. Las políticas de desarrollo sostenible deben considerar las variaciones en el clima como factor de peso en el desgaste de los ecosistemas, transformados intensamente por la actividad humana. Los cambios que el hombre impone al medio ambiente, como aumento de los gases invernadero, o cambios en el uso de suelo, pueden modificar ciertos procesos meteorológicos relacionados con la lluvia y la temperatura. Uno de los retos en el estudio del llamado Cambio Climático es el de distinguir cuáles de las alteraciones que hoy en día experimenta el clima son de origen natural, y cuáles son de origen antropogénico [IPCC, 1996].

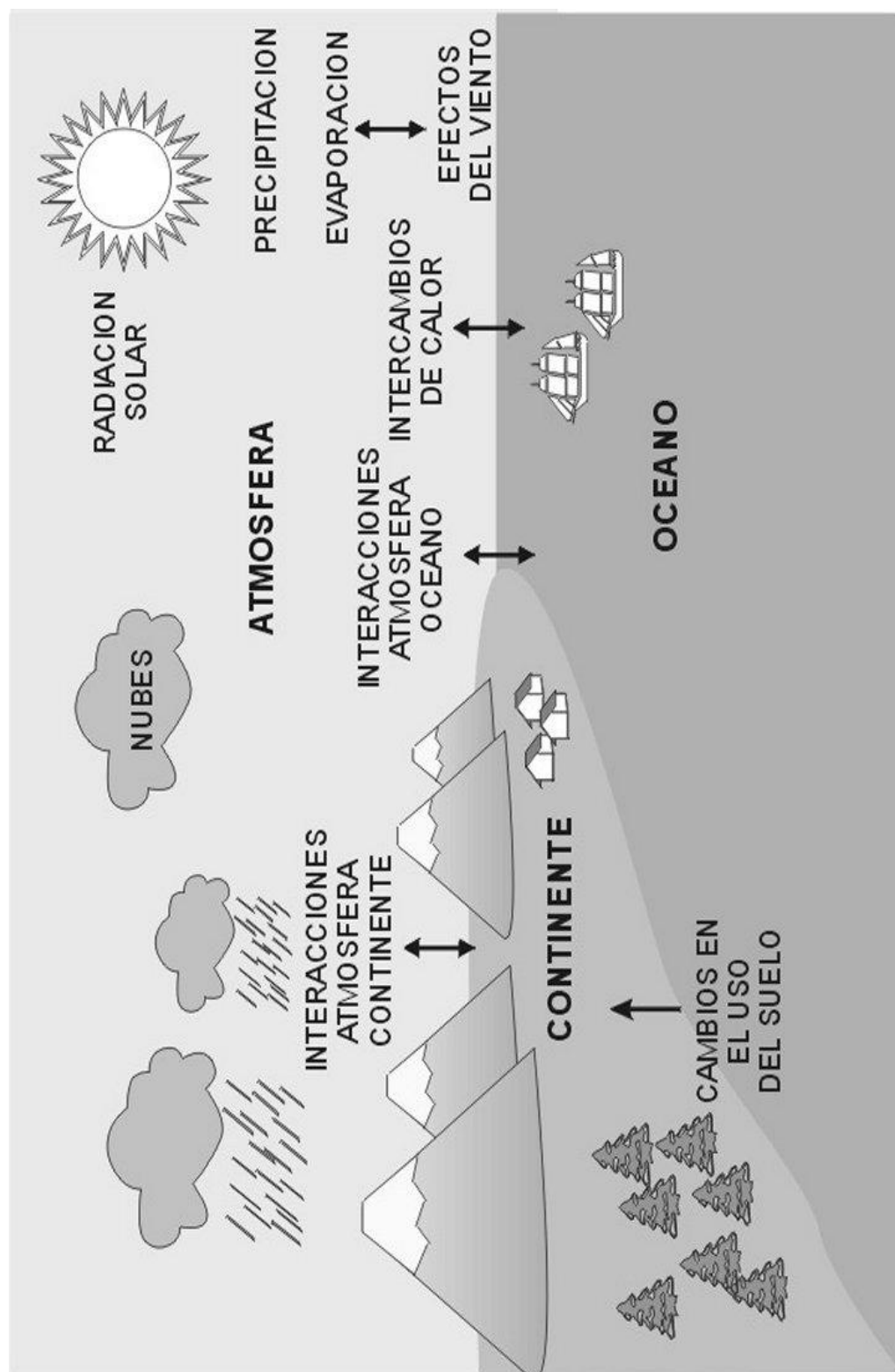


Fig. 1.1 Elementos del sistema climático

En México, los procesos productivos agropecuarios y forestales, así como los de desarrollo urbano, tienen una estrecha relación con los cambios del clima. La transformación de los paisajes y la contaminación han llegado a modificar el ciclo hidrológico, al cambiar la captación y retención de humedad en la superficie. Un caso dramático es el de la Ciudad de México, donde la precipitación ha aumentado casi 200 mm y la temperatura en aproximadamente 3°C, desde principios de siglo (Fig 1.2).

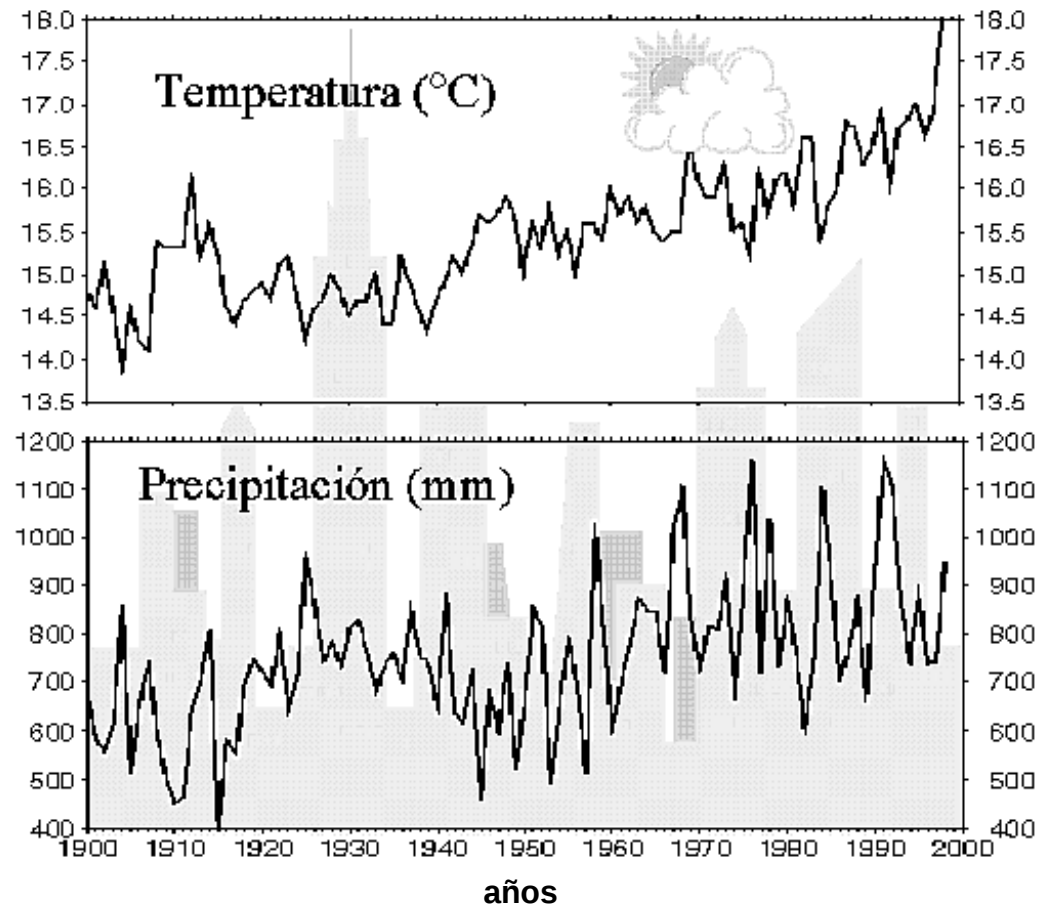


Fig. 1.2 Temperatura (°C) y precipitación (mm) media anual en Tacubaya, Ciudad de México (Datos del Servicio Meteorológico Nacional).

Estudios recientes muestran que la deforestación afecta el ciclo hidrológico al modificar la evaporación, la humedad en el suelo y los efectos que los árboles ejercen sobre los vientos (Sud *et. al* 1996). Una sequía es básicamente consecuencia de las variaciones naturales de la circulación atmosférica pero, si a dichas variaciones atmosféricas se añaden los cambios en el uso del suelo, los efectos negativos en el medio ambiente se pueden amplificar, resultando en falta de humedad en los terrenos agrícolas y forestales.

En el complejo conjunto de factores que modulan el clima y los cambios del entorno (muchas veces resultado de la actividad humana), las interacciones entre componentes resultan en eventos hidrometeorológicos extremos cada vez más intensos, que son motivo de preocupación entre la población. Los desastres de origen hidrometeorológico son los que afectan en mayor medida a la población mundial. Cifras recientes de la Cruz Roja Internacional (1995), correspondientes al número de afectados por desastres naturales de cualquier tipo (e.g., sismos, volcanes, huracanes, etc.), muestran que el número de afectados va en aumento, principalmente por el incremento en la población mundial. Lo más interesante, sin embargo, es que condiciones extremas en el clima, como sucede durante el llamado fenómeno El Niño o La Niña, parecen provocar que el número de afectados aumente dramáticamente (Fig. 1.3). Los casos de El Niño de 1982-83, 1986-87, 1991-92 o de la Niña de 1988 sugieren que el número de afectados aumenta ante condiciones extremas en el clima.

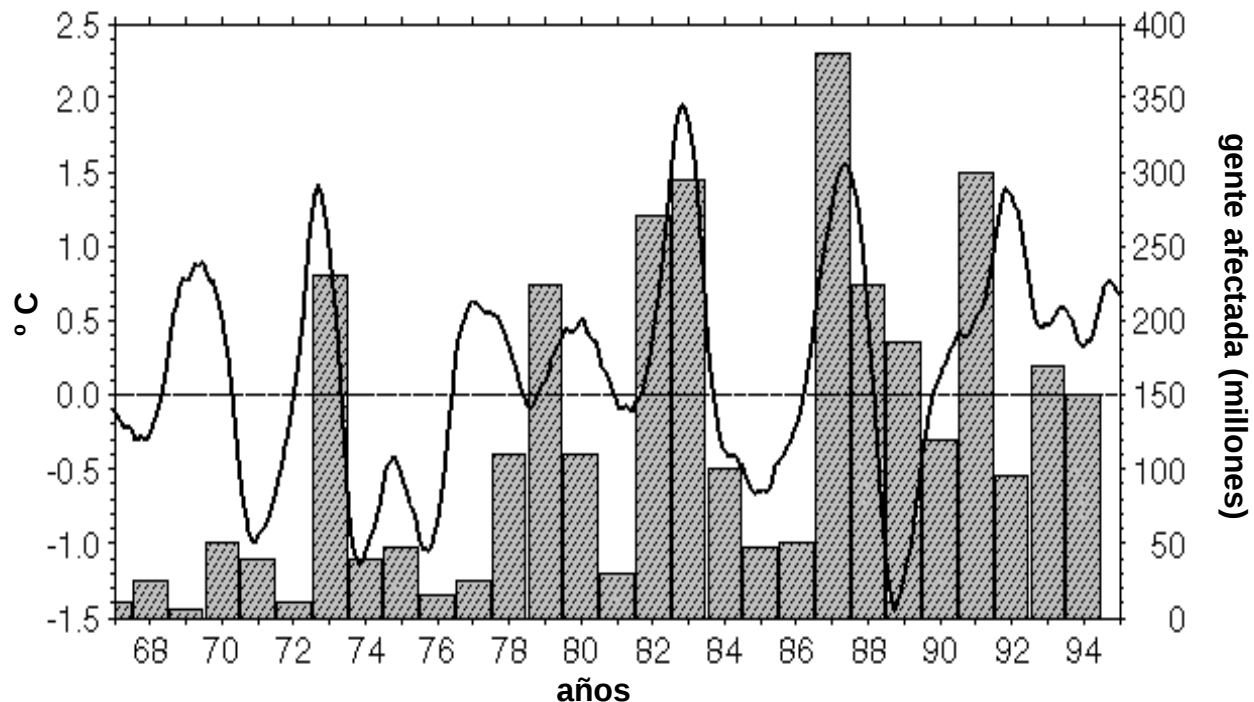


Fig. 1.3. Histograma de gente afectada por desastres naturales (datos de la Cruz Roja Internacional) y anomalías de temperatura superficial del mar en el Pacífico del este correspondientes a la señal de El Niño (máximos) o La Niña (mínimos) (línea continua).

La mayoría de los sistemas ecológicos, sociales y económicos son sensibles a las fluctuaciones en el clima, a veces sin importar si éstas son de gran o mediana intensidad, o de corta o larga duración. Aunque nuestro conocimiento sobre los impactos que la variabilidad climática global tiene en México ha aumentado en la

última década, aún es difícil cuantificar los costos, pues los estudios existentes rara vez toman en cuenta las interacciones entre los sistemas sociales, económicos y naturales. Por ejemplo, los impactos de El Niño en agricultura son sólo uno más de los elementos que deben tomarse en cuenta cuando se analiza la eficiencia de la producción agrícola en nuestro país. Algunos piensan que las mayores pérdidas en este sector se deben a decisiones equivocadas en política agraria, en combinación con sequías o inundaciones.

Las prácticas comunes en la agricultura son, en gran medida, resultado del conocimiento ancestral sobre el clima y el campo. Hoy en día se viven anomalías en el clima que parecen ser más intensas que las experimentadas años atrás. Algunos autores sugieren que la ocurrencia de un cambio climático global está provocando la intensificación del ciclo hidrológico (IPCC, 1996). Las variaciones en el clima de nuestro país en las últimas décadas parecen confirmar esta afirmación.

La prolongada sequía de la última década en México parece ser el resultado de cambios climáticos globales. Ante tal situación debemos replantear nuestras estrategias de desarrollo.



Las prolongadas sequías, las ondas de calor y la falta de agua, nos obligan a establecer nuevas estrategias en actividades de producción de alimentos. Tales consideraciones deben extenderse a un mayor número de sectores en la sociedad, que lleven a procesos de adaptación acordes con los cambios que se experimentan en el medio ambiente.

Las variaciones que el clima en México exhibe año con año están en gran medida determinadas por la ocurrencia del fenómeno El Niño (Magaña y Quintanar, 1997). Las sequías a principios de los noventa o las más recientes (1997-98), así como las inundaciones en el sureste de México, han despertado gran interés por comprender los factores que modulan nuestro clima (e.g. Magaña et al. 1999). Es por ello que el estudio de la influencia de El Niño en las lluvias, la temperatura y en la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos se ha desarrollado rápidamente con el fin de entender los cambios que están ocurriendo en nuestro medio ambiente. Ante este panorama, varios científicos hemos decidido conjuntar el conocimiento que se tiene sobre El Niño y sus impactos en México, de tal manera que los diversos sectores afectados por fenómenos climáticos conozcan con mayor detalle lo que encierra este fenómeno.

Existen muchas interrogantes sobre el tema El Niño y falta mucho por entender, pero nos encontramos en un momento en que el conocimiento adquirido ya resulta de utilidad para diversos tomadores de decisiones que demandan infor-

mación climática. Como se ha puesto de manifiesto recientemente, el hacer pronósticos a largo plazo es útil para la agricultura y representa un gran avance en las ciencias atmosféricas.

El Niño

Durante mucho tiempo, uno de los grandes retos científicos ha sido el entender las variaciones climáticas que se producen año con año para poder predecirlas. En las últimas tres décadas, se ha encontrado que gran parte de dichas fluctuaciones está altamente relacionada con el fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur (Díaz y Markgraf, 1992). Durante el resto del trabajo nos referiremos a este fenómeno como **El Niño**.

Varias han sido las denominaciones usadas para describir el calentamiento que experimentan los mares del Pacífico tropical del este. El término El Niño, el más aceptado, fue originalmente utilizado para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se establece al aproximarse el periodo navideño; de ahí el nombre, asociado a El Niño Jesús. El calentamiento en las aguas de la costa del Pacífico sudamericano pronto fue relacionado con el calentamiento anómalo del Pacífico central y del este, a lo largo del ecuador (Fig. 1.4), extendiéndose desde la línea internacional del tiempo (180 °W) hasta la costa sudamericana, resultando en graves alteraciones en el clima global y los ecosistemas.

¿Qué son El Niño y La Niña?

El Niño y La Niña son condiciones anómalas en la temperatura del océano en el Pacífico tropical del este. Bajo la definición más aceptada, El Niño corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5°C o más, por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como "Niño 3" (4°N-4°S, 150°W-90°W). De acuerdo a esta definición de Trenberth (1997), en los últimos cincuenta años han ocurrido doce acontecimientos El Niño. De 1982 a principios de 1999, ocurrieron cuatro Niños en los inviernos 1982-83, 1986-87, 1991-92 (que algunos definen de 1991 a 1995) y 1997-98, siendo el primero y el último, de los anteriormente referidos, los más intensos del siglo XX. En el invierno de 1997-1998 las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el extremo oriental del océano Pacífico ecuatorial llegaron a ser de casi 6 °C (WMO, junio 1998).

En los 80s y 90s han ocurrido cuatro eventos Niño en los años 1982-83, 1986-87, 1991-92 y 1997-98. Este último se considera el más intenso del siglo XX.



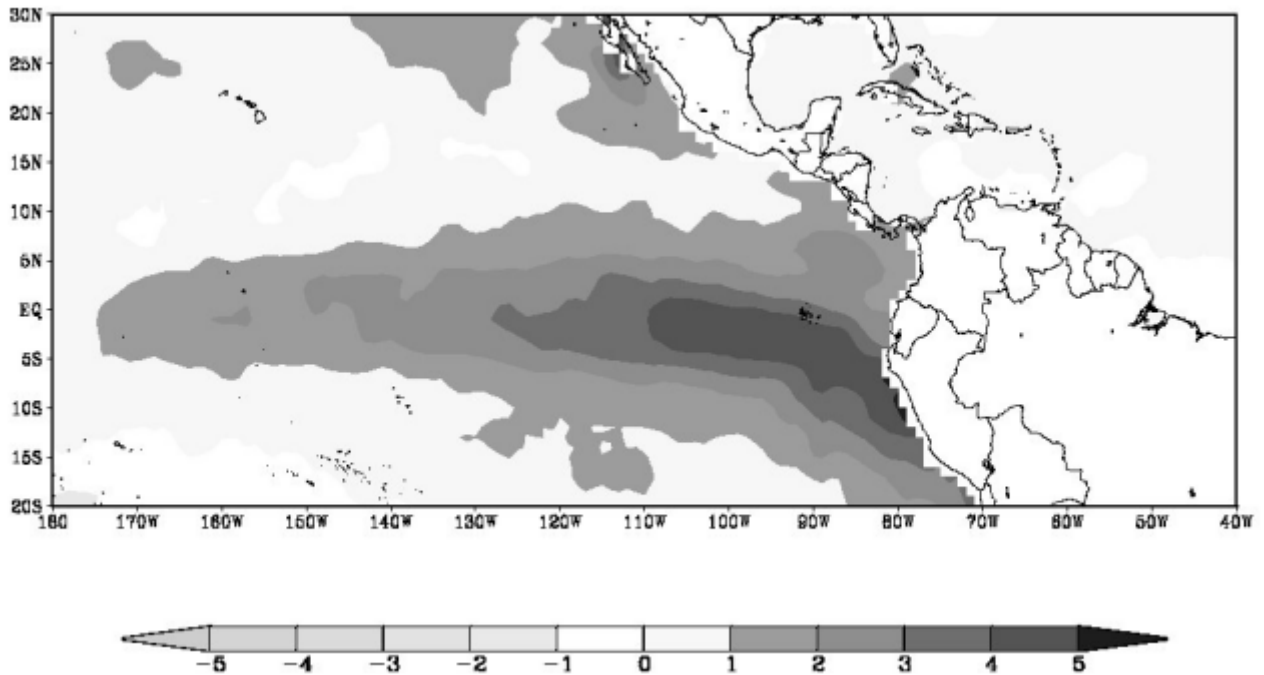


Fig. 1.4. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (°C) en agosto de 1997.

En contraste con la gran actividad reciente de El Niño, durante el período 1980-1998 sólo se produjeron tres episodios La Niña, los más recientes en los años de 1988-89, 1995-96 y en 1998-99.

Se debe decir que la ocurrencia de El Niño o La Niña no es periódica, en otras palabras, no ocurre un evento de este tipo cada cierto número de años. Por otro lado, a un evento El Niño no sigue necesariamente uno La Niña o viceversa. Por ejemplo, se considera que de 1991 a 1995 se vivió el más largo periodo El Niño. La intensidad de El Niño o La Niña varía de un evento a otro, pudiendo ser clasificados como fuertes, moderados, débiles, o muy débiles, dependiendo de la amplitud de la anomalía en la temperatura superficial del mar (Quinn y Neal 1992). Aun más, se ha encontrado que la actividad Niño o Niña varía en escalas mucho mayores de tiempo, aproximadamente en forma interdecadal (Trenberth 1997), siendo en los ochentas y noventas más intensa que antes (Fig.1.5).

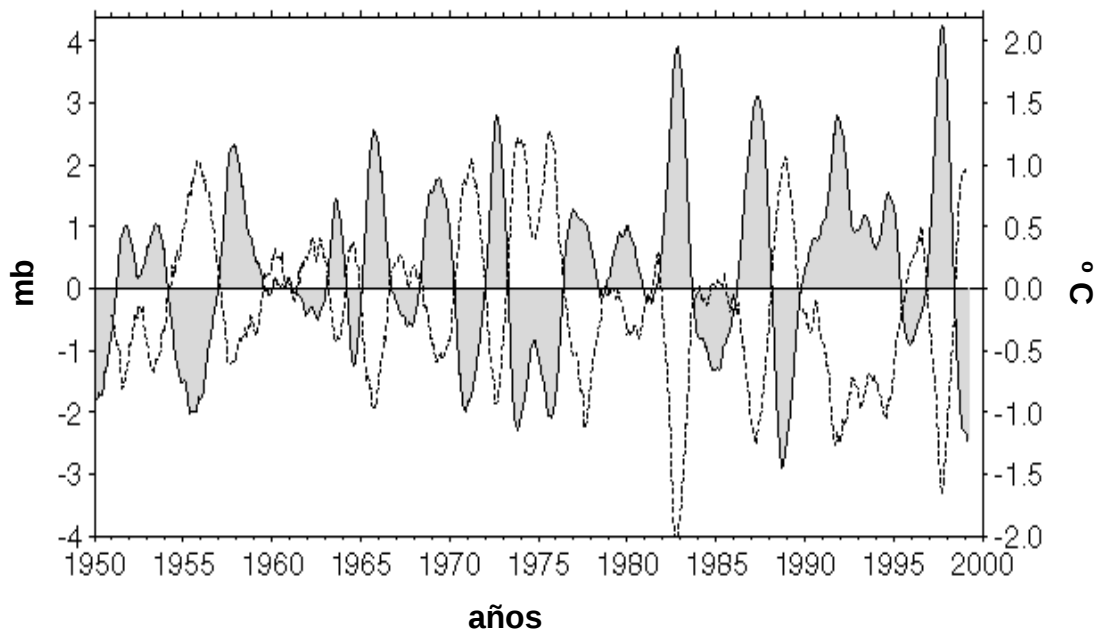


Fig. 1.5 Series de tiempo suavizadas del Índice de la Oscilación del Sur (línea punteada) y de las anomalías de la temperatura de superficie del mar en la región Niño 3.4 (línea sólida).

La dinámica de El Niño involucra procesos por medio de los cuales el océano Pacífico tropical se ajusta activamente al debilitamiento de los vientos alisios. Pero, ¿qué causa ese cambio de intensidad en los vientos de un año a otro? Aun no existe una respuesta definitiva.

Para entender la complejidad inherente a los cambios en el clima, hay que recordar que los primeros intentos por entender tales cambios se dieron durante el siglo pasado, cuando el científico inglés Gilbert Walker (1868-1958) trabajó en el estudio del fenómeno conocido como el Monzón de la India (Fein y Stephens 1987). Sus observaciones mostraron que en años cuando la presión en superficie de Australia era en promedio más baja de lo normal, en el océano Pacífico central (Tahití) era más alta. Esta especie de «sube y baja» en la presión, con periodos de dos a cuatro años, se denominó Oscilación del Sur. La diferencia entre la presión de ambos puntos se conoce como Índice de la Oscilación del Sur (Fig. 1.5).

No fue sino hasta los años sesentas cuando el meteorólogo Jacob Bjerknes (1969) estableció que la Oscilación del Sur y la corriente El Niño son parte de un mismo fenómeno climático que involucra interacciones entre la atmósfera y el océano Pacífico tropical. Posteriormente, se encontró que las señales de la ocurrencia del fenómeno El Niño no se limitan a las regiones tropicales del océano Pacífico, sino que afectan lugares tan distantes como Norteamérica o Sudáfrica (Ropelewsky y Halpert, 1989).

A partir de investigaciones recientes, se sabe que en condiciones normales el océano Pacífico tropical es recorrido por vientos dominantes que vienen del este, denominados alisios. Tales vientos tienden a acumular el agua tropical más caliente en el lado oeste del océano Pacífico es decir, en la región de Indonesia (Fig. 1.6a). Por ser la temperatura de superficie del mar elevada ($>28^{\circ}\text{C}$) en esta región, el aire es más ligero, creando una atmósfera inestable en la que se presenta gran convergencia de humedad, formación de nubes y lluvias intensas (Webster 1994).

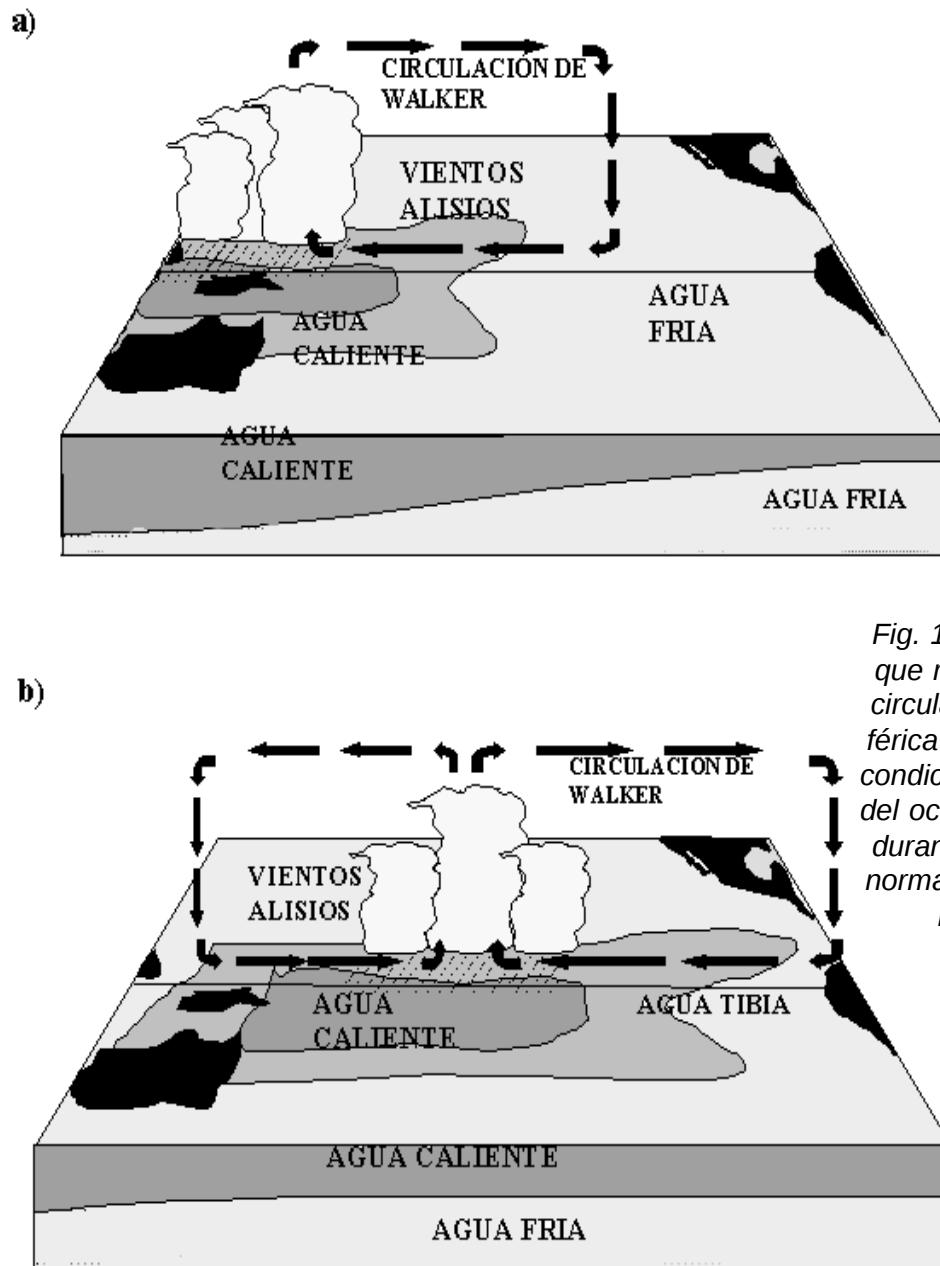
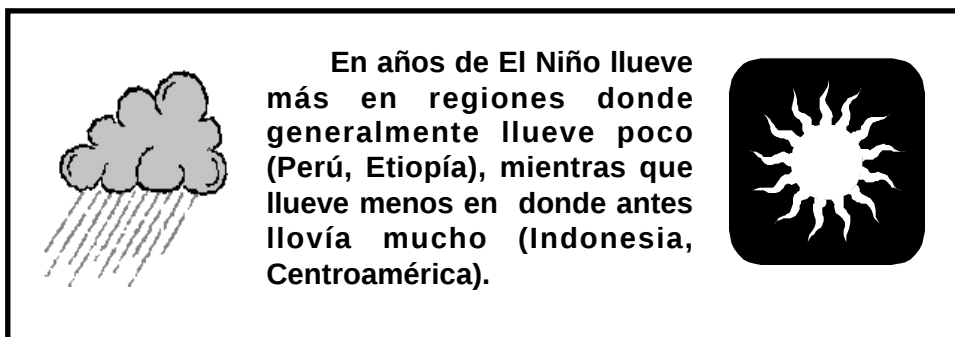


Fig. 1.6 Diagrama que representa la circulación atmosférica tropical y las condiciones medias del océano Pacífico durante a) un año normal y b) un año El Niño.

El Pacífico tropical del este es en general más frío ($< 27^{\circ}\text{C}$) que el del oeste. Ahí se mezclan masas de agua caliente y fría, y ocurren surgencias que traen a la superficie nutrientes del fondo del océano, razón por la cual algunas de las pesquerías más ricas se encuentran frente a las costas de Perú. Sin embargo, la presencia de estas aguas relativamente frías, condiciona la formación de nubes bajas, llamadas estratus, frente a las costas de Ecuador a Chile, que producen pocas lluvias.

Durante años El Niño, los vientos alisios en el Pacífico se debilitan y las aguas más calientes del Pacífico tropical se esparcen a lo largo del Ecuador (Fig.1.6b), por efecto de una onda oceánica ecuatorial del tipo Kelvin. Aunque no parece un gran aumento en la temperatura del mar ($\sim 2^{\circ}\text{C}$), la cantidad de energía (calor) involucrada sí lo es, al punto de poder alterar los patrones de convección profunda, la formación de nubes cúmulus de gran altura y con ello el calor que se transporta a la atmósfera. El desplazamiento de esta fuente de calor atmosférica (las nubes cúmulus) produce cambios en el clima global (WMO,1999).

Con la aparición de una zona de agua caliente en el Pacífico central y del este se producen precipitaciones intensas sobre esta parte de los trópicos. Tal corrimiento en los patrones de lluvia no se debe a mayor evaporación *in situ*, sino a la mayor convergencia de humedad. Con tales cambios, donde antes llovía poco (por ejemplo, en Perú y Ecuador), ahora se producen lluvias intensas e incluso inundaciones; mientras que donde antes llovía mucho, llueve menos e incluso, se producen sequías, como en el Pacífico del oeste (Indonesia o norte de Australia). Por ello, El Niño provoca en la región del océano Pacífico tropical oriental lluvias torrenciales y concentradas, que ponen en grave riesgo la seguridad de la población, dañan las tierras de cultivo, perjudican asentamientos humanos e industriales, destruyen obras civiles afectando de manera negativa a varios sectores de la economía regional.



El Niño puede alterar el clima de regiones distantes a las costas del Pacífico oriental. Por ejemplo, su influencia se siente en el noreste del Brasil, donde se producen sequías intensas, con impactos negativos en agricultura. También en Australia, la agricultura y la ganadería resultan afectadas por la sequía.

Al parecer, La Niña provoca, al menos en los trópicos, eventos climáticos contrarios a los experimentados durante El Niño. Por ejemplo en Australia o Indonesia, en vez de las sequías que se producen durante El Niño, llueve más de lo normal. Sin embargo, aún no es claro que los efectos en el clima de otras latitudes sean «simétricos» entre periodos de Niño y Niña. Aún más, aunque se sabe que el clima durante años de Niño tiende a ser anómalo en ciertas direcciones (más o menos lluvias, calor o frío), hay grandes variantes en las respuestas climáticas de un año El Niño a otro, especialmente a nivel regional, por lo que se habla de la no-linearidad del sistema océano-atmósfera (Kumar y Hoerling, 1997). Tal condición genera en ocasiones algunas fallas en los modelos de regresión lineal, por lo que frecuentemente se debe recurrir a modelos dinámicos para complementar los esquemas de pronóstico.



El Niño es un fenómeno natural del sistema climático y no una amenaza apocalíptica. Desde siempre ha existido aunque al parecer cambia su frecuencia e intensidad entre décadas.

Pero aun cuando es a través de situaciones climáticas extremas que la sociedad reconoce la presencia e influencia de El Niño en la vida diaria, los procesos por medio de los cuales un fenómeno ambiental de este tipo repercute en la sociedad, son en ocasiones tan complejos como la dinámica misma del fenómeno. De ahí que el manejo alarmista que algunos medios de comunicación dan al tema resulta totalmente inadecuado. No todos los males del mundo son producto de El Niño, como algunos dicen, pero tampoco somos ajenos a su influencia. Por lo tanto, no se debe pensar que el fenómeno de El Niño es una amenaza apocalíptica que va a terminar con la humanidad. En realidad tal tipo de variabilidad climática ha existido siempre, y tanto los seres humanos como los ecosistemas se han adaptado a ella. Quizá hoy, fenómenos como El Niño causan más preocupación por afectar a más personas ya que el desmedido aumento de la población ha obligado a establecer asentamientos en zonas vulnerables a estos eventos naturales. Así, la posibilidad de que un huracán cause daños a la población es mayor al existir más gente viviendo en laderas de cerros o en lechos aparentemente secos de ríos (Magaña, et. al., 1998). El huracán Paulina en 1997 fue un claro ejemplo de este problema.

La vulnerabilidad ante El Niño

El fenómeno El Niño, que empezó en la primavera de 1997, constituye un caso más de cómo las variaciones en el clima pueden afectar a la población mundial (Fig. 1.7). El aumento de la temperatura en Mongolia, alcanzando 42°C, la precipitación en Kenia por encima de lo normal, las inundaciones de Europa central, la fuerte temporada monzónica en Madagascar, así como las sequías en Indonesia y regiones cercanas, parecen haber tenido un origen común: El fuerte Niño de 1997-98. En algunos aspectos, éste superó la devastación de su predecesor de 1982-83, cuando se estima que los impactos de El Niño provocaron directa o indirectamente la muerte de 2 mil personas en todo el mundo y daños por aproximadamente 13 mil millones de dólares (Suplee 1999).

Se estima que por causa de El Niño de 1982-83 murieron 2 mil personas en todo el mundo y las pérdidas materiales ascendieron a casi 13 mil millones de dólares.



En nuestro país el fenómeno El Niño tiene serias repercusiones. De manera general podemos decir que las lluvias de invierno se intensifican y 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 disminuyen el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Magaña, et. al.1998). Pero son muchas más las formas en que El Niño afecta a México y que se describen en el presente trabajo.

Hoy sabemos más sobre cómo se manifiesta El Niño en el mundo, pero falta mucho para poder cuantificar el costo de este fenómeno en cada país. Los estudios existentes son limitados, y en la mayor parte de los casos no toman en cuenta las interacciones entre medio ambiente y sociedad. Por ejemplo, en México El Niño de 1997 provocó importantes cambios en la distribución y abundancia de las lluvias, y de acuerdo a economistas, esto ocasionó pérdidas de más de 2 mil millones de toneladas de granos básicos, además de daños materiales por cerca de 8 mil millones de pesos. La severidad de la sequía fue tal, que cerca de 2 millones de hectáreas sembradas con diversos granos básicos se vieron afectadas. En combinación con los daños causados por el huracán Paulina, los perjuicios a la agricultura mexicana provocaron que las importaciones de maíz y sorgo alcanzaran 4,716 millones de toneladas. A esto se debe añadir el gran número de gente afectada por la sequía que tuvo que emigrar de sus tierras.

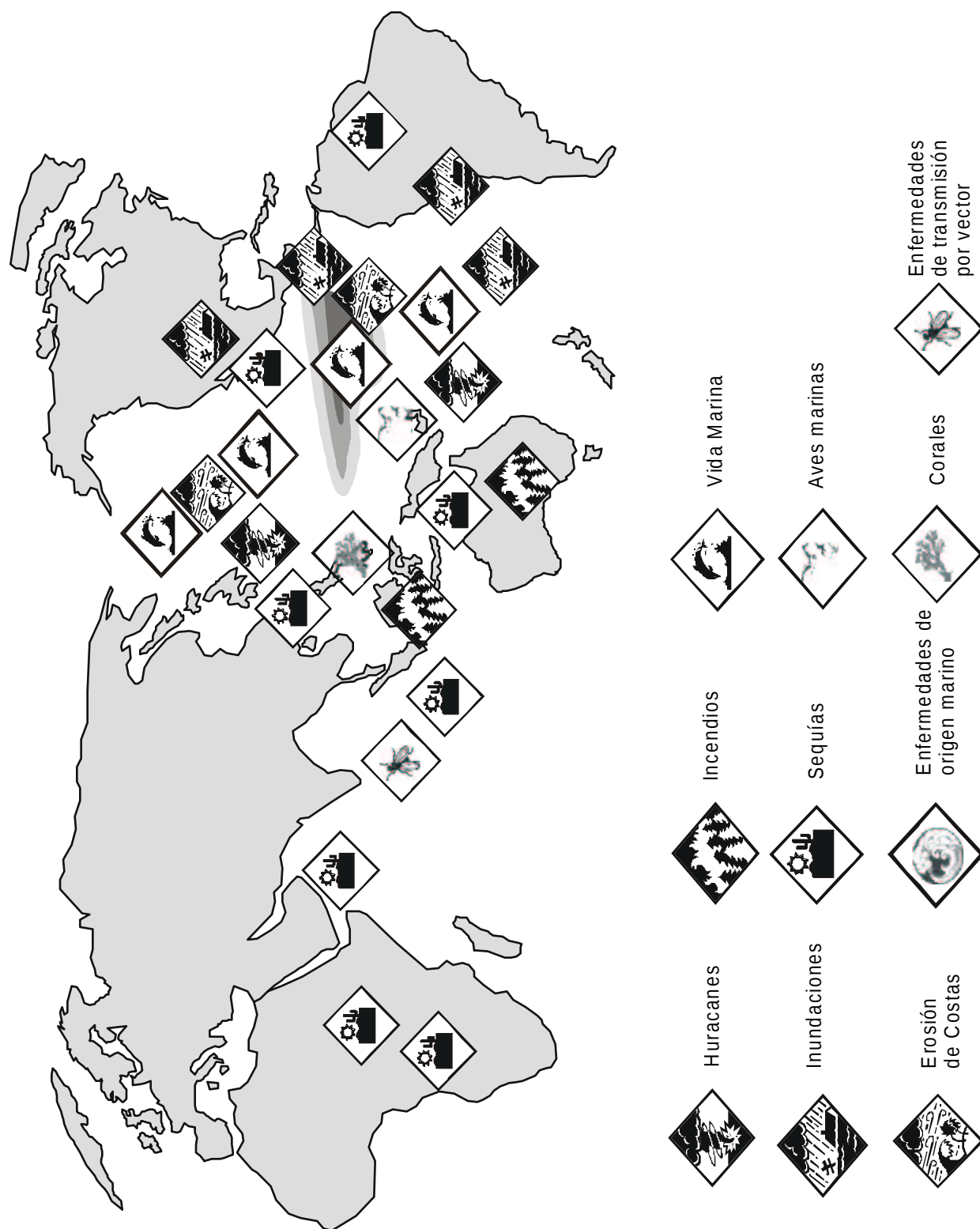


Fig. 1.7. Mapa de la distribución de algunos impactos de El Niño en el mundo.

Ante la evidente vulnerabilidad de nuestro país, tanto en su parte económica como social, resulta cada vez más urgente desarrollar sistemas de planeación que eviten o disminuyan los impactos negativos por condiciones extremas en el clima, como las sufridas en el año 1997.

El Niño de 1997 provocó cambios en la distribución y abundancia de las lluvias, ocasionando la pérdida de 2 mil millones de toneladas de granos básicos que tuvieron que ser importadas a un alto costo.



Algunas naciones avanzadas en los estudios de los impactos regionales de El Niño, establecen planes de acción ante el 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 el fenómeno de El Niño afecta las cotizaciones de granos o harina de pescado en la bolsa de Nueva York, incluso las compañías aseguradoras invierten en pronósticos climáticos para establecer las primas de los seguros.

En la actualidad, la variabilidad del clima tiene un importante lugar en el contexto del desarrollo económico, por lo que es cada vez más necesario hacer uso de pronósticos del clima. La posibilidad de estimar las anomalías en lluvias o temperaturas abre espacios adicionales de planeación ambiental, económica y social. Ante un fenómeno como El Niño, los riesgos que se tienen son calculados para ampliar el margen de acción en el diseño de programas de adaptación. En México ya se dan los primeros pasos en esta dirección. La Secretaría de Gobernación publicó en noviembre de 1997, una lista de acciones a tomar ante la presencia de El Niño y sus posibles efectos en el noroeste de México. Los pronósticos de lluvias de verano se distribuyeron entre agricultores de Tlaxcala.

La dependencia humana del medio ambiente y los estragos que los cambios del clima ocasionan en nuestros sistemas de producción y generación de bienestar son evidentes. «*Los países que experimentan tasas de crecimiento bajas, un rápido aumento en su población y una degradación continua de sus sistemas ecológicos son cada vez más afectados por las variaciones climáticas, convirtiendo algunos eventos meteorológicos en desastres naturales*» (IPCC, 1997). En este contexto es que se puede definir la vulnerabilidad de países y regiones, o de los sistemas sociales.



Los países que experimentan tasas bajas de crecimiento , un rápido aumento en su población, y una degradación continua de sus sistemas ecológicos, son cada vez más afectados por las variaciones climáticas, convirtiendo algunos eventos meteorológicos en desastres naturales (IPCC, 1997).

En México son considerables las pérdidas socioeconómicas que se ligan a las variaciones climáticas estacionales e interanuales, particularmente aquellas asociadas con el fenómeno El Niño. La mayor parte de la producción de alimentos se da en regiones frágiles, altamente sensibles a malas políticas de uso del suelo, disminución en la disponibilidad del agua o inundaciones, que agravan los problemas socioeconómicos de la población. Para reducir los daños que se originan por fenómenos hidrometeorológicos intensos, es necesario que se cuente con mejor infraestructura para el adecuado drenaje de los escurrimientos y protecciones contra el desbordamiento de los cauces. También es necesario que la población tome conciencia de los peligros a que está expuesta y de las medidas que puede tomar para reducir su vulnerabilidad.

En gran medida, la vulnerabilidad de la población a fenómenos hidrometeorológicos está asociada a asentamientos humanos irregulares.



Por lo anterior, hoy se analizan y proponen mecanismos de respuesta regional ante eventos meteorológicos extremos, con el objeto de asegurar la estabilidad, intentando disminuir su vulnerabilidad. La comprensión de las condiciones de vulnerabilidad en un contexto medio ambiente-sociedad en una ciudad representa la clave de posibles soluciones.

Garza, M. y Rodríguez, D. (1998) establecen que «...por extraordinarios que sean los fenómenos naturales, no son en sí mismos un desastre. Un terremoto en una zona despoblada no genera ningún efecto social. Más bien, el desastre es el resultado de la conjunción de determinados fenómenos y la capacidad de los soportes físicos contruidos por la sociedad para amortiguar sus efectos».

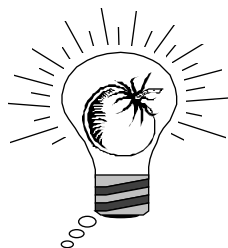
En este sentido, los medios de comunicación juegan un papel trascendente al ser responsables de difundir información suficiente o adecuada de los problemas de fondo ante un evento climático extremo, permitiendo que la sociedad conozca las dimensiones y efectos reales del fenómeno, así como los mecanismos de respuesta.

La vulnerabilidad de un país ante eventos muy fuertes de El Niño, está en relación inversa con:

- i) la difusión y comprensión de eventos climáticos extremos,
- ii) la capacidad técnica para aplicar medidas preventivas, y
- iii) la disponibilidad de recursos financieros para aplicar estas medidas.

El Niño 1997-98 fue uno de los eventos climáticos más estudiados en su origen y evolución, siendo quizá el más intenso del que se tiene registro. Muchos países tomaron acciones preventivas ante los posibles impactos negativos, pero también para aprovechar los efectos positivos. Los usos potenciales de la información anticipada fueron casi ilimitados. Por ejemplo, los productores de café en Kenia enfrentaron una mayor demanda de este producto cuando la sequía afectó a las cosechas de Brasil e Indonesia. La disminución en la producción de aceite de palma en Filipinas durante El Niño, se convirtió en oportunidad para otros productores. Por ello, los países que se anticipan a estos acontecimientos pueden llenar los vacíos del mercado y prosperar.

En Perú, la construcción de refugios y la acumulación de suministros para casos de emergencia salvaron cientos de vidas durante 1997 y 1998. Gracias a las advertencias, la ayuda internacional llegó a tiempo a lugares como Papua Nueva Guinea, donde la amenaza de hambruna se cernía sobre las poblaciones de tierras altas, afectadas por las heladas y sequías que se combinaron para destruir las cosechas de subsistencia. Muchas áreas afectadas pudieron prepararse para las inundaciones o incendios, la migración de la población o la propagación de enfermedades (Suplee, 1999).

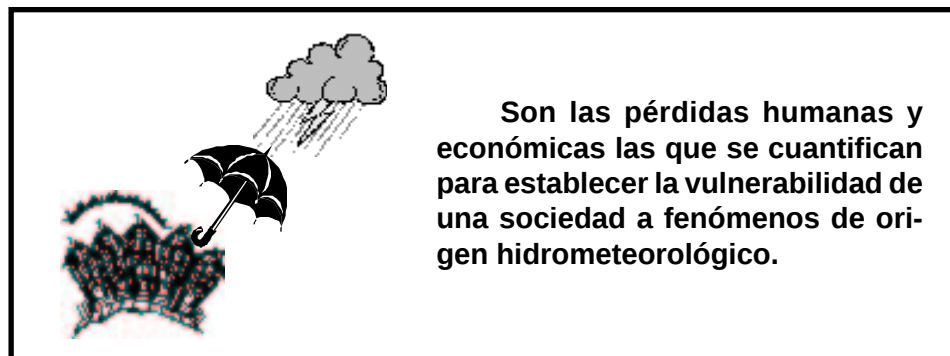


El conocimiento de los impactos de El Niño representa una oportunidad para muchos países. Conocer las variaciones de la producción agrícola en otras regiones, así como las condiciones extremas del clima, permite planear parte de la economía agrícola.

En la búsqueda de soluciones en México, la Secretaría de Gobernación ha diseñado el Atlas Nacional de Riesgos, donde se describe a los fenómenos hidrometeorológicos como los que mayor daño han causado a nuestro país (Delgadillo, 1996). Sin embargo, poco énfasis se ha puesto en el papel de El Niño como un riesgo, despreciando sus relaciones con eventos como la frecuencia de ciclones tropicales, inundaciones, sequías, tormentas de granizo o nevadas. Por esta razón, se ha decidido presentar un análisis de los impactos que este fenómeno tiene en México, no para que El Niño sea contemplado como un riesgo adicional, sino para ser entendido en su real magnitud y para diseñar estrategias de adaptación ante su ocurrencia.

Las ventajas del pronóstico

Los ciclones tropicales o tormentas intensas cobran importancia en la sociedad y en la economía cuando entran a tierra, ya que la combinación de fuertes vientos y lluvias torrenciales tiene efectos devastadores. En general, son las pérdidas humanas y económicas las que se cuantifican para establecer la vulnerabilidad de una sociedad ante fenómenos de origen hidrometeorológico. A partir de datos estadísticos y modelos físicos, los científicos y planeadores han podido reconocer las relaciones entre variables meteorológicas y la forma de los impactos, lo que permite determinar estrategias de adaptación. El uso de modelos de predicción climática ha permitido promover acciones de mitigación, que resultan en servicios de emergencia preparados tanto para la prevención de los impactos, como para la atención de los afectados por el siniestro, porque sólo al conocer los tiempos e intensidad de los fenómenos, se puede preparar a la población (WMO,1998). El impacto de los huracanes en Estados Unidos, México o Centroamérica, es una muestra de las características y los grados de vulnerabilidad de la población ante fenómenos hidrometeorológicos extremos. En cada una de estas regiones, los efectos negativos ante huracanes (e.g. muertos) varían en un orden de magnitud.



Todo pronóstico tiene cierto grado de incertidumbre. En principio, sólo es posible pronosticar de forma determinista las condiciones de la atmósfera a menos de quince días. En las predicciones a corto plazo (uno o dos días) se desea conocer en qué regiones del país lloverá o hará frío, dando valores precisos a cada una de las variables en el espacio y el tiempo. En las de largo plazo, se trata de determinar cuál es la probabilidad de que las condiciones climáticas medias en una región del planeta se vean alteradas en un cierto porcentaje. Es así que en predicciones del clima se habla de anomalías en lluvias o temperatura, o sea, de valores por encima o debajo de la media (Magaña, et. al., 1998).

Hasta hace un tiempo, la mayor parte de los trabajos en el campo de la predicción climática se basaban en estadísticas climáticas de los últimos treinta años o más. Recientemente, los métodos de predicción incluyen el uso de modelos numéricos que dan un sentido más físico a la estadística, explicando los eventos de Niño como resultado de procesos de interacción entre los componentes del sistema climático. La combinación de técnicas estadísticas y dinámicas, así como el avance en el estudio de sistemas dinámicos, amplía la gama de posibilidades para realizar pronóstico. El aumento en la cantidad y calidad de las observaciones permite ahora contar con mejores diagnósticos y pronósticos del clima.

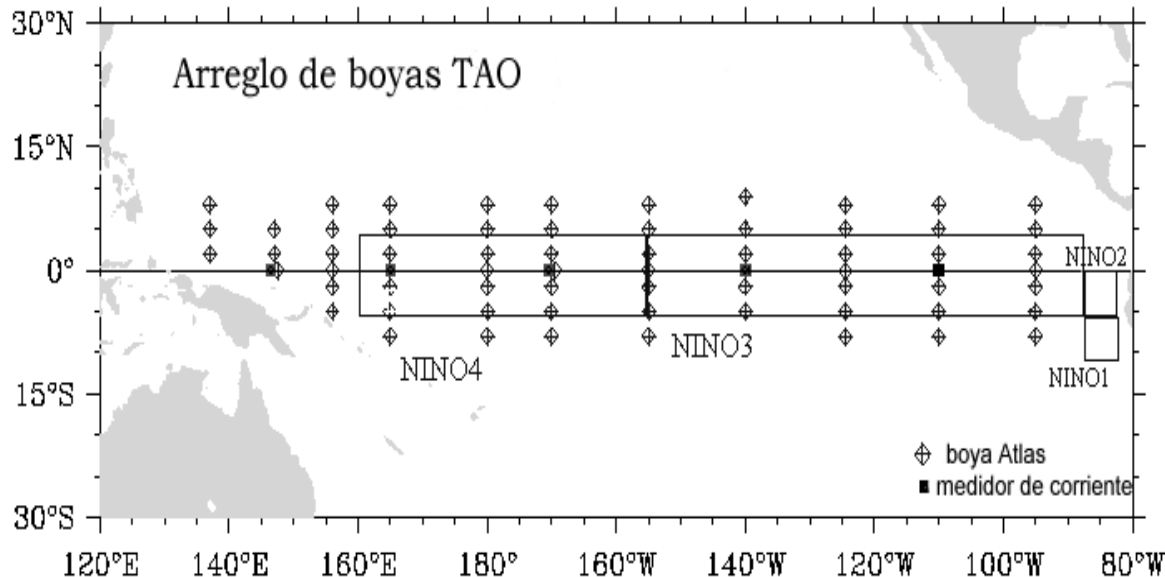


Fig. 1.8.- Arreglo de boyas para la atmósfera y el océano tropical en el Pacífico, así como regiones Niño (tomado de NOAA).

El estudio físico de las anomalías climáticas, ha llevado a implementar campañas de observación mediante las cuales los datos medidos y los modelos matemáticos son comparados. Hoy se cuenta con redes de observación como la del sistema Océano-Atmósfera Tropical (TAO, por sus siglas en inglés), integrado por 70 boyas ancladas y distribuidas en el Pacífico ecuatorial (Fig.1.8), que constituye el principal sistema de advertencia en el mundo, en cuanto se refiere a los cambios climáticos en el océano tropical. Estas boyas han aportado en años recientes información completa en tiempo y espacio sobre las anomalías de vientos, temperatura superficial del mar y cambios de la termoclina que caracterizan a El Niño. Para el caso específico de El Niño de 1997, el banco de datos comprendido en el periodo de diciembre de 1996 a diciembre de 1997, facilitó la descripción y pronóstico de la propagación de las ondas oceánicas hasta una profundidad de 500 m (CLIVAR, 1999).

Por otra parte, el uso de los satélites continúa siendo un recurso de gran valía en el monitoreo de sistemas convectivos intensos (como huracanes, ciclones de latitudes medias, etc.). En épocas recientes, la capacidad de observar nuestro planeta se ha visto sustancialmente aumentada al entrar en funcionamiento satélites que detectan cambios en la temperatura superficial del mar, vegetación continental y producción primaria en los océanos. Por ejemplo, el satélite *TOPEX/Poseidon*, de una misión franco-estadounidense, que fue puesto en órbita en 1992 a una altitud de 1,336 km, mide el aumento del nivel de la superficie del mar y transmite información acerca de la circulación oceánica, incluyendo las enormes ondas Kelvin y Rossby que van y vienen por todo el Pacífico resultando entre otras cosas, en El Niño.

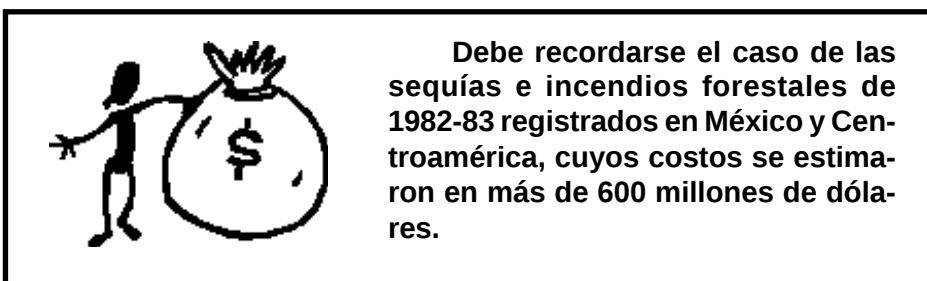
Con los datos las boyas de la red TAO, del satélite *TOPEX/Poseidon* y una variedad de modelos dinámicos, los científicos cuentan ahora con información que les permite desarrollar y validar teorías sobre lo que ocurre, tanto durante condiciones climáticas normales, como durante los cambios marítimos que anuncian las llegadas de El Niño y de La Niña.

Los desarrollos recientes en materia de pronóstico de El Niño abren la posibilidad de estimar algunas anomalías en el clima a nivel regional y con ello, un espacio de planeación en materia ambiental, e incluso económica y social. La implementación de políticas que toman en cuenta el factor clima, ya son una realidad en los países más afectados por El Niño.

La implementación de políticas que toman en cuenta pronósticos del clima, ya son una realidad en los países más afectados por El Niño



La capacidad de adaptación de un país ante condiciones adversas en el clima depende de los avances tecnológicos, los arreglos institucionales, la disponibilidad de información y recursos financieros con que cuente. Por ejemplo, en los Estados Unidos el fenómeno El Niño se enfrenta con una visión amplia que incluye reconocer los impactos negativos y positivos, tanto económicos como sociales. Es con esta visión que se instrumentan programas de acción que integran a toda la población. Los científicos realizan estudios permanentes, que son utilizados por los responsables de protección civil para preparar actividades de información y auxilios en casos de desastres (CLIVAR,1999).



Debe recordarse el caso de las sequías e incendios forestales de 1982-83 registrados en México y Centroamérica, cuyos costos se estimaron en más de 600 millones de dólares.

Dado que el factor económico y de infraestructura determina en gran medida la capacidad de adaptación, los países en desarrollo son generalmente los más vulnerables. Por ello, en estos países es más importante desarrollar planes de adaptación, ya que los costos de remediar los daños por condiciones meteorológicas y climáticas extremas son por lo general varios órdenes de magnitud mayores a los de acciones de prevención. Baste recordar el caso de las sequías e incendios forestales de 1982-83 registrados en México y Centroamérica, cuyos costos se estimaron en más de 600 millones de dólares. Lo más importante es aplicar el principio de precautoriedad, aumentando las medidas de protección.

No es necesario esperar a conocer perfectamente todos los detalles de algún proceso climático para realizar pronósticos y hacer uso de ellos. Sin embargo, es importante conocer cuáles son las limitaciones de tales pronósticos, para no crear falsas expectativas. Aunque existe una gran necesidad de saber con suficiente anticipación si habrá más huracanes afectando las costas mexicanas, lo más que podemos decir es si esperamos más sistemas de este tipo, pero de ninguna manera se puede pronosticar el embate de otro huracán como Paulina para un cierto día.

Las perspectivas de aprovechar la información climática en el siglo XXI son grandes. México y el resto de la comunidad internacional deben reconocer los avances científicos en materia ambiental para utilizar de manera responsable los recursos con los que cuentan. Ya no es aceptable seguir considerando a los huracanes o a 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.

En este trabajo sobre El Niño, se trata de establecer en qué medida este fenómeno realmente afecta a México. Sólo mediante un análisis científico se puede concluir en qué grado los problemas ambientales de nuestro país son causados por el Niño, para evitar usarlo como «chivo expiatorio» de todos nuestros males.

2 El Niño y el clima

**Víctor Magaña¹, José Luis Pérez¹, Jorge Luis Vázquez²,
Eliseo Carrisoza³ y Joel Pérez²**

Colaboradores: Adalberto Tejeda², Eleonora Romero^{4,14}, Rubén Morales¹⁴ e Irina Tereshchenko⁵

Climatología de México

Por su ubicación geográfica, la República Mexicana es afectada por sistemas meteorológicos de latitudes medias durante el invierno, y por sistemas tropicales en el verano. Parte importante de la dinámica de una atmósfera subtropical como la mexicana, son las interacciones entre trópicos y extra-trópicos, que ayudan a entender los cambios que experimenta el tiempo día con día. Los llamados «Nortes» son una manifestación de dicha interacción entre trópicos y extratrópicos. Otro elemento importante al analizar la dinámica atmosférica mexicana son los factores de frontera como la topografía, el uso de suelo y la presencia de mares, que en gran medida determinan el tipo de clima que se experimenta regionalmente.

El clima mexicano se debe estudiar considerando procesos de interacción océano-atmósfera-continente. La existencia de procesos como la canícula de verano, es una muestra de la importancia de estas interacciones, principalmente en regiones como el sur de México y Centroamérica (Magaña *et. al.* 1999).

Para entender los cambios del clima de una región a otra es necesario analizar la interacción de la atmósfera con el océano y la orografía, al igual que las características del uso del suelo.



Por extenderse desde regiones tropicales hasta latitudes medias, y debido a lo complejo de su topografía, en México se tienen una gran variedad de climas, que van desde los cálidos, con temperaturas medias anuales mayores a 32°C, hasta los fríos, con temperaturas menores a 10°C. Sin embargo, las temperaturas medias de superficie varían en el 93% del territorio nacional entre 10°C y 26°C (INEGI, 1999). Este porcentaje comprende climas cálidos-subhúmedos en 23% del territorio nacional; secos en el 28%, muy secos en el 21% y templados-subhúmedos en el 21%.

En invierno se alcanzan los mínimos de temperatura, principalmente en la región norte y en las zonas montañosas (Fig. 2.1a), ocurriendo incluso nevadas en algunas sierras. Los veranos en las zonas semiáridas son extremos, con temperaturas que alcanzan con frecuencia los 40° C o más (Fig. 2.1b). Los años recientes han sido considerados como los más cálidos en el mundo, al parecer por los efectos del calentamiento global. México no ha escapado a esta tendencia y en 1997 y 1998 se registraron temperaturas record en casi todo el país, y en particular en la Ciudad de México (Fig. 1.2).

a)

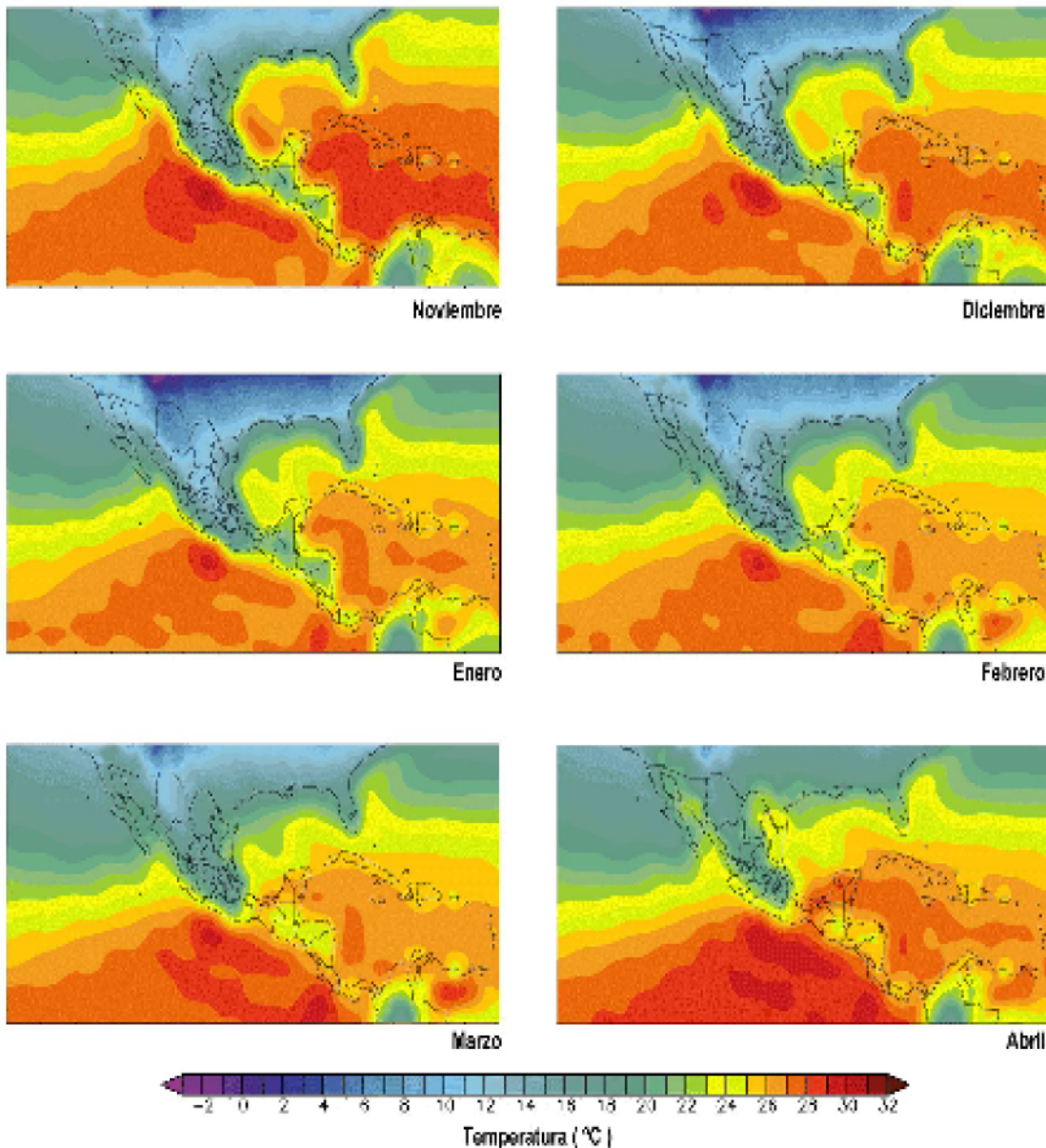


Fig 2.1a Climatología (1958-1999) de invierno de la temperatura media de superficie

b)

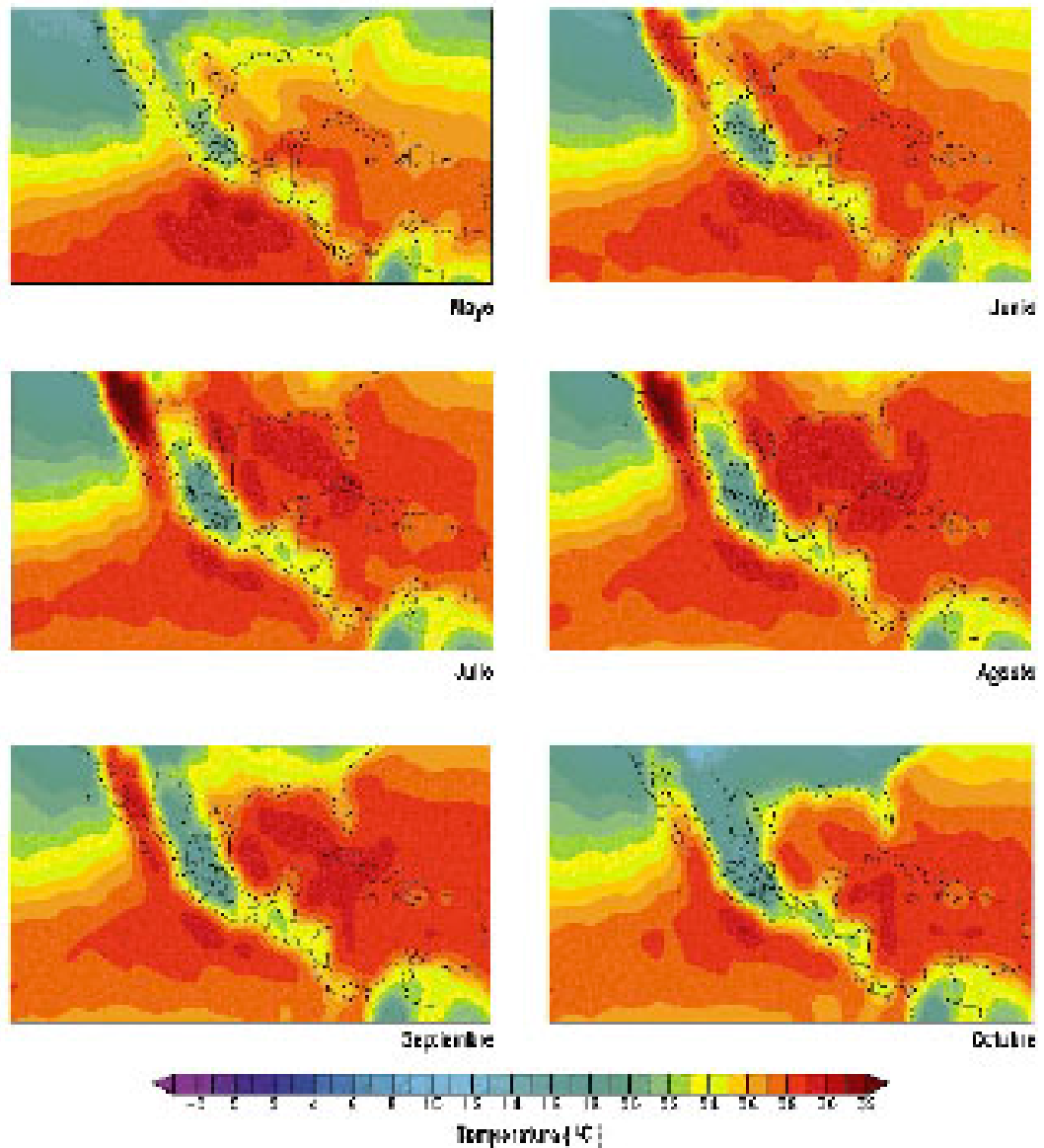


Fig 2.1b Como 2.1a, pero para verano

Aunque llueve en invierno (Fig. 2.2a), las lluvias más intensas ocurren en verano, y de forma general se puede decir que la temporada de lluvias en México comienza entre mayo y julio (Fig. 2.2), terminando entre septiembre y octubre, dependiendo de la zona de interés. Por otra parte, el invierno se caracteriza por condiciones secas en la mayor parte del territorio, excepto en el noroeste y en la vertiente del Golfo de México. Por el hecho de presentarse lluvias durante el verano (Fig. 2.2b) en la mayor parte del país y condiciones mayormente secas durante el invierno (Fig. 2.2a), se habla de que México tiene un clima monzónico.

a)

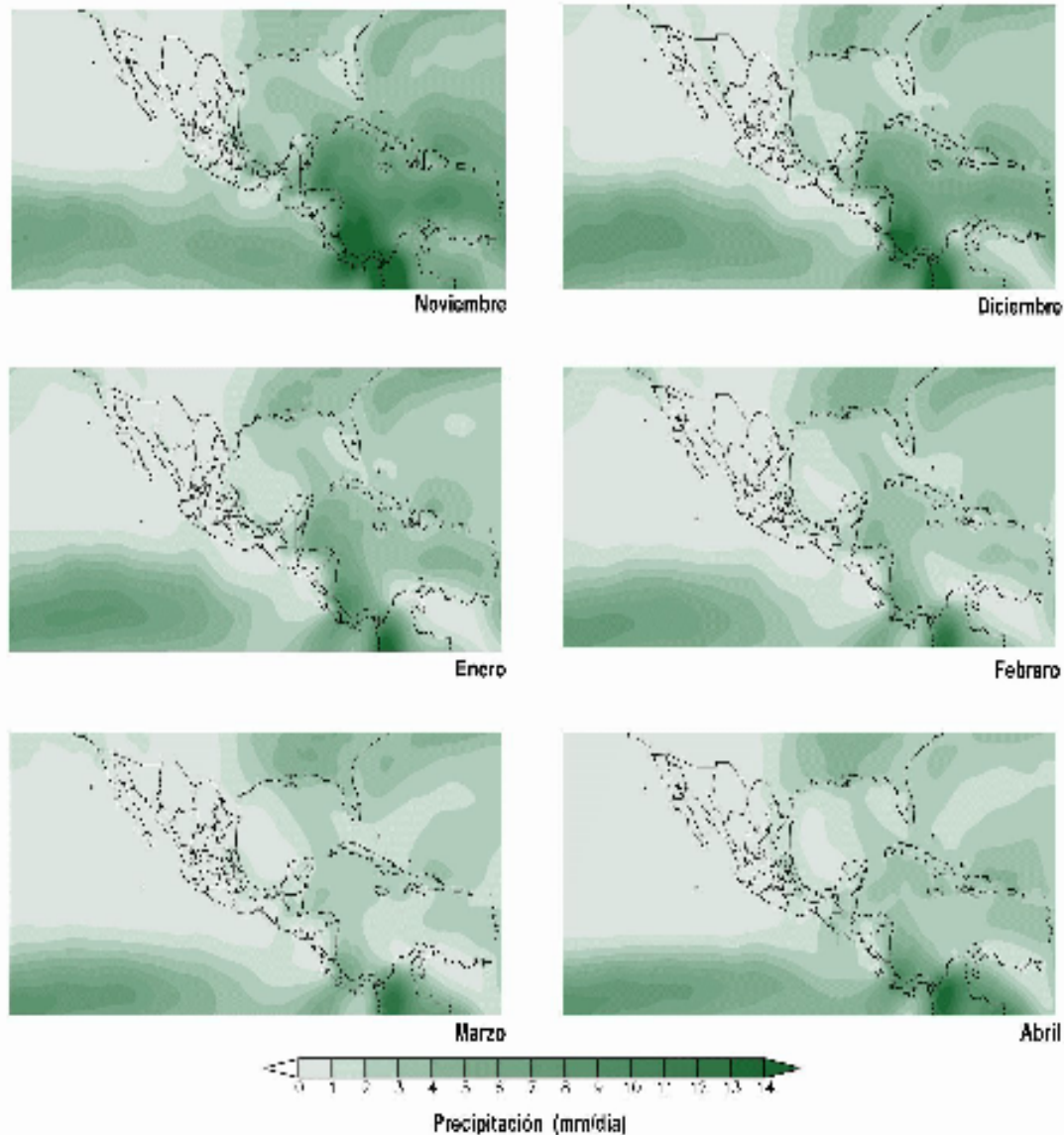


Fig. 2.2a Climatología (1958-1999) de precipitación en invierno (mm/día)

En términos de dinámica atmosférica, en el período de invierno se presentan ciclones de gran escala en latitudes medias que afectan el norte del país y que en ocasiones se propagan hacia el sur, sobre el Golfo de México y el sureste, provocando bajas de temperatura y en ocasiones lluvias desde Veracruz, hasta Yucatán, que pueden incluso alcanzar Centro América.

b)

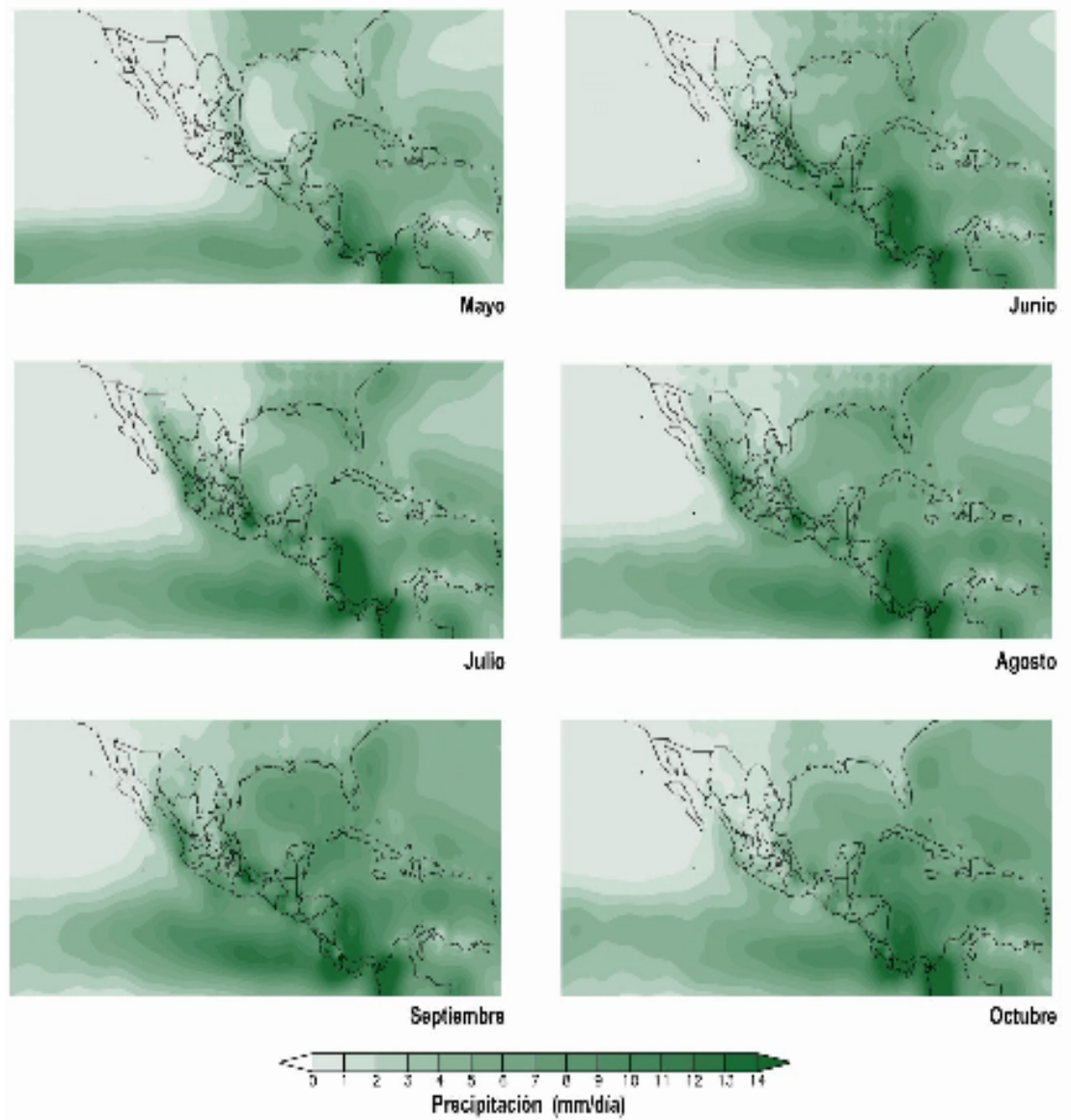


Fig. 2.2b Como en 2.2 a, pero para verano

Las lluvias de verano están asociadas a una mayor variedad de estructuras meteorológicas entre las que destacan:

- i) La Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZITC),
- ii) El monzón mexicano,
- iii) Las ondas del este y
- iv) Los huracanes en el Pacífico, el Caribe y Golfo de México.

Como parte del ciclo anual de las lluvias de verano, en la región centro-sur de México y hasta Centroamérica, aparecen dos máximos en la precipitación de verano, uno en junio y otro en septiembre. Por tanto, existe un mínimo relativo entre julio y agosto (Fig. 2.3) conocido como sequía intraestival, sequía del medio verano, canícula o veranillo, dependiendo de la región o país donde se experimente (Magaña *et al.* 1999).

Durante julio y agosto, tal 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. Tal característica del ciclo anual parece ocurrir sólo en la región del Pacífico mexicano, donde se forma una alberca de agua caliente que favorece la formación de nubes profundas. Esta alberca de agua caliente juega un papel fundamental en la dinámica del clima de México y Centro América (ver Cap. 3).

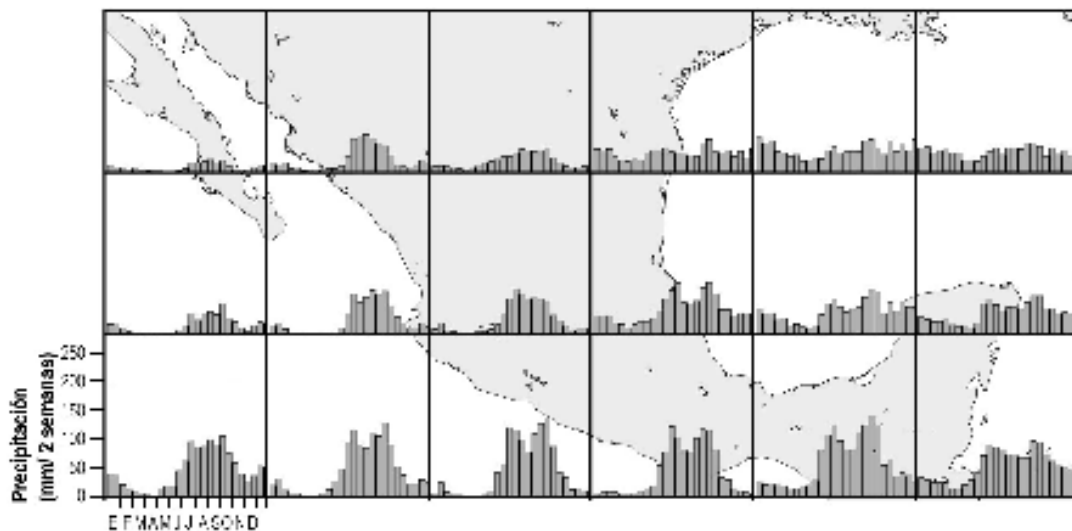


Fig. 2.3 Climatología quincenal de la precipitación (mm/2 semanas) en subdominios de 5°X5° (adaptado de Magaña *et al* 1999).

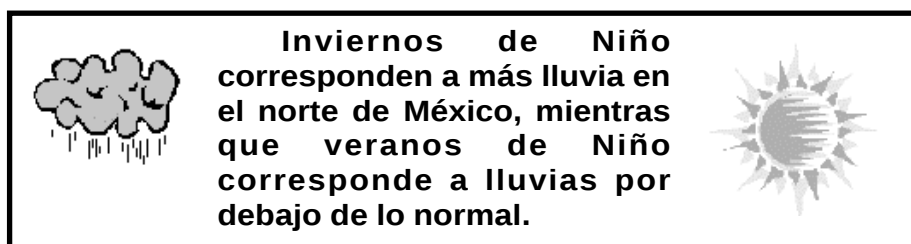
Gran parte de la dinámica atmosférica de verano en México está relacionada con la presencia de la Zona Inter Tropical de Convergencia (ZITC) en el Pacífico del este. La posición, intensidad y densidad de la convección profunda en esta región puede resultar en periodos de fuertes lluvias o severas sequías para México. Es en esta zona donde también tiene lugar la mayor actividad ciclogénica del planeta, formándose huracanes intensos. La variabilidad de la estructura espacial de la ZITC ha sido poco estudiada (Zhang 1993). Sin embargo, se sabe que la ZITC experimenta periodos de intensa y débil actividad convectiva, a veces modulados por el paso de ondas tropicales (Magaña y Yanai 1995).

El Niño y el clima de México

Las lluvias son parte fundamental de la vida. El exceso o falta de precipitaciones afecta de manera evidente los patrones de conducta de los seres humanos. Es por ello que desde siempre ha existido un gran interés en pronosticar estaciones de precipitación abundante o escasa. En México, las actividades agrícolas son las más afectadas por extremos en las características de la época de lluvias (Florescano, 1980). La ocurrencia de sequías en nuestro país ha resultado en serios problemas socio-económicos, como en el norte de México durante la década de los noventa. Por esta razón, el reto de pronosticar las lluvias ha inquietado a los especialistas del clima por mucho tiempo (Jáuregui, 1977).

Desde hace algunos años, se sabe que el fenómeno de El Niño afecta las lluvias en México (Magaña y Quintanar 1997). Por ejemplo, Mosiño y Morales (1988) encontraron que el fenómeno de El Niño tiene grandes repercusiones en la precipitación en el centro del país. Otros trabajos han confirmado el papel que juega El Niño, no sólo en las lluvias de verano, sino también en las de invierno (Cavazos y Hastenrath, 1990).

De manera general, se puede decir que las lluvias de invierno se intensifican durante años El Niño en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte sur (Magaña, *et. al.* 1998). Los inviernos de Niño resultan más fríos en casi todo el país. Por otra parte, los veranos de Niño son más secos y cálidos que los veranos de Niña. Es por ello que, para entender los cambios que experimenta el clima mexicano durante periodos de Niño o Niña, es conveniente analizar por separado el invierno y el verano.



Evidentemente, además de El Niño existen otros procesos climáticos que resultan en más o menos lluvia. Encontrarlos es un reto científico.

La señal de El Niño en invierno

El clima mexicano es afectado por ciclones de latitudes medias que generan frentes fríos. Estos ciclones producen frecuentemente lluvias, al mismo tiempo que mueven masas de aire cambiando el tiempo atmosférico día con día (Holton 1979). En años normales, el clima mexicano es parcialmente modulado por frentes fríos y lluvias invernales, tanto en la región de Baja California, Sonora y Chihuahua, como en la de Nuevo León y Tamaulipas. Algunos de estos sistemas de latitudes medias logran alcanzar bajas latitudes convirtiéndose en "Nortes", que afectan los estados de la vertiente del Golfo de México, la península de Yucatán y partes de Centroamérica y el Caribe (Schultz *et al.* 1997).

Durante años de Niño, la circulación media invernal (Fig. 2.4a), con corrientes en chorro sobre el Pacífico norte y la costa este de los Estados Unidos, es alterada por una onda estacionaria del tipo Rossby, que se ha denominado patrón de circulación del Pacífico Norte América, o patrón PNA (Fig. 2.4b). La presencia de esta anomalía en la circulación media resulta en cambios en la posición de la corriente en chorro de latitudes medias y subtropical, que se desplazan hacia el sur alrededor de 500 km (Magaña y Quintanar, 1997).

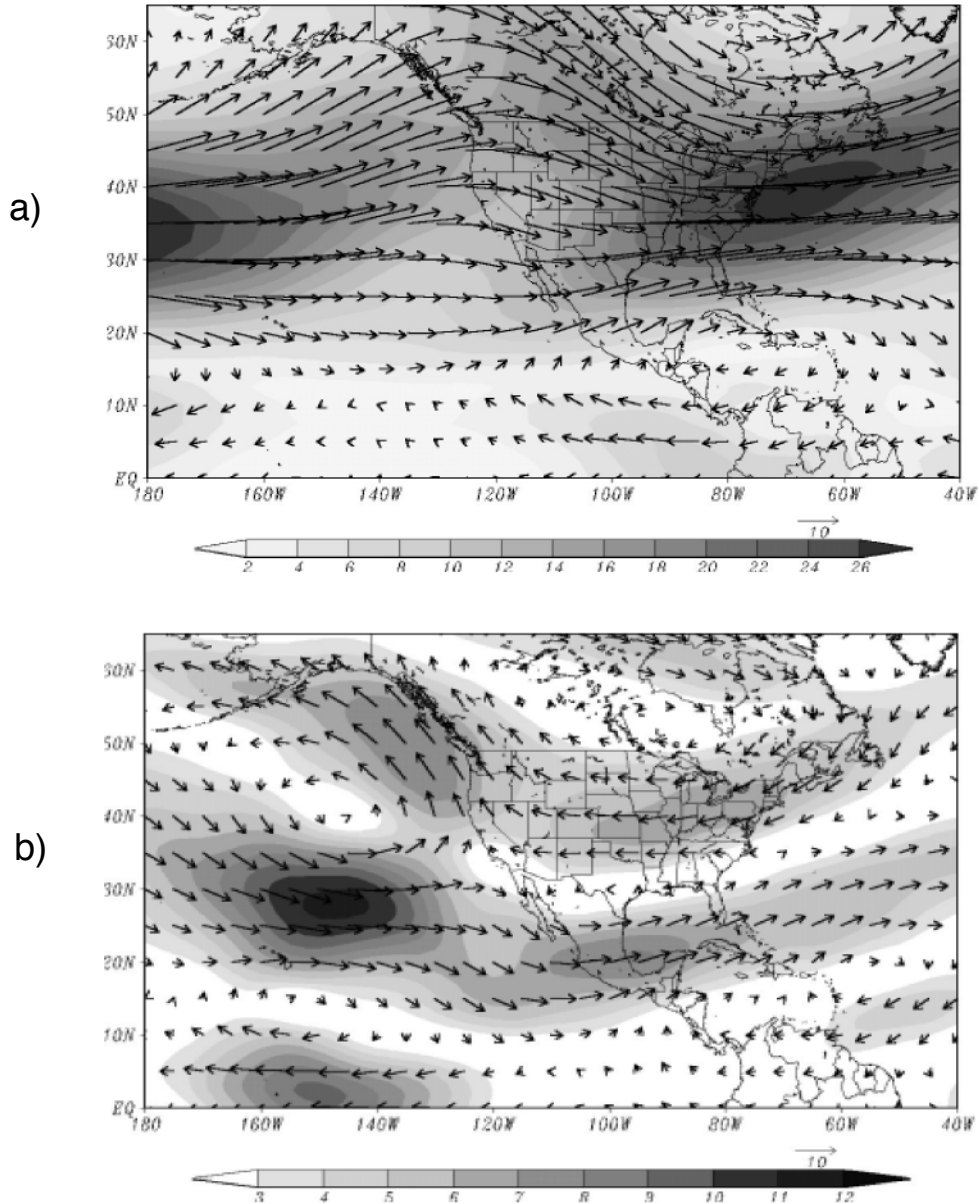


Fig. 2.4 Circulación a 500 Hpa. a) media de invierno y b) anómala durante inviernos de Niño (1965-66, 1972-73, 1982-83, 1986-87, 1991-92, 1997-98).

El sombreado corresponde a la intensidad del viento (m/s).

Dado que los sistemas de latitudes medias utilizan este sistema de corriente en chorro para adquirir energía, el paso de frentes fríos en el norte de la República Mexicana se vuelve más frecuente y con ello, se tienen más lluvias invernales en el norte y centro del país, e incluso en la península de Yucatán (Fig. 2.5a). Así, el norte de Baja California experimenta lluvias invernales más frecuentes e intensas durante periodos de Niño (Pavía y Badán, 1998), las cuales provocan en ocasiones inundaciones que afectan a la población. Por ejemplo, la compleja topografía de la ciudad de Tijuana la hace vulnerable a las intensas lluvias invernales durante años Niño (Rosquillas, 1998). Sin embargo, la experiencia de eventos El Niño anteriores ha llevado a que en años recientes la población de esta región tome medidas preventivas ante el anuncio de este fenómeno. Durante años La Niña, las anomalías en la precipitación de invierno (Fig. 2.5b) parecen simétricamente opuestas con respecto a las observadas en años de Niño.

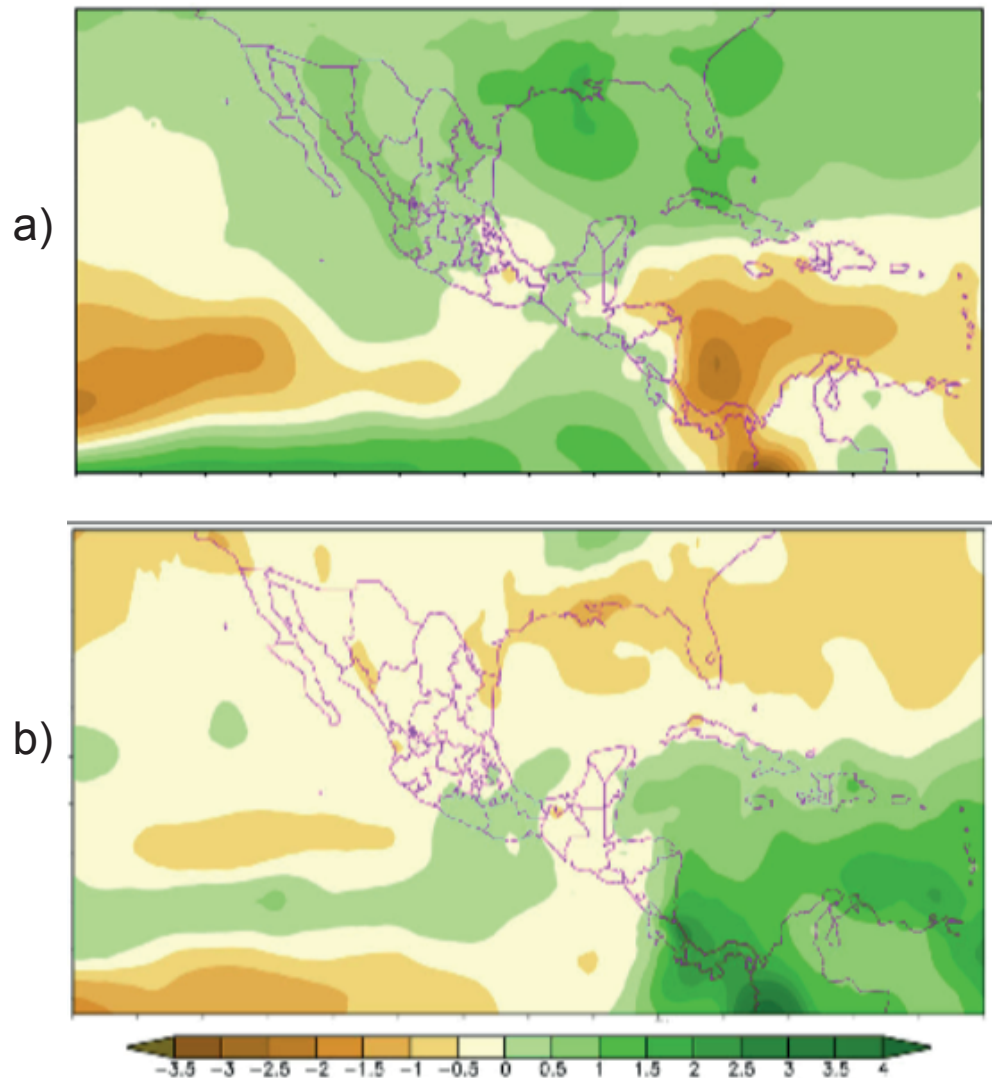


Fig. 2.5 Como en la Fig. 2.4b, pero para anomalías de precipitación (mm/día) a) durante inviernos de El Niño (1965-66, 1972-73, 1982-83, 1986-87, 1991-92, 1997-98) y b) durante inviernos de La Niña. (1964-65, 1970-71, 1973-74, 1975-76, 1988-89, 1998-99)

La presencia anómalamente continua de frentes fríos durante inviernos El Niño, provoca que las temperaturas en gran parte del país estén por debajo de lo normal (Fig. 2.6a), llegando a producirse nevadas en la sierras e incluso, en la parte central de México. Las nevadas de 1997 en Jalisco, Guanajuato y el Distrito Federal se consideran eventos extraordinarios, resultado de El Niño.

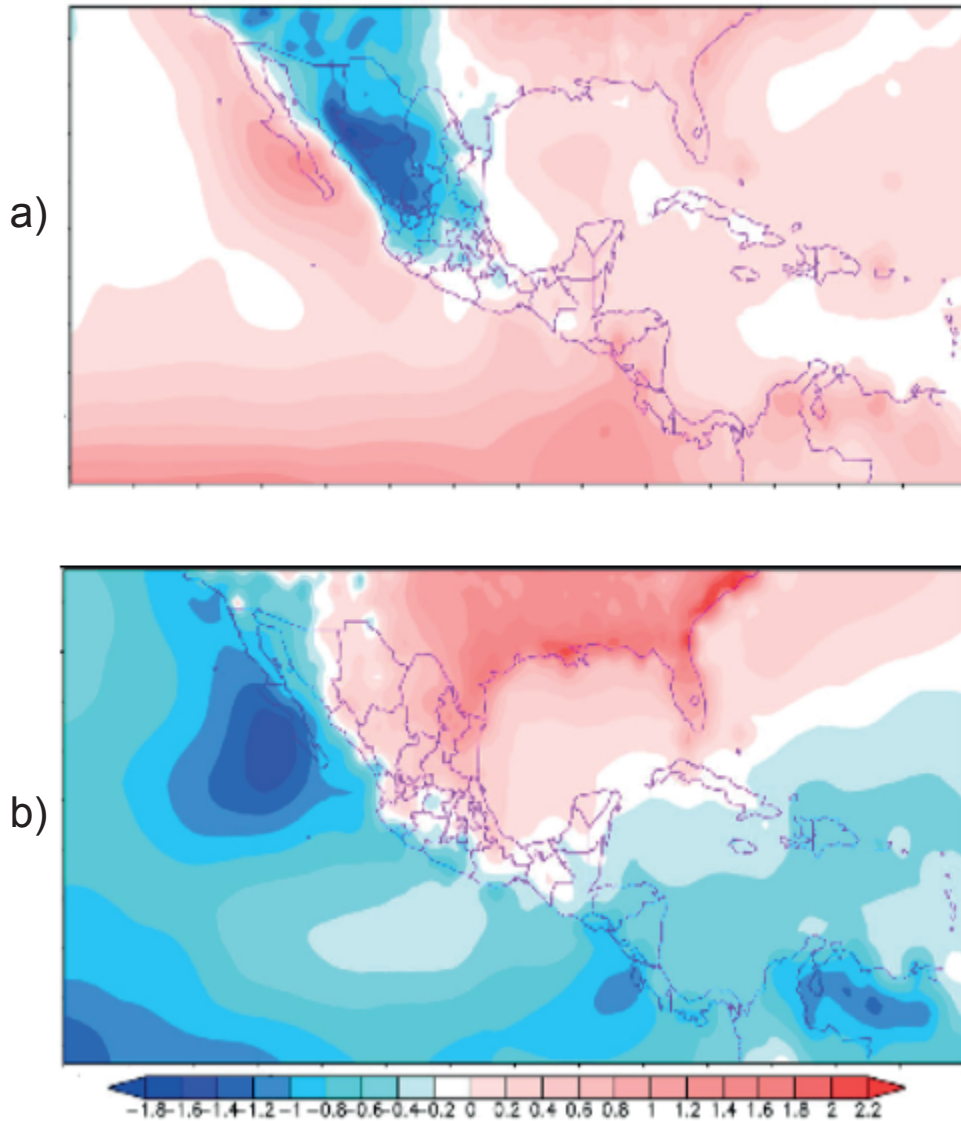


Fig. 2.6 Como en la Fig. 2.4 pero para anomalías de temperatura superficial del aire (°C) durante inviernos: a) El Niño y b) La Niña.

Como en el caso de la precipitación de invierno, durante años La Niña (Fig. 2.6b), las anomalías de temperatura de superficie parecen opuestas a las observadas durante años de El Niño.

El impacto de El Niño en las lluvias de invierno de México no es siempre el mismo. Esto quiere decir que existen diferencias en las características regionales y temporales de las anomalías de lluvia y temperatura de un año Niño a otro (Fig. 2.7). Por ejemplo, El Niño de 1986-87 no parece haber resultado en mucha mayor lluvia de invierno. El Niño de 1982-83 produjo lluvias invernales por encima de lo normal, aunque tuvo un impacto aparentemente menor al del invierno de 1991-92; mientras que El Niño de 1997-98 sólo impactó el norte de Baja California, parte de Sonora y la península de Yucatán. Estas diferencias de un año a otro en las anomalías invernales de lluvia entre eventos de Niño, dependen en gran medida de la posición de las circulaciones atmosféricas estacionarias, como el patrón PNA el cual es a la vez, influenciado por las características de la actividad convectiva anómala del Pacífico central (Ambrizzi y Magaña, 1998). Variaciones en la fase e intensidad del patrón PNA determinan la región donde ocurre la precipitación anómala. Un cambio en la fase de 5° a 10° en longitud de esta onda estacionaria, significa desplazamientos en los patrones de precipitación regional.

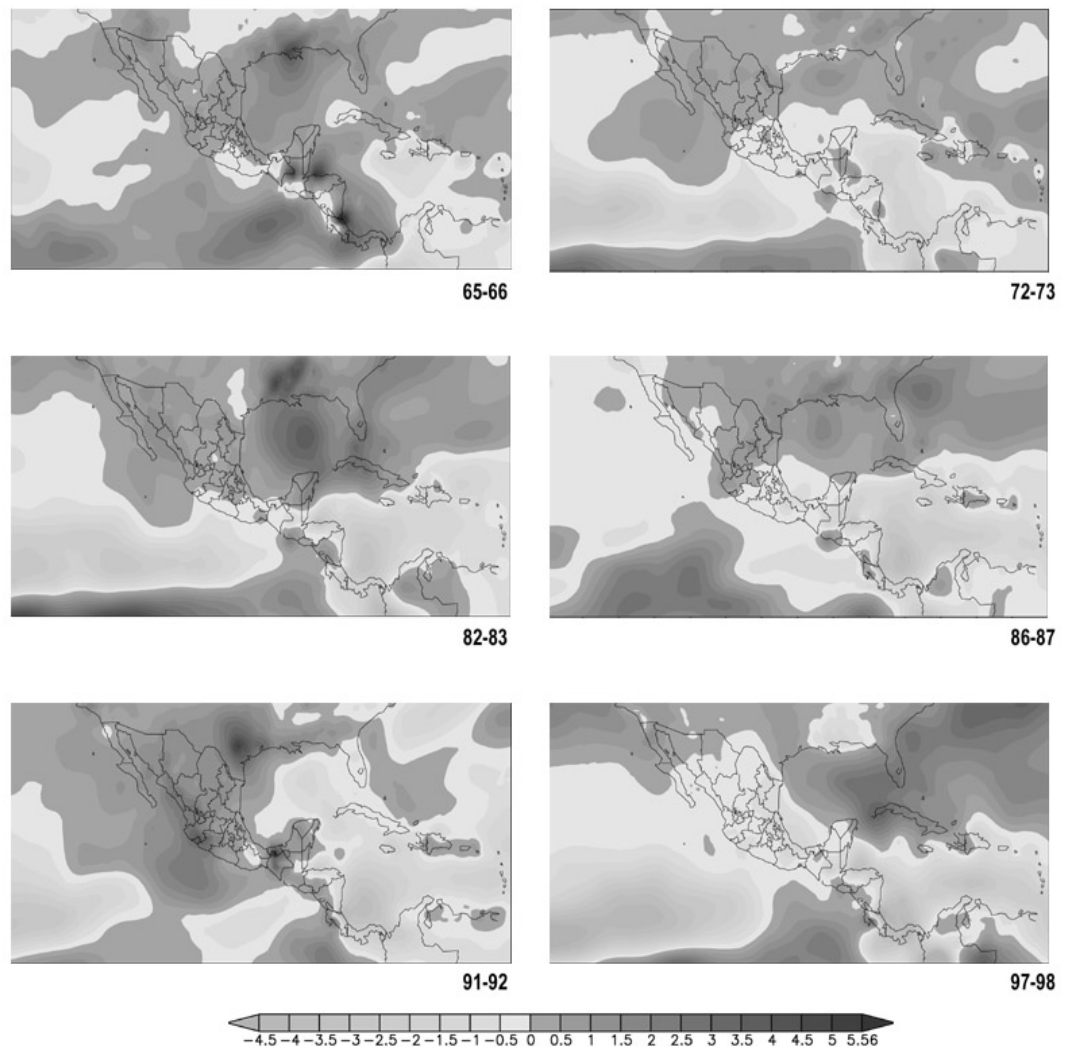


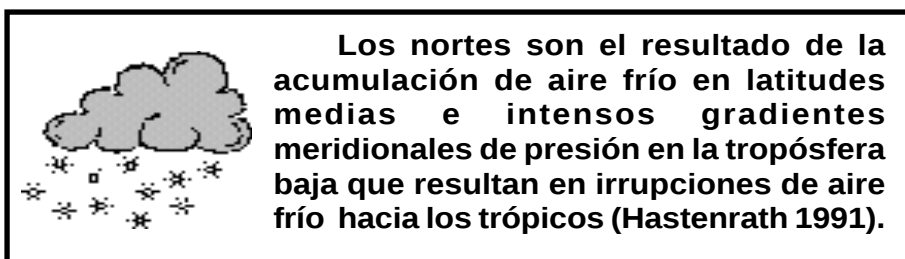
Fig. 2.7 Anomalías de precipitación (mm/día) durante eventos El Niño.

Parte de Centro América se ve afectada por la sequía invernal durante años El Niño. La subsidencia de gran escala y los efectos orográficos constituyen mecanismos mediante los cuales El Niño afecta el Caribe oriental y Centroamérica occidental. La intensa convección anómala en el Pacífico del este genera mayores circulaciones descendentes del tipo Walker y Hadley sobre el Mar Caribe (Webster, 1994), las cuales inhiben la convección profunda y las lluvias normales de invierno.

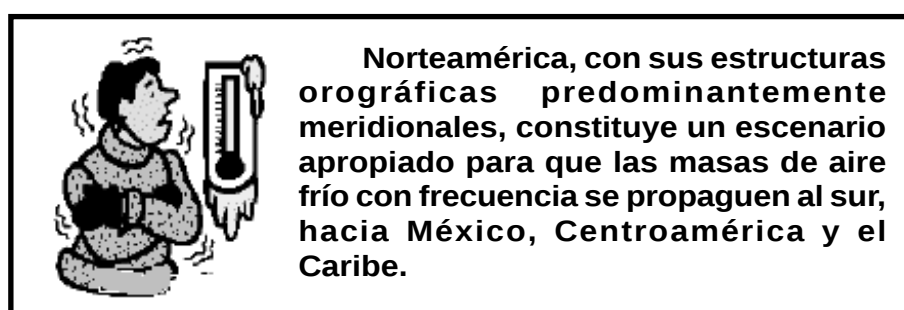
En regiones de los estados de Veracruz, Tabasco y Yucatán, el impacto de El Niño en el clima invernal se relaciona con la actividad de los Nortes, cuyo número e intensidad parecen verse afectados al cambiar la circulación atmosférica media. Los cambios en la posición e intensidad del *jet* subtropical asociados al establecimiento de circulaciones estacionarias (Fig. 2.4b), parecen provocar un aumento en el paso de estos sistemas de latitudes medias por el Golfo de México, los cuales afectan la parte sur de México, e incluso Centroamérica y el Caribe, sin que necesariamente esto se refleje en mayor precipitación. La precipitación en las regiones afectadas por Nortes parece disminuir durante años Niño. Esto resulta una interrogante científica.

Los Nortes

La atmósfera no tiene valores constantes de temperatura o densidad. Sin embargo, en algunas partes se forman masas de aire con propiedades físicas relativamente afines a las características de su región de origen. Estas masas de aire, casi-homogéneas, al desplazarse modifican el estado del tiempo regional. En ocasiones, el paso de una masa de aire puede ocasionar condiciones de tiempo severo. Por ejemplo, las masas de aire polar continental que en invierno llegan a México provocan días de intenso frío. Cuando dos masas de aire de distintas características se encuentran, se dice que ocurre un frente. En general, las condiciones meteorológicas de un frente frío se caracterizan por vientos y descensos de temperatura en superficie. Cuando el aire frío encuentra una masa de aire caliente y húmeda, se produce el desarrollo de nubes que pueden provocar precipitación. Si la posición de el frente frío es tal, que el viento sopla intensamente de norte a sur sobre el Golfo de México o Centroamérica, se tiene un "Norte".



Los Nortes ocurren preferentemente de octubre a mayo. Son parte de ondas de escala sinóptica de latitudes medias y están asociados con altas presiones que se originan al este de las montañas Rocallosas en los Estados Unidos. En la vertiente del Golfo de México, los Nortes generan vientos de hasta 30 m/s, descensos de temperatura que van de 2°C a 15°C en 24 horas, nubosidad baja, y en ocasiones, precipitación, principalmente sobre el este de las cordilleras de México y Centroamérica. Los efectos de un Norte permanecen desde un día hasta casi dos semanas después del paso del frente (Reding, 1992), pudiendo afectar actividades portuarias, la captura de crustáceos para exportación, e incluso actividades relacionadas con la industria del petróleo. Es por ello que determinar la actividad de Nortes ha sido y es de importancia económica.



Los estudios sobre la estructura y la dinámica de los Nortes estuvieron por mucho tiempo basados en la experiencia de los analistas es decir, eran de carácter subjetivo. Por ejemplo, Mosiño (1958 y 1964), clasificó patrones de circulación atmosférica sobre la República Mexicana, incluyendo los Nortes. Jáuregui (1971) analizó diversas tipificaciones del tiempo en México y encontró que la frecuencia de Nortes entre 1919 y 1965 estuvo estrechamente relacionada con la cantidad de precipitación. Klaus (1973) describió el origen de los Nortes a sotavento de las montañas Rocallosas y los clasificó dependiendo de la región mexicana afectada y de su desplazamiento meridional.

Con la aparición de sistemas de análisis objetivo de datos y modernos sistemas de cómputo, hoy es posible analizar patrones de circulación, como los de los Nortes, a partir de consideraciones dinámicas. Así, DiMego et al. (1976) mostraron que el número de frentes que penetran sobre la región del Golfo de México y el Caribe aumenta rápidamente de septiembre a octubre, alcanzando un máximo a la mitad del invierno. Trasviña y Barton (1997) analizaron cómo los Nortes afectan al Golfo de Tehuantepec con fuertes vientos, que atraviesan el Istmo de Tehuantepec mezclando sus aguas (ver Capítulo 3). Schultz et. al. (1998) realizaron, a partir de los análisis de Klaus (1973), una de las primeras estimaciones de actividad de Nortes en años El Niño y La Niña, aunque los resultados parecen poco concluyentes.

Para establecer las relaciones entre la ocurrencia de El Niño y los Nortes, es preciso contar con una clara definición de estos últimos. Un diagnóstico de datos históricos utilizando datos de campos de viento, temperatura y precipitación permite determinar la ocurrencia de los Nortes. Por ejemplo, se puede identificar la ocurrencia de un Norte, en un punto de la vertiente del Golfo de México, a partir de los siguientes criterios:

- i) Descenso en la temperatura superficial de 2°C o más, en 24 horas.
- ii) Cambios en la dirección del viento, siendo éste del norte o noreste.
- iii) Precipitaciones.

En la Figura 2.8 se muestra la temperatura máxima, la precipitación y la dirección del viento para enero de 1998, cerca de Veracruz, y se indican cuatro casos de descenso de temperatura mayor o igual a 2°C , de los cuales sólo tres cumplen los criterios establecidos para un Norte.

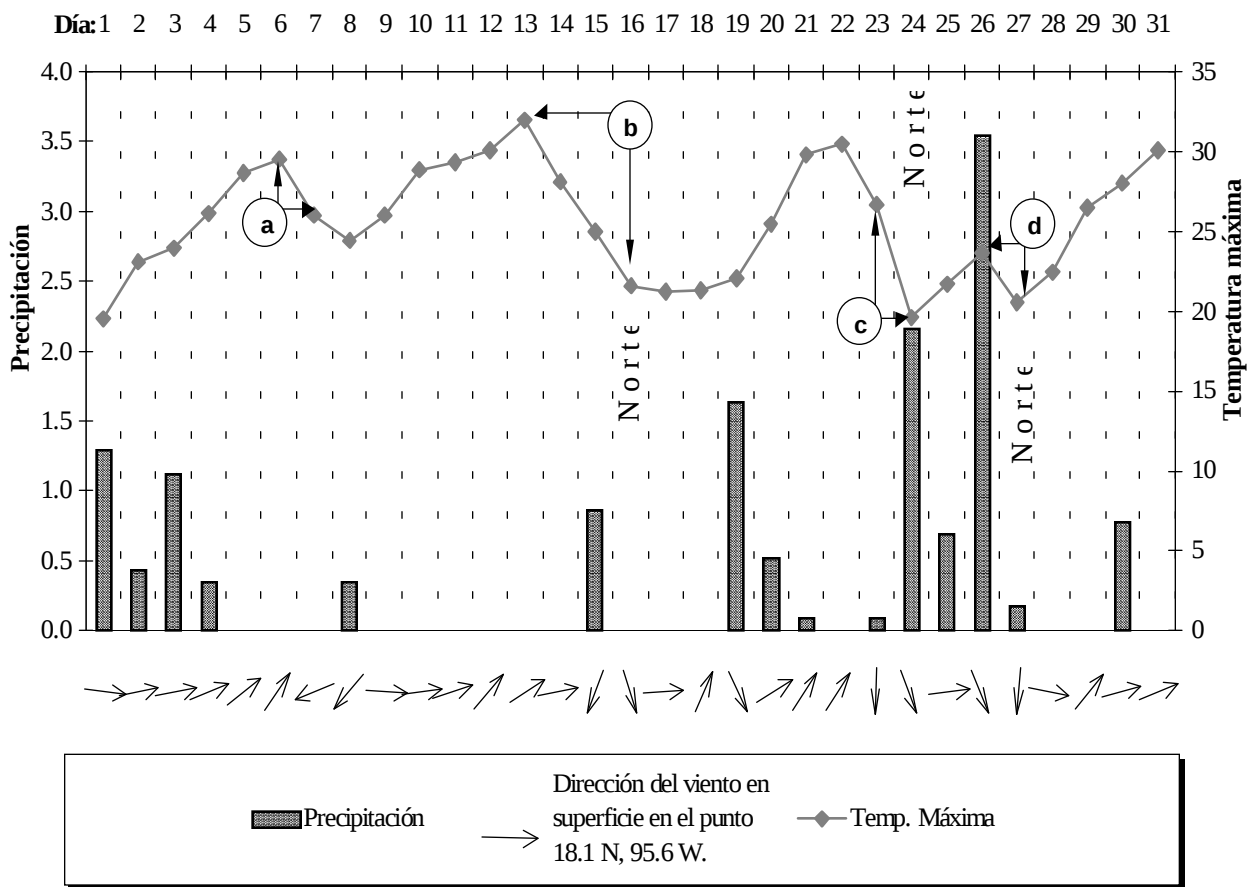


Fig. 2.8 Series de tiempo de temperatura máxima, precipitación y dirección del viento de superficie para enero 1998 en el punto 18.1N,95.6W (cerca de Veracruz, Ver.). Los círculos b, c y d corresponden a casos en que se satisfacen los criterios de ocurrencia de un Norte. El círculo a, no corresponde a un Norte.

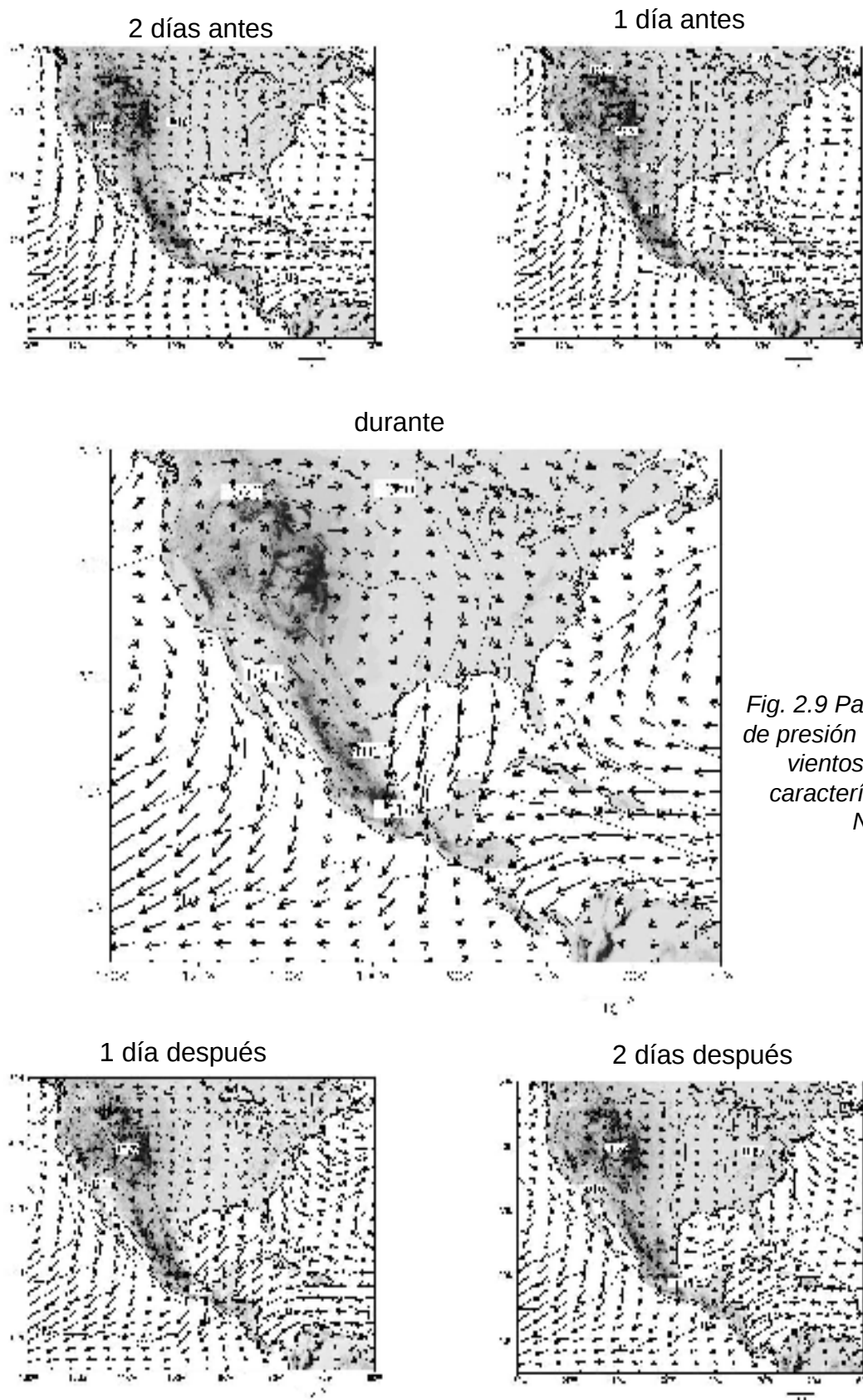
Así, se puede determinar en forma sistemática la ocurrencia de Nortes en el Golfo de México para muchos inviernos. Para comprobar que efectivamente se «captura» la circulación a escala sinóptica, característica de este fenómeno, se obtiene el patrón compuesto del Norte con los campos meteorológicos, que no es otra cosa que el promedio de todos los casos de Norte identificados (964) entre 1958 y 1998. La evolución de los Nortes se muestra en las condiciones meteorológicas dos días antes, un día antes, durante, un día después y dos días después del evento. Este tipo de patrones compuestos se elabora para campos de vientos de bajos niveles y presión en superficie (Fig. 2.9), así como para campos de precipitación (Fig. 2.10). De los mapas sinópticos compuestos se puede concluir que un Norte se caracteriza por los siguientes elementos sinópticos:

- i) Una alta presión que se desplaza del noroeste al sureste de los Estados Unidos, es decir, desde las Rocallosas hasta la península de Florida.
- ii) Circulaciones anticiclónicas cerca de la superficie en el centro de Estados Unidos, cuyos vientos de norte a sur en el Golfo de México se intensifican, impactando directamente la costa mexicana.
- iii) Los vientos de norte a sur, que son canalizados por el Istmo de Tehuantepec, salen al Pacífico, donde producen mezclado en las capas superficiales del océano (ver Cap. 3).
- iv) Descensos drásticos en la temperatura de superficie, asociados al paso de la masa de aire polar continental.
- v) Inestabilidad convectiva que frecuentemente se traduce en precipitaciones en los estados de la vertiente del Golfo de México.

La rapidez con que se desplaza la onda de latitudes medias que caracteriza al Norte, varía dependiendo de varios factores, entre ellos la longitud de la onda del sistema y la intensidad del flujo medio en que se mueve con un comportamiento casi-geostrófico (Holton, 1979). Su velocidad de fase determina el tiempo que dura el evento de Norte.

Los huecos en la orografía de la Sierra Madre, como en del Istmo de Tehuantepec o el de Papagayo, permiten que la señal del norte alcance el océano Pacífico, con fuertes vientos que mezclan sus aguas.





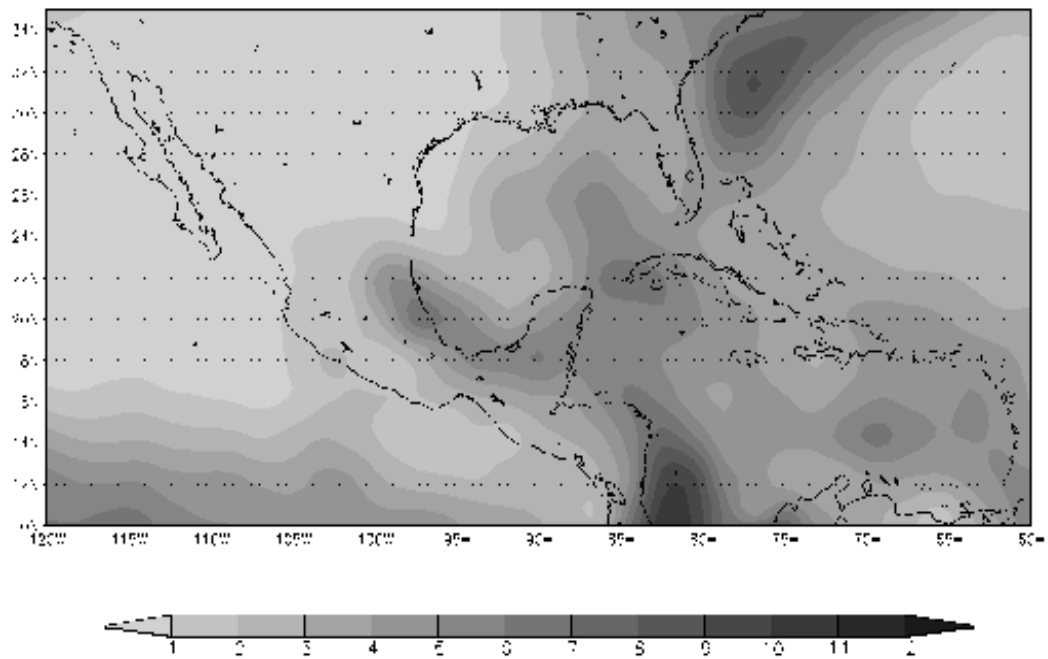


Fig. 2.10 Campo de precipitación (mm/día) media durante un evento de Norte en Veracruz, Ver.

Al comparar el número de Nortes identificados en los periodos octubre-mayo de los años 1980 a 1998, con las anomalías de temperatura superficial en la región Niño 3.4, se encuentra que en los años El Niño la actividad de Nortes tiende a aumentar, en comparación con años La Niña (Fig. 2.11). Este resultado está en concordancia con los cambios observados en la circulación media de Norteamérica, esto es, con los jets desplazados al sur en años El Niño. Sin embargo, al parecer el aumento de Nortes no necesariamente se refleja en un aumento de las precipitaciones en la región (Fig. 2.7). No existe una explicación única al por qué de esta disminución en las lluvias ante el aumento en el número de Nortes. Es probable que la mayor frecuencia de estos sistemas resulten en un paso más rápido de las lluvias y en menor duración de los periodos de precipitación. El aumento en el número de Nortes incrementa la entrada de aire frío a parte del país, resultando en inviernos más crudos (Fig. 2.6a).

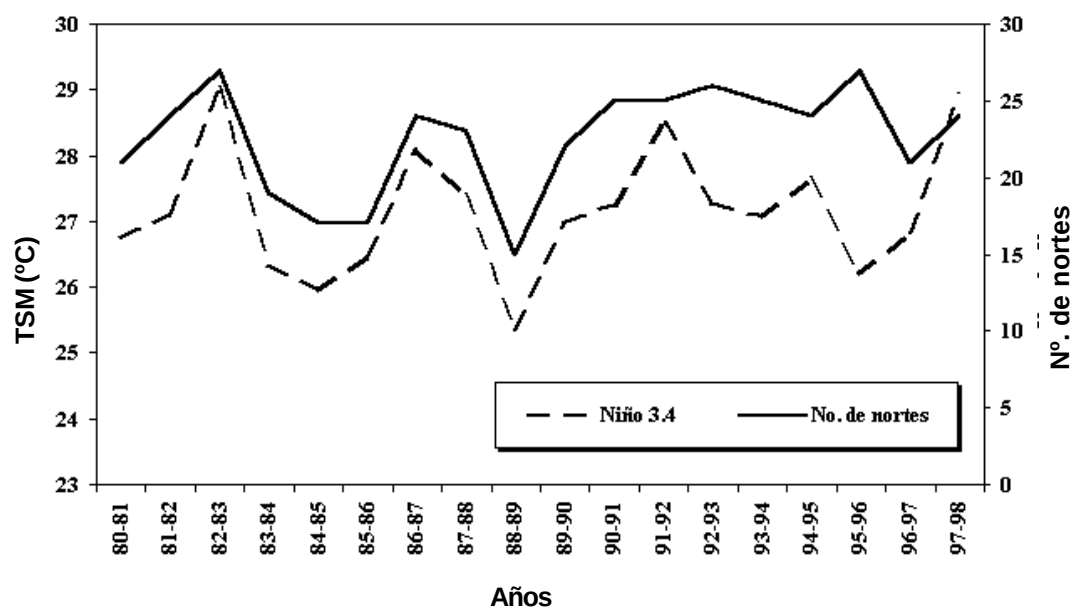


Fig. 2.11 Temperatura superficial del mar (°C) en la región Niño 3.4 y número de eventos de Norte de octubre a mayo para el periodo 1980 – 1998.

El que la actividad de Nortes esté relacionada con El Niño, da predictabilidad sobre la frecuencia de tiempo severo durante el invierno en los estados colindantes con el Golfo de México. La importancia socioeconómica que tiene el conocer la dinámica y comportamiento de estos sistemas es grande. En octubre de 1998, un Norte provocó la pérdida de vidas humanas en Xalapa, Veracruz, al caer árboles por los fuertes vientos y ocurrir accidentes de tránsito. Un pronóstico preciso y oportuno de la actividad de Nortes puede ser útil para prevenir a la población, pudiéndose preparar para evitar fallas en el sector eléctrico o de agua potable y aun en la planeación estratégica de las actividades pesqueras, dada la relación que guarda la dinámica de Nortes con el océano en el Golfo de Tehuantepec y por tanto, con la pesquería regional.

Sin embargo, se debe enfatizar que el sistema climático es no-lineal, esto es, no se puede esperar que lo que ocurre con el clima en México durante El Niño, sea exactamente opuesto a lo que ocurre durante La Niña, especialmente a nivel regional (Ambrizzi y Magaña, 1998). Por esta razón, es necesario considerar el uso de modelos dinámicos, además de relaciones estadísticas lineales, cuando se realiza un pronóstico de lluvias o de frecuencia de tiempo severo como los Nortes.

En resumen, los impactos de El Niño durante el invierno pueden describirse de manera general como lluvias y fríos anómalos en el norte de México debido a la mayor entrada de ondas de latitudes medias y frentes fríos, por causa de una alteración en la circulación invernal sobre Norteamérica (Fig. 2.12).

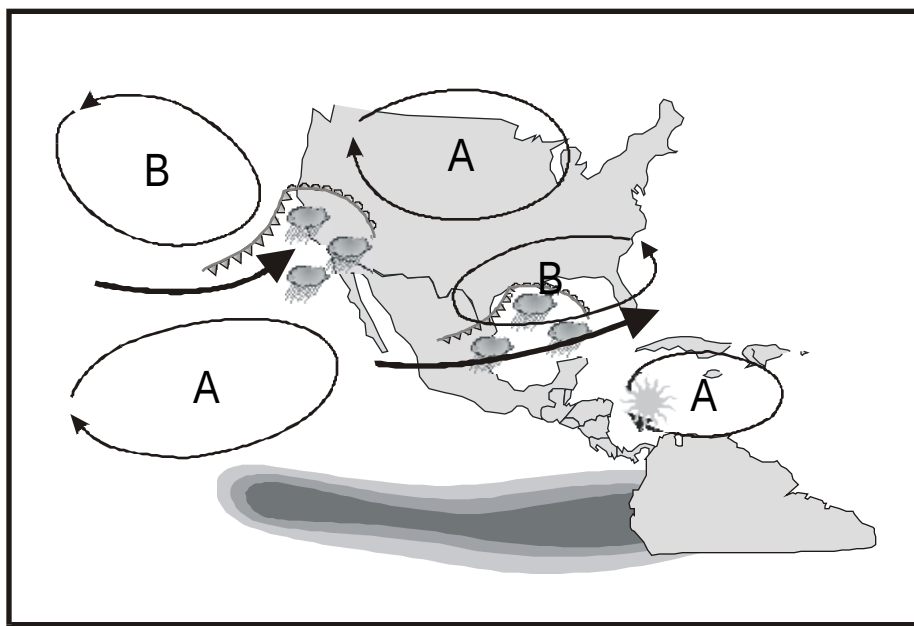


Fig. 2.12 Diagrama esquemático de los impactos de El Niño en México. A denota anomalías de circulación anticiclónica y B, anomalías de circulación ciclónica.

La señal de El Niño en verano

En México, durante el verano El Niño provoca que las lluvias en la mayor parte del país disminuyan (Fig. 2.13a), llegando con frecuencia a producir sequías. La constante aparición de El Niño en los noventa ha llevado a declarar zonas de desastre a gran parte de los estados del norte del país por la falta de lluvias (*La Jornada*, 25 de mayo de 1999). Los efectos de El Niño en materia ambiental, asociados a menores precipitaciones incluyen menos humedad en el suelo y frecuentemente, pérdidas de miles de hectáreas de bosques por incendios forestales (ver Cap. 4). En abril y mayo de 1998 se vivió uno de los peores desastres ecológicos de nuestro país, al ocurrir un gran número de incendios por la gran sequedad del terreno (Cedeño y Medina, 1999). Las pérdidas materiales fueron inmensas, superando incluso aquellas reportadas en 1983 (NOAA, 1994). Las perspectivas a futuro en materia de incendios, aun no son alentadoras (ver Cap. 6). Es por ello que los mayores esfuerzos en materia de diagnóstico y pronóstico del clima se centran en la temporada de primavera y verano.

Durante veranos La Niña, las lluvias en la mayor parte de México son cercanas a lo normal, pudiendo incluso ser anómalamente intensas (Fig. 2.13b). Varios son los factores que resultan en mayores lluvias, pero quizá el más importante sea la actividad de ondas del este y los huracanes en el Caribe y Golfo de México. Véase por ejemplo el cambio en la anomalía de las lluvias en los estados de Veracruz y Tamaulipas (Fig. 2.13). Como en el caso de invierno sin embargo, la anomalías en precipitación durante El Niño no son exactamente opuestas a las observadas durante La Niña, como sucede en Sinaloa y partes de Sonora. Tal condición es nuevamente reflejo del carácter no-lineal del clima, no sólo en México, sino en todo el mundo. Asimismo, debe recordarse que El Niño no es el único modulador del clima.

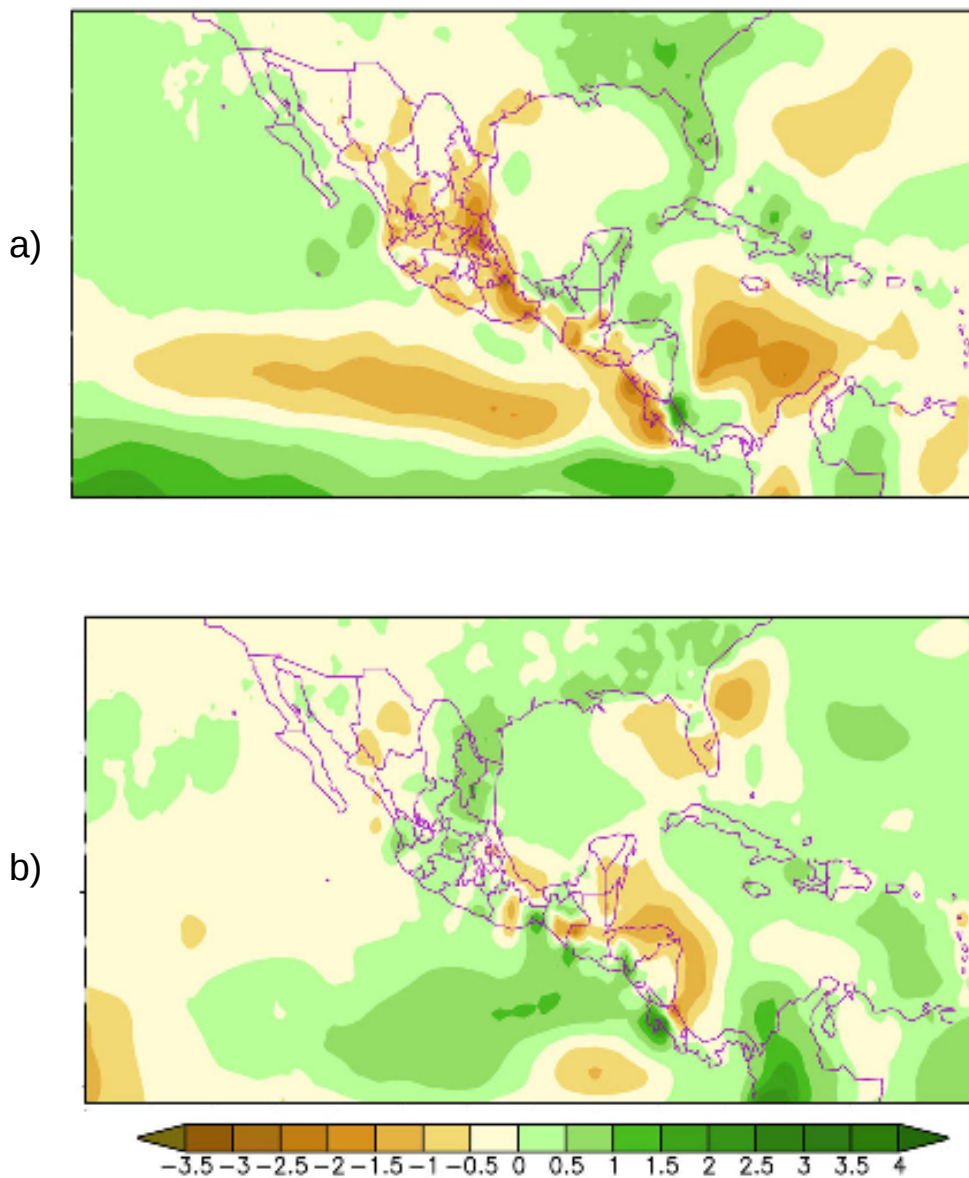


Figura 2.13 Patrón compuesto de anomalías de precipitación (mm/día) durante veranos de a) El Niño (1965, 1972, 1982, 1986, 1991, 1997) y b) La Niña (1964, 1970, 1973, 1975, 1988, 1998).

Varios son los procesos dinámicos que se combinan y que resultan en una disminución en la actividad convectiva sobre México durante veranos de Niño. Estos tienen que ver principalmente con cambios de los sistemas atmosféricos relacionados con la lluvia. En primer lugar, la Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZITC) del Pacífico del este, donde existe gran cantidad de nubes profundas (*cumulunimbus*), tiende a permanecer más cercana del ecuador (Waliser y Gautier 1993). Esto se debe a que la convergencia de humedad para las lluvias tiende a ser mayor en el Pacífico ecuatorial del este que frente a la costa oeste de México (Magaña y Quintanar 1997). En años normales, el contraste térmico entre la alberca de agua caliente en el Pacífico mexicano (ver Cap. 3) y la lengua de agua fría frente a las costas de Perú, resulta en una circulación directa del tipo Hadley, que parece acumular humedad frente a las costas de México. Al desaparecer este contraste térmico meridional durante El Niño, la convergencia permanece cerca de la región de agua anómalamente caliente frente a Sudamérica, por lo que los movimientos convectivos ascendentes más importantes de la estación ocurren lejos del territorio mexicano. El desplazamiento meridional de la ZITC resulta en menos actividad convectiva cerca de nuestro país y por lo tanto en menos lluvias.

La disminución en la densidad de nubes sobre México permite el aumento en la cantidad de radiación que llega a superficie con lo que se registran temperaturas por encima de lo normal en gran parte del territorio durante veranos El Niño. El contraste entre anomalías de temperatura de superficie durante veranos El Niño y La Niña tiene que ver en cierta medida con la cubierta nubosa en unos y otros periodos. Nuevamente, véase por ejemplo el caso del sur de Tamaulipas (Fig. 2.14a y b). Una disminución en la cantidad de humedad sobre el altiplano, puede resultar en mayor enfriamiento radiativo y heladas inesperadas sobre el centro de México (Magaña y Morales, 1998).

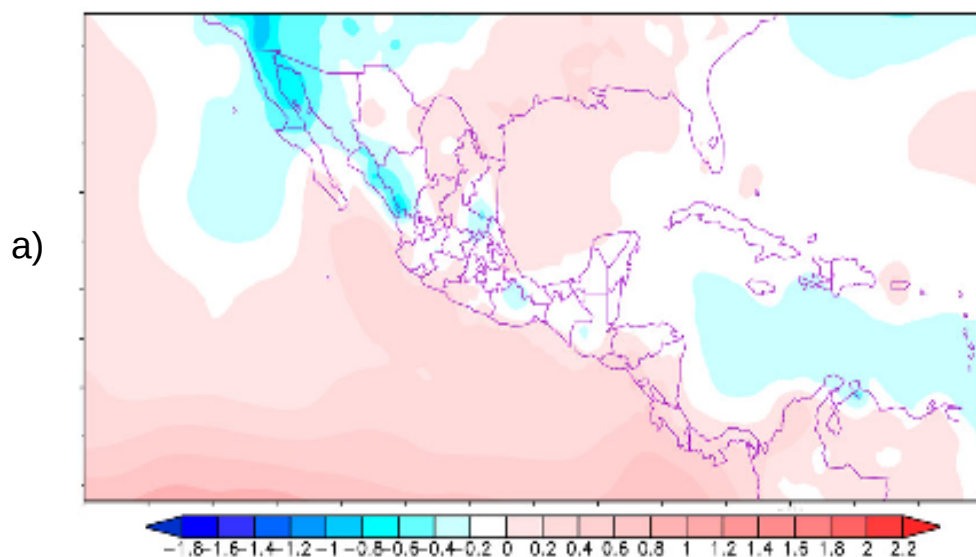


Fig. 2.14a Como en la Fig. 2.13, pero para anomalías de temperatura de superficie ($^{\circ}\text{C}$) en veranos a) El Niño y b) La Niña

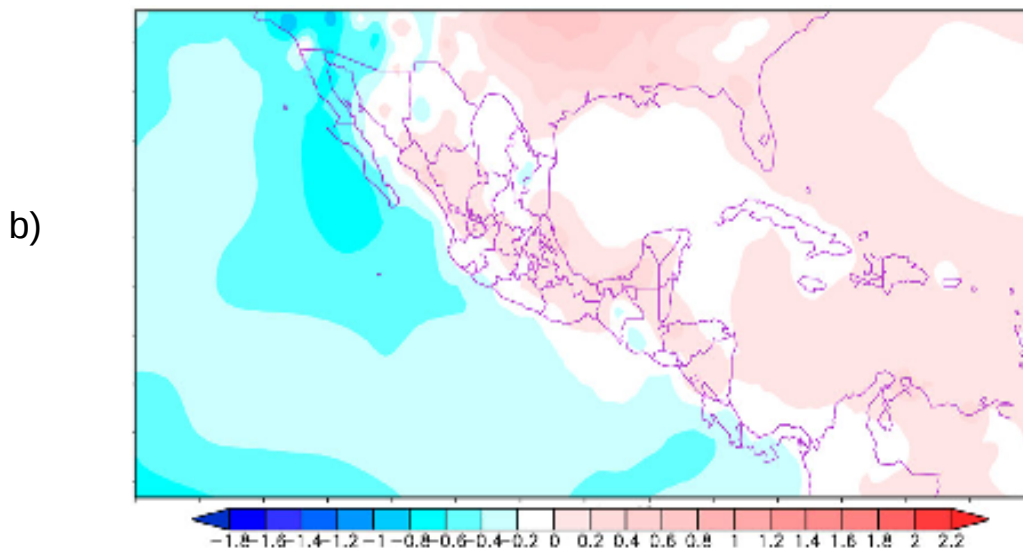


Fig. 2.14 Continuación.

Por otra parte, la actividad convectiva en la ZITC genera subsidencia (movimientos descendentes de aire) asociados a la circulación de tipo Hadley, los cuales inhiben el desarrollo de nubes convectivas profundas alrededor del trópico de Cáncer (Fig. 2.15).

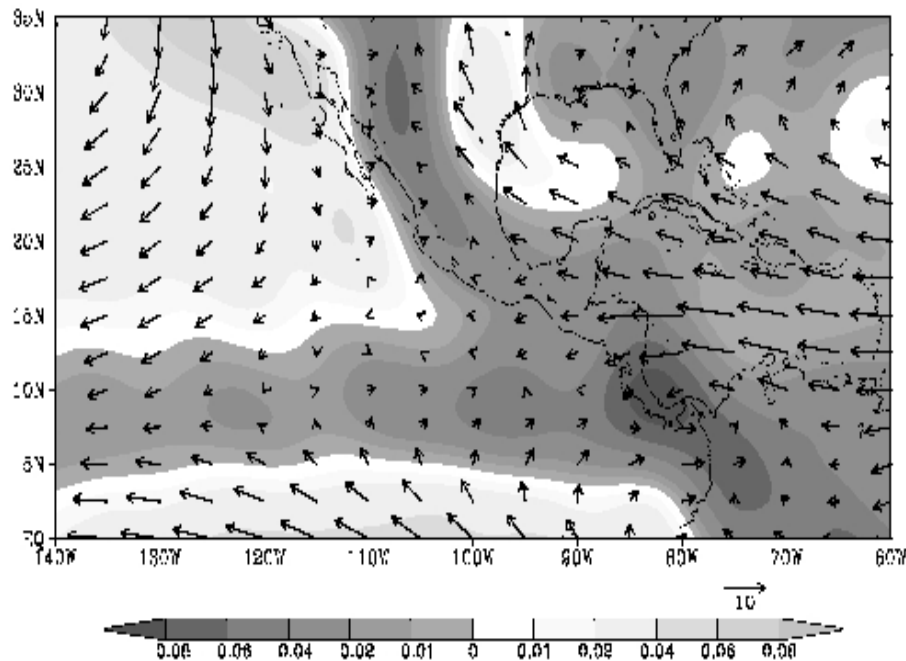


Fig. 2.15 Circulación (m/s) media a 925 HPa y velocidad vertical omega (Pa/s) a 700 Hpa durante verano. Sombreados oscuros corresponden a movimientos descendentes y sombreados claros a movimientos ascendentes.

Al parecer, con la ZITC más cerca del ecuador, la rama descendente de la celda de Hadley se refuerza en ciertas regiones del norte de México (Fig. 2.16a), provocando una disminución y debilitamiento de los procesos asociados al desarrollo de nubes profundas y de lluvia. Un efecto aproximadamente opuesto se registra durante veranos de La Niña (Fig. 2.16b).

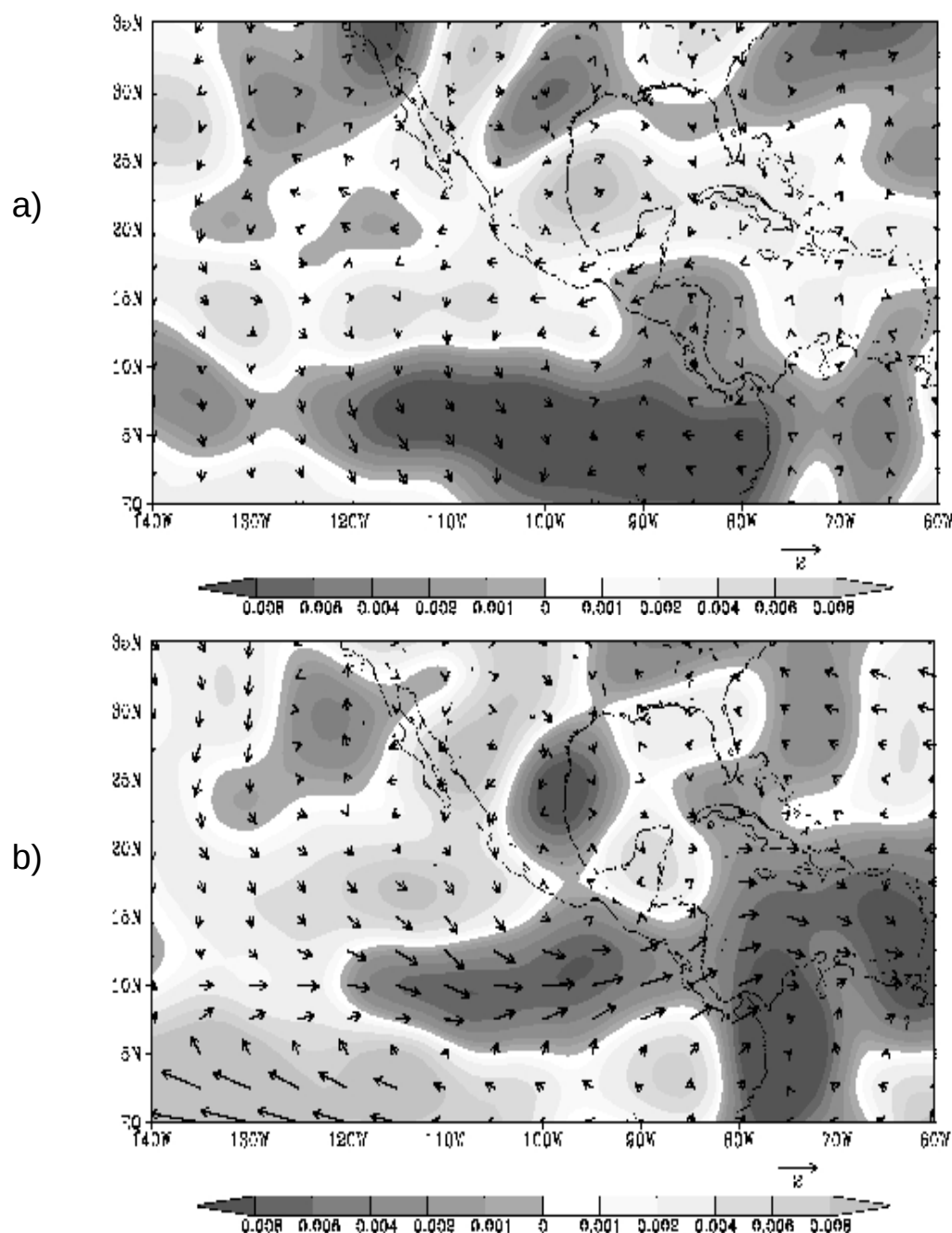


Fig. 2.16 Anomalías en la circulación (m/s) media a 925 HPa y en la velocidad vertical omega (Pa/s), a 700 Hpa, durante verano. Sombreados oscuros (claros) corresponden a movimientos anómalamente ascendentes (descendentes) a) durante El Niño, y b) durante La Niña.

Aun no es claro como determinar las regiones preferentes de la subsidencia asociadas a fuentes de actividad convectiva intensa, pero simulaciones numéricas sugieren que en las Américas tropicales, la subsidencia hacia el norte y hacia el este, es consecuencia de la actividad convectiva en la ZITC del Pacífico del este (Gandu y Silva Días 1998), por lo que la marcada disminución de las lluvias en el mar Caribe del este (Fig. 2.13a) resulta de una subsidencia anómala (Fig. 2.16a).

Un elemento adicional a considerar en veranos Niño es la intensificación de los vientos alisios sobre el Caribe y la región del Golfo de México (Fig. 2.16a). La ZITC como centro de forzamiento de calor convectivo y movimientos ascendentes, al norte del ecuador, provoca una respuesta en forma de onda de Rossby estacionaria de bajos niveles (Gill, 1982) detectable sobre la parte sur de México. Compárese por ejemplo años El Niño y La Niña sobre el Pacífico mexicano. Tal onda de Rossby estacionaria se traduce en alisios más intensos (débiles) durante veranos de Niño (Niña), que al interactuar con la orografía generan patrones de clima regional marcado (Fig. 2.13).

Los alisios intensos (débiles) resultan en más (menos) lluvias en la costa del Caribe centroamericano, mientras que producen un déficit (superávit) de precipitación en la costa del Pacífico (Magaña *et. al.*, 1999). En el sur de México, alisios más intensos pueden inhibir la entrada de humedad por las costas del Pacífico, debilitando la componente orográfica de la lluvia y con ello, la posibilidad de formación de nubes profundas y lluvias en la costa del Pacífico de México (Fig. 2.13a).

La intensificación de los alisios sobre México en años de Niño inhibe la entrada de humedad por las costas del Pacífico y debilita la componente orográfica de la lluvia, tan importante en la cantidad de precipitación en esa zona del país.



Una región de interés especial en cuanto a lluvias de verano, es la zona del monzón mexicano en el noroeste de México. Algunos estudios recientes (Higgins *et. al.*, 1999) concluyen que el monzón mexicano en la región de Sonora y Sinaloa, es débil durante veranos de Niño. Sin embargo, la señal en las lluvias en periodos de La Niña no está bien definida. El inicio del monzón en el noroeste mexicano, puede presentar adelantos o retrasos substanciales (~ 30 días), con respecto a la fecha de inicio de la temporada de lluvias (~ 17 de junio). Un inicio tardío en el monzón del noroeste mexicano generalmente significa una temporada de lluvias deficientes, lo cual parece ocurrir en años de Niño.

En años de Niña, las lluvias parecen estar alrededor o por encima de lo normal en gran parte de México, pero especialmente en el noreste del país (Fig. 2.13b). La respuesta de las lluvias a La Niña parecen casi opuestas a las observadas durante El Niño, aunque como se ha mencionado, los patrones de anomalías no son exactamente inversos (por ejemplo, en la región del monzón mexicano). Debe recordarse que además de El Niño, existen factores que influyen en las lluvias de verano en México como la temperatura de la superficie del mar tanto en el Pacífico mexicano (Magaña *et. al.*, 1999), como en el Caribe (Enfield y Mayer, 1996); la circulación media, y la humedad en el suelo (Sud *et. al.*, 1996).

Además, se debe tomar en cuenta como factor esencial para las lluvias de verano la actividad de huracanes (Jáuregui, 1989). La disminución de las lluvias en México durante años El Niño, principalmente en la región del noreste, está asociada con el decremento en el número de huracanes en el Caribe y Golfo de México (DeMaria y Kaplan, 1994). Esta relación entre El Niño y los huracanes del Atlántico es significativa. Por otro lado, no es claro que la ocurrencia de El Niño afecte el número de huracanes que se forman en el Pacífico mexicano.

Los huracanes

En verano, el país se ve afectado por huracanes, tanto en el Pacífico como en el Atlántico. Los huracanes se forman principalmente en regiones de aguas tropicales cálidas, donde los cambios de la intensidad del viento en la vertical son débiles (Emanuel, 1991). México se encuentra en medio de dos regiones ciclogénicas muy activas: el Pacífico tropical noreste y el Mar Caribe (Fig. 2.17).

Los huracanes constituyen un elemento esencial en la temporada de lluvias en México. La disminución de la actividad de estos meteoros en el Caribe y Golfo de México en años de Niño resulta en severas sequías en el noreste del país. Debemos por tanto considerar a los huracanes como nuestros «amigos».



En un análisis sobre la frecuencia de huracanes y el fenómeno El Niño, Mosiño y Morales (1988) encontraron que el número de huracanes en el Atlántico disminuye durante años El Niño, lo que provoca un déficit de lluvias en la parte central de México. Tal relación entre El Niño y el número de huracanes en el Atlántico fue originalmente propuesta por Gray (1984). Al parecer, El Niño no afecta el número de huracanes en el Pacífico nororiental.

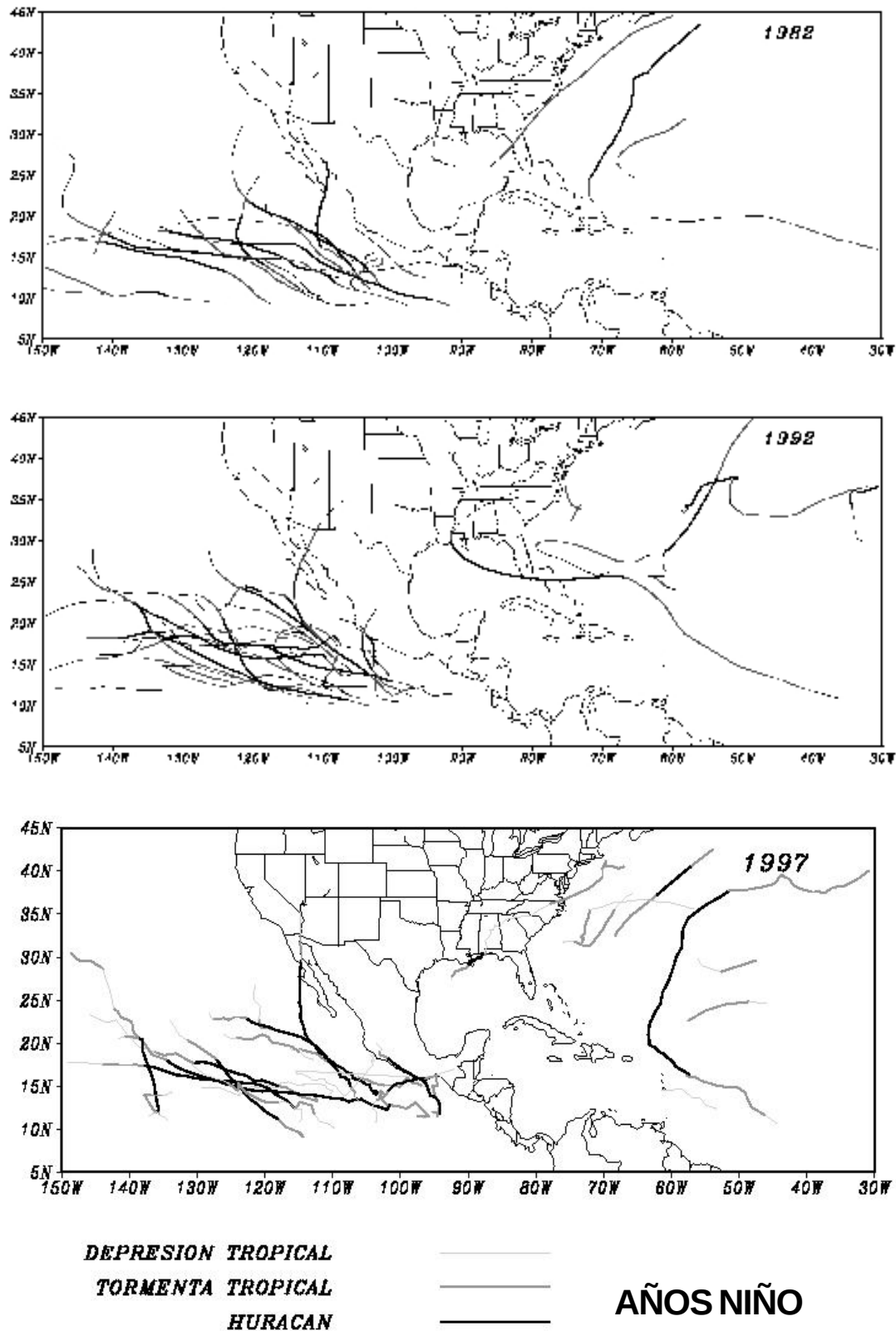


Fig. 2.17 Trayectorias e intensidades de huracanes observadas en el Pacífico y Atlántico durante veranos El Niño (1982,1992,1997) y veranos La Niña (1985, 1988,1998).

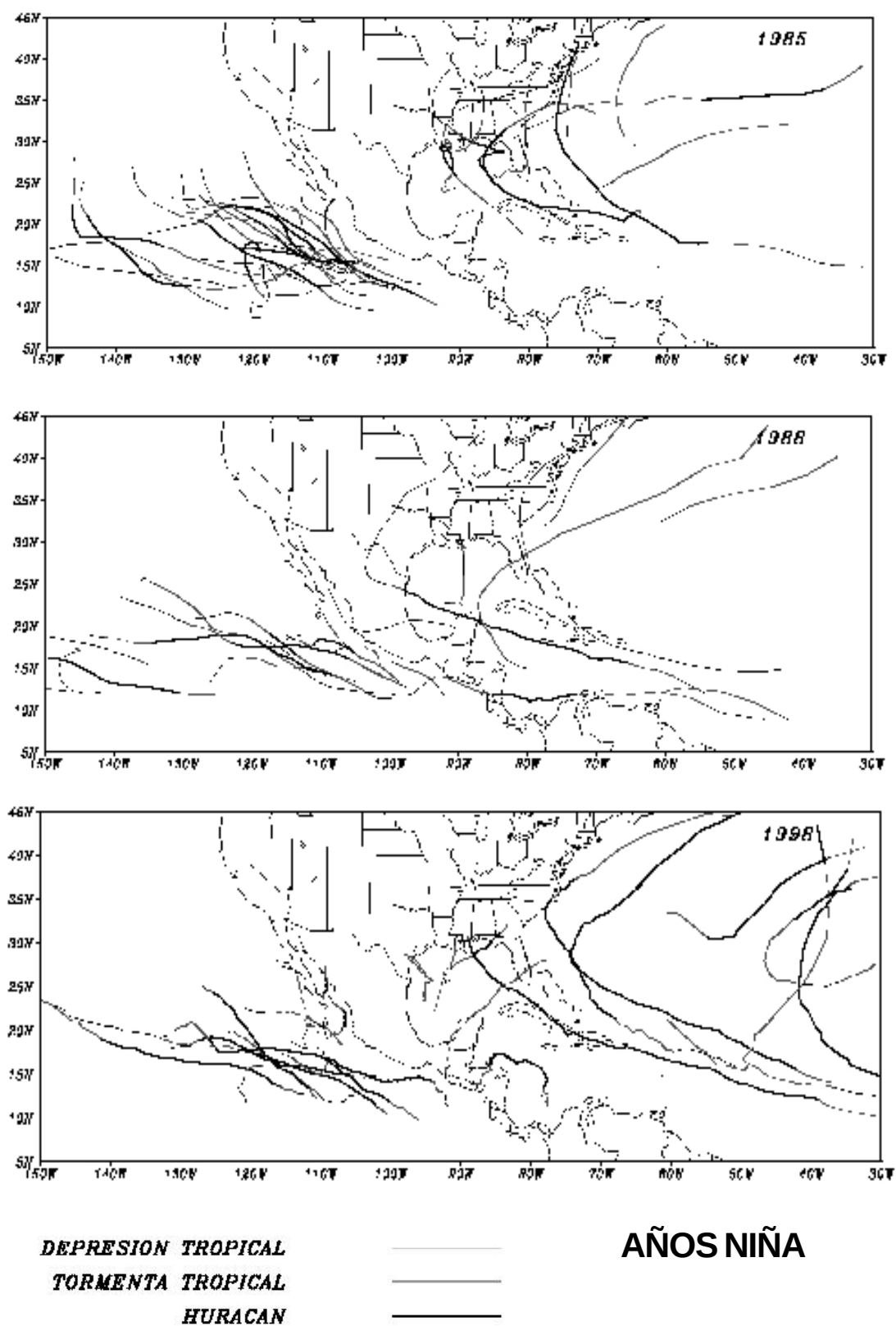
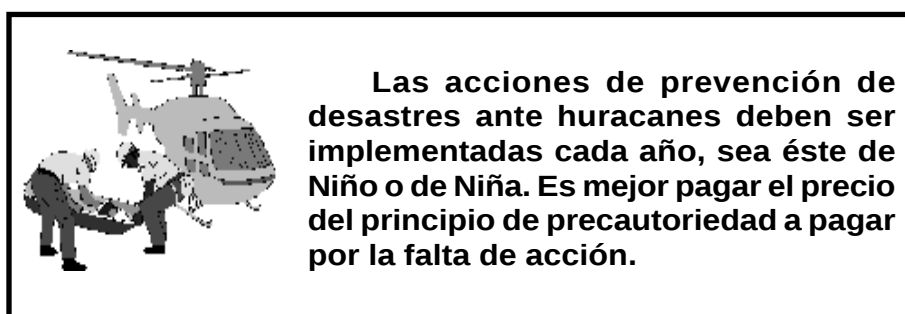


Fig. 2.17 Continuación

Hoy en día se sabe que la relación entre El Niño y el número de huracanes del Atlántico es estadísticamente significativa. Sin embargo, no es posible saber en qué lugar del Atlántico se formarían más huracanes en años La Niña, si tenderían a seguir trayectorias más cercanas o alejadas de las costas mexicanas o si serían fuertes o débiles, aún y cuando todo esto se intenta pronosticar (Gray et. al. 1984). Evidentemente, un mayor número de huracanes en el Atlántico aumenta las posibilidades de que estos toquen territorio mexicano aumentando las lluvias de verano. La disminución de huracanes en el Golfo de México, afecta principalmente las lluvias del norte de Veracruz, Tamaulipas y Coahuila. Así sucedió durante el verano de 1997, debido a la formación de un intenso fenómeno de El Niño (Fig. 1.4). Son tan importantes los huracanes en las lluvias del noreste, que un sólo huracán puede significar el fin de una sequía, como ocurrió en Texas en 1998 con el huracán Charley, que resultó en alrededor de 450 mm de lluvia en la región (WMO 1999). De manera similar, si bien el huracán Gilberto en 1988 causó graves daños en el norte del país, sus precipitaciones aumentaron sustancialmente la disponibilidad de agua en una región, donde se carece de tal elemento. En este sentido, debe también pensarse en la importancia que tienen los huracanes para nuestro país como “proveedores de agua”.

Como se mencionó, existen dudas de que haya relación entre número de huracanes en el Pacífico y El Niño. Al parecer, durante veranos en que la anomalía de agua caliente aparece en el Pacífico del este, la dispersión en la génesis y trayectorias de huracanes aumenta, pudiendo incluso extenderse hacia regiones del Pacífico central (Fig. 2.17). Sin embargo, la anomalía de agua caliente en años de El Niño alcanza las costas mexicanas, hace pensar que la intensidad de los huracanes en esta región aumente, como parece haber ocurrido con el huracán Paulina. Lo que no se puede afirmar es que la trayectoria seguida por éste huracán a lo largo de Oaxaca y Guerrero se debió a El Niño o que sea algo anómalo. Durante cada verano existe la posibilidad de huracanes entrando por las costas del Pacífico, razón por la que los planes de emergencia ante la presencia de huracanes, deben ser una constante en las ciudades y poblados de las costas mexicanas.



Con el fin de categorizar la intensidad de los huracanes, se ha elaborado una escala denominada de Saffir-Simpson (Tabla 2.1), en términos de la intensidad de la depresión en el centro del huracán y de los vientos máximos, los cuales son parcialmente responsables de los daños que ocasionan estos hidrometeoros.

Tabla 2.1 Categorías de escalas de ciclones de Saffir Simpson.

Tipo	Categoría	Presión (mb)	Viento	
			(m/s)	(km/hr)
Depresión	DT	-----	<17	<62
Tormenta Tropical	TT	-----	17-32	62-117
Huracán	1	>980	33-42	118-152
Huracán	2	965-980	43-48	153-176
Huracán	3	945-965	49-57	177-208
Huracán	4	920-945	58-68	209-248
Huracán	5	<920	>68	>248

Desafortunadamente no existe una escala que indique cantidades de precipitación en relación a la intensidad del huracán, aun cuando esta sería de más importancia para México, pues los mayores daños se asocian a los escurrimientos de las lluvias. Nuevamente, el caso de Paulina (octubre 1997) muestra que las fuertes precipitaciones y los escurrimientos causan muchos más daños a la población que los intensos vientos. Los daños por los escurrimientos ante fuertes precipitaciones parece ser común en México y Centroamérica, ante lo cual cabe preguntarse si en alguna medida no estamos pagando el precio de la gran deforestación de nuestro territorio.

Los ciclones tropicales o huracanes se desarrollan sobre océanos con temperatura superficial de al menos 26.5°C. En el huracán se producen movimientos ascendentes de hasta 10 m/s. La ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes muestra gran variabilidad interanual. Un análisis de la ocurrencia de los ciclones tropicales para cada año del periodo 1963-1993 (DeMaria y Kaplan, 1994; Whitney y Hobgood, 1997), permite obtener algunas conclusiones sobre la variabilidad de los huracanes que afectan a México, Centroamérica y el Caribe en años El Niño y No-Niño. La información sobre posición geográfica (latitud-longitud) o intensidad máxima alcanzada resulta de gran interés para entender algunas variaciones de las lluvias.

En las últimas décadas (1963-1993) existe una tendencia a un mayor número de huracanes intensos en el Pacífico noreste (Fig. 2.18) (Whitney y Hobgood, 1997). Tal tendencia parece coincidir con ciertas predicciones que establecen que en una atmósfera más caliente, como aquella que se tendría bajo el calentamiento global, los huracanes serían más intensos.

Durante años El Niño y No-Niño, uno de los diagnósticos más interesantes es sin duda, la marcada diferencia entre el número de sistemas que se forman en el Atlántico (Tabla 2.2), principalmente por el potencial de predicibilidad asociado.

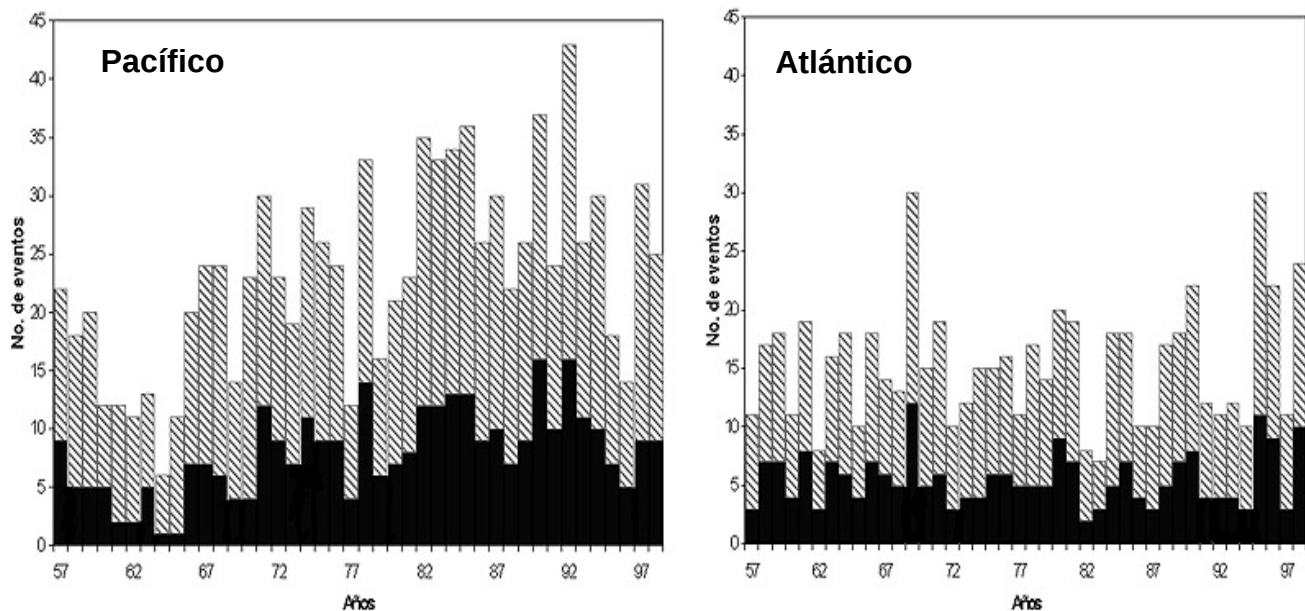


Fig. 2.18 Ocurrencia de huracanes (negro) y tormentas tropicales (achurado) en el Pacífico y en el Atlántico.

Las otras relaciones, aunque menos significativas, también permiten analizar la actividad ciclónica durante cada uno de los periodos. Por ejemplo, en años Niño, los ciclones tropicales (tormentas y huracanes) en el Pacífico tienden a ser más intensos, aunque en promedio, están más alejados de las costas mexicanas. Este resultado pareciera un poco contradictorio cuando se piensa en el caso del huracán Paulina en octubre de 1997, que entró por Oaxaca y Guerrero, afectando gravemente a la población. Ante eso, sólo puede decirse que el que haya sido año Niño, no fue relevante para que el huracán entrara a tierra. Quizá sí tuvo importancia para que alcanzara intensidad clase 5.

Existe una relación empírica entre temperatura de la superficie del mar y la máxima intensidad que un huracán puede alcanzar. No se trata de una relación lineal entre temperatura de superficie del mar e intensidad de los vientos, sino de un límite a la intensidad del sistema ciclónico. A mayor temperatura de superficie del mar, es mayor la intensidad que, potencialmente, los vientos pueden alcanzar (DeMaria y Kaplan 1994). Así, la presencia de aguas más cálidas en el Pacífico Mexicano durante años Niño, permite que la máxima intensidad de los huracanes puedan alcanzar aumente, pudiendo los vientos medios ser de 68 m/s o más. Por lo anterior, la intensidad de Paulina pudo verse modulada por la presencia de aguas anómalamente calientes en el Pacífico de México en 1997.

Tabla 2.1 Estadística de huracanes en años Niño y No Niña en el Pacífico nororiental y el Atlántico
(tomadas de Whitney y Hobgood (1977) y de De Maria y Kaplan (1994))

Factor	Nº de años	Nº promedio tormentas por año	Latitud promedio (Norte)	Latitud promedio (Oeste)	Intensidad promedio máxima (m/s)	Océano
El Niño	7	5.4	30.8	65.3	31.4	Atlántico
No-El Niño	24	9.1	26.8	66.6	32.9	Atlántico
El Niño	7	15.1	16.2	116.2	32.4	Pacífico
No-El Niño	24	15.0	17.0	114.8	31.4	Pacífico

Adicionalmente, se ha encontrado una diferencia estadísticamente significativa en lo referente a la duración de las perturbaciones tropicales en el Pacífico nororiental. El número de perturbaciones tropicales con duración mayor a los trece días aumenta en años El Niño. Esto nuevamente parece estar relacionado con la energía disponible que tienen las aguas anómalamente calientes del Pacífico del este en años El Niño (ver Cap. 3).

Las estadísticas de la Tabla 2.2, muestran que para el Atlántico, las tormentas tropicales y huracanes son (significativamente) más comunes en años No-Niño, que en años El Niño. Contrario a lo que ocurre en el Pacífico, en años No-Niño los ciclones tropicales en el Atlántico son en promedio más intensos y cercanos a México. Tal relación lleva a pensar que en años de Niña, se debe estar mejor preparado ante los huracanes del Atlántico (Fig. 2.17).

Para analizar dinámicamente las condiciones que pueden afectar la ciclogénesis y la evolución de los huracanes en años El Niño y La Niña, se pueden considerar algunos elementos meteorológicos que influyen en la formación de ciclones tropicales como son:

- i) Las anomalías en temperatura superficial del mar.
- ii) La cizalladura del viento entre los niveles bajos y superiores de la tropósfera (850 y 200 mb).
- iii) El contenido de humedad en la atmósfera.

Para el análisis de estas variables se eligieron dos dominios de referencia: uno en el Caribe (85W-60W, 10N-20N) y otro en el Pacífico nororiental (120W-95W, 10N-20N).

Analizando valores medios mensuales para el verano se encontró que:

En el Caribe: La temperatura superficial del mar alcanza un máximo durante los meses de agosto a octubre, época en la que se registra la máxima actividad de tormentas tropicales. En años de Niño, las temperaturas son ligeramente menores ($\sim 0.5^{\circ}\text{C}$) a las alcanzadas en años Niña. Quizá el cambio más substancial, y al que se le atribuye la disminución en el número de tormentas tropicales que se forman en el Caribe en veranos Niño, es el de la cizalladura (gradiente vertical) del viento. Durante El Niño, la cizalladura del viento en la región del Caribe aumenta, debido a la intensificación de los alisios (Fig. 2.16), particularmente del *jet* de bajos niveles (Amador y Magaña 1999). Este aumento de la cizalla dificulta el desarrollo vertical de las nubes profundas, de las que se compone un huracán. En cuanto a la humedad disponible, el agua precipitable en la región muestra un ligero aumento durante años de Niña, con respecto de años de Niño. La combinación de estos tres factores resulta en condiciones más favorables para la ciclogénesis en años Niña, que en años Niño.

En el Pacífico nororiental: Las diferencias en la cizalla del viento no parecen ser tan significativas. De cualquier forma, la cizalla es débil en esta región, y menos importante que en el Caribe. Los cambios más marcados entre años Niño y Niña se dan en la temperatura superficial del mar, siendo más calientes ($\sim 0.5^{\circ}\text{C}$) durante veranos Niño. Tal aumento en la temperatura permite que en principio, la intensidad de los huracanes pueda ser mayor. No se aprecian cambios apreciables en la cantidad de humedad (agua precipitable) en la región (Fig. 2.19).



Un aumento en la temperatura de mar, la disminución de la cizalla en el viento y una mayor humedad observadas en años Niña, son los elementos que resultan en más huracanes en el Caribe y Golfo de México.

Algunos autores han sugerido que la fase de la oscilación casi bienal en la estratósfera es decir, la dirección del flujo medio a 50 km aproximadamente, es un elemento modulador del número e intensidad de los huracanes que se forman tanto en el Pacífico como en el Atlántico (Gray, 1984). Este argumento sin embargo, sólo se incluye en algunos modelos estadísticos de predicción, al no ser claro el efecto dinámico que tal fenómeno estratosférico tiene sobre el desarrollo o intensidad de los huracanes.

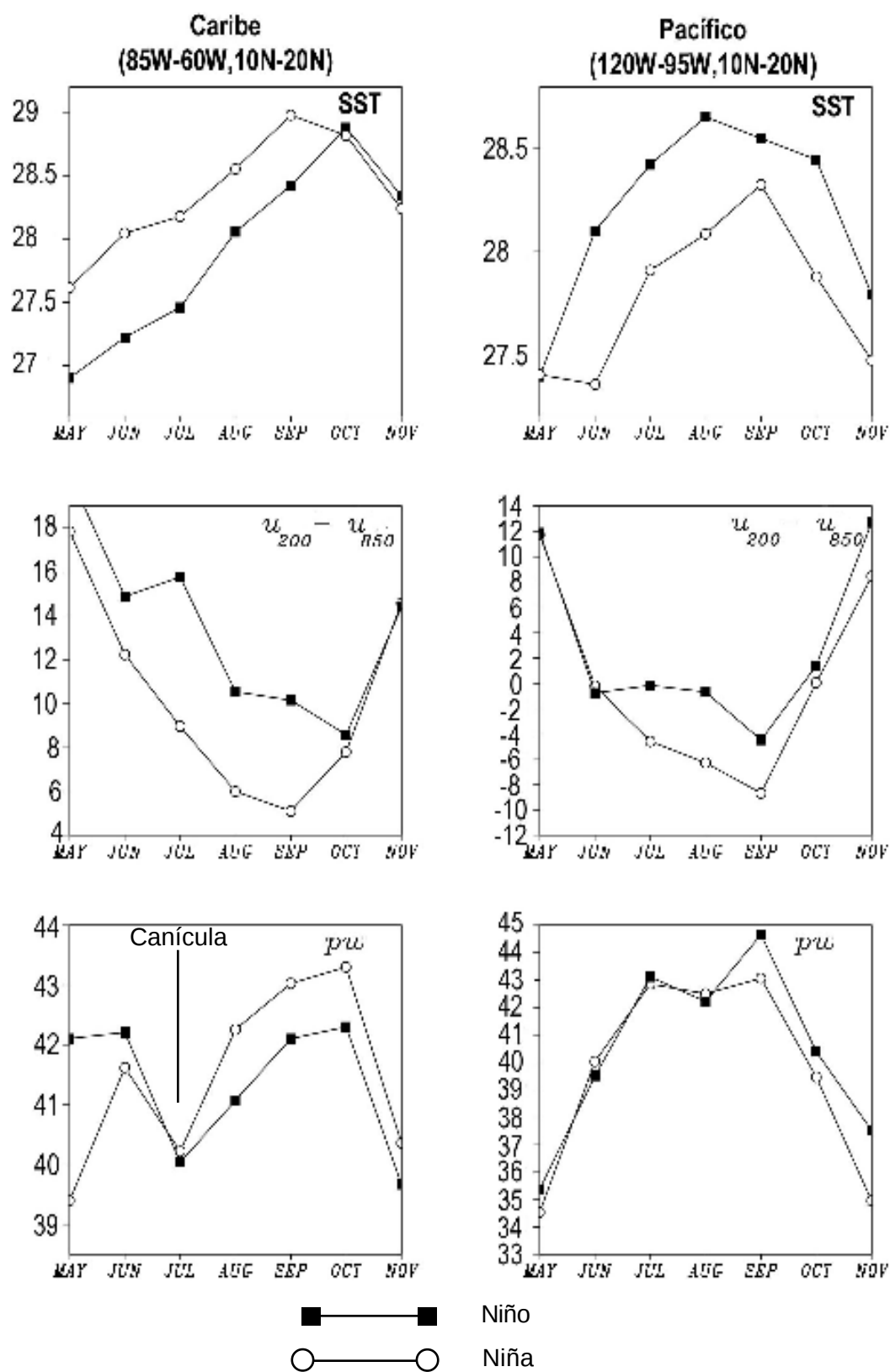


Fig. 2.19 Valores de temperatura de la superficie del mar ($^{\circ}\text{C}$), cizalladura del viento (m/s) y agua precipitable (kg/m^2) en a) el Caribe y b) el Pacífico, durante veranos El Niño y La Niña.

La Canícula

Un entendimiento más completo de la dinámica de las lluvias de verano debe incluir efectos como el de la llamada canícula o sequía intraestival, y su relación con el fenómeno de El Niño. La sequía intraestival corresponde a una disminución en las lluvias durante julio y agosto, y no a una sequía (Magaña et al 1999). Aunque se ha tratado de encontrar una relación entre la canícula y el fenómeno El Niño, no se tiene una respuesta definitiva, pues la dinámica de la canícula parece estar más relacionada con la alberca de agua caliente frente a las costas del Pacífico mexicano que con la dinámica del Pacífico del este ecuatorial.

Algunos resultados sugieren que en años No-Niño, en ciertas regiones se tiene una canícula marcada. Sin embargo, en ocasiones se presentan años El Niño que también muestran indicios de canícula, aunque con una disminución generalizada de las lluvias. Como ejemplo de las variaciones que la sequía intraestival o canícula experimenta año con año, se muestra la distribución de la razón de precipitación para dos regiones (Fig. 2.20), una en Centroamérica (12.5N,87.5W) y otra en el sur de México (17.5N, 97.5W). Al parecer, años El Niño y años La Niña presentan la señal de la canícula en mayor o menor grado.

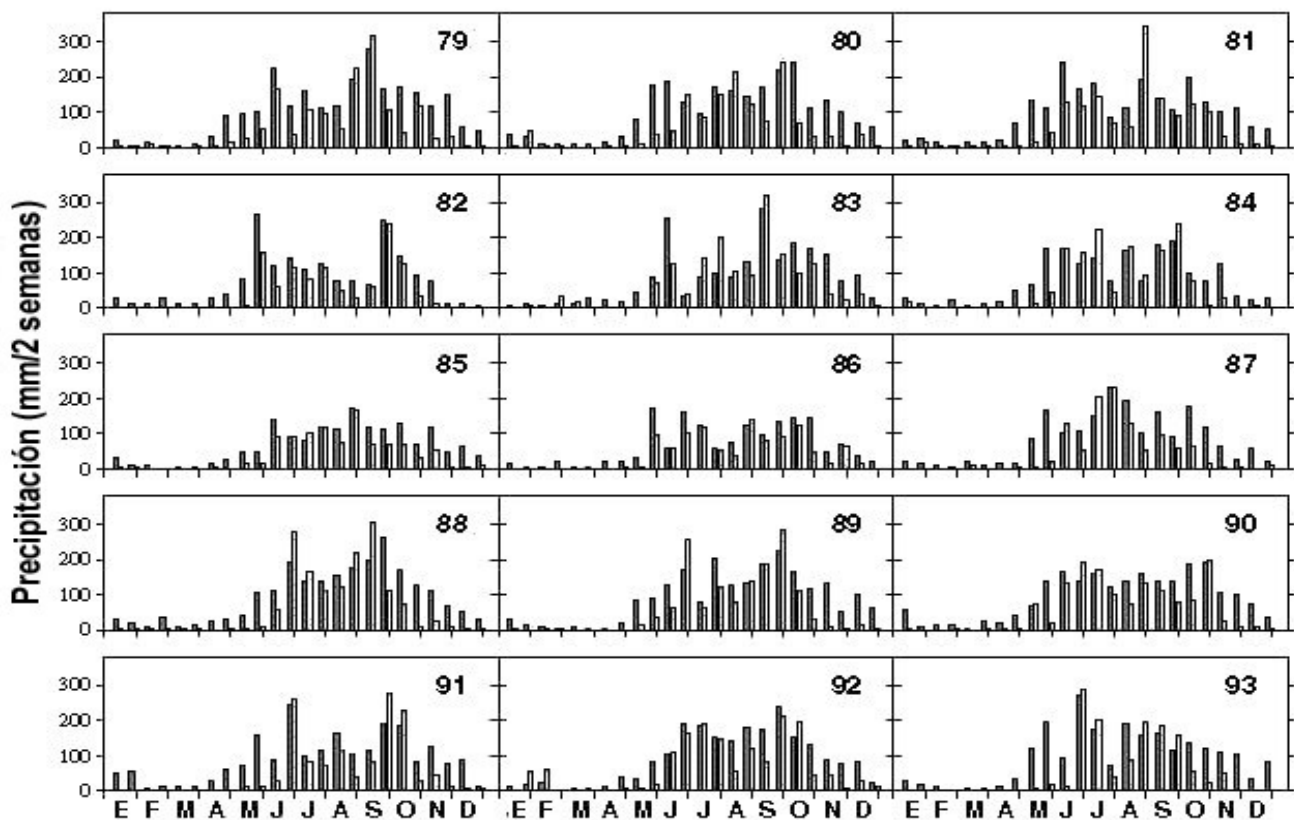


Fig. 2.20 Histogramas de precipitación quincenal en subdominios ($5^{\circ} \times 5^{\circ}$) centrados en el sur de México (17.5N, 97.5W) (gris claro) y Centroamérica (12.5N,87.5W) (gris oscuro). (tomado de Magaña, et al. 1999)

En resumen, la señal de El Niño en verano sobre México se puede presentar como disminución de las lluvias en la mayor parte del país debido a (Fig. 2.21):

- i) Permanencia de la Zona InterTropical de Convergencia (ZITC) cerca del ecuador geográfico.
- ii) Disminución del número de huracanes en el Golfo de México y el Caribe
- iii) Incremento de la subsidencia en el norte de México.
- iv) Menor humedad en la atmósfera de México por disminución de flujo del oeste.



Fig. 2.21 Diagrama de los impactos de El Niño en el clima de verano en México

Hidrología

Las sequías continúan ocurriendo sobre muchas partes del mundo con diferentes grados de duración y severidad. En su mayor parte, las sequías están asociadas a variaciones en la circulación global del sistema océano-atmósfera, como en eventos El Niño. Indonesia, el noreste de Brasil, África del Sur o Australia, son sólo algunos ejemplos de regiones donde El Niño provoca graves sequías. México también es frecuentemente afectado por sequías.

En el periodo 1982-83 se produjo un evento El Niño muy intenso que provocó sequías, incendios forestales y pérdidas en la agricultura. Durante el periodo 1991-1995, se estableció un periodo El Niño, que si bien no fue tan fuerte como el antes mencionado, resultó en una de las sequías más prolongadas en el norte de México. Tal fenómeno produjo problemas internos y externos por el uso del agua en las presas. Las noticias de los reclamos de agua en la Presa de "El Cuchillo" entre Tamaulipas y Nuevo León, o los conflictos por aguas en el Río Bravo con los Estados Unidos, fueron tema de análisis durante varios días. Otros años dramáticos para México, en materia de sequía y de incendios forestales, fueron 1997 y 1998, asociado al evento El Niño 1997-98, considerado por algunos como el más intenso del siglo.



Fig. 2.22 Presas de mayor capacidad en México

Ante la grave sequía del verano de 1997 y el número record de incendios en la primavera de 1998, en 1999 se destinaron cuantiosos recursos financieros para mitigar los efectos negativos de la sequía acumulada. Casi doce estados del país, principalmente en el norte, fueron apoyados con recursos federales para hacer frente a la falta de agua, y así apoyar actividades agropecuarias. Los casos descritos muestran la fuerte relación entre ocurrencia de eventos Niño y la disponibilidad de agua en México.

Las lluvias de invierno son de gran importancia para el norte de México. Durante inviernos de La Niña, se tiene una disminución de las precipitaciones. Sin embargo, inviernos de Niño resultan en general en mayores precipitaciones, permitiendo que en principio, se pueda disponer de más agua en las presas de la región norte (Fig. 2.22). Así por ejemplo, en la región de la presa Huities, entre Sonora y Sinaloa, las lluvias de diciembre y el caudal del río parecen reflejar la ocurrencia de Niño o Niña (Fig. 2.23). Aquí se observa que las mayores precipitaciones ocurren en años de Niño, pero ésta no es una condición que siempre se cumple. No todos los Niños producen la misma respuesta en las lluvias y consecuentemente en los escurrimientos, pudiéndose tener un evento Niño con lluvias invernales escasas (Fig. 2.7). En el mejor de los casos, el Niño explica sólo un 25% de la variabilidad de la precipitación invernal regional. Es por ello que otros factores deben ser considerados para tener pronósticos estacionales de lluvia más precisos.

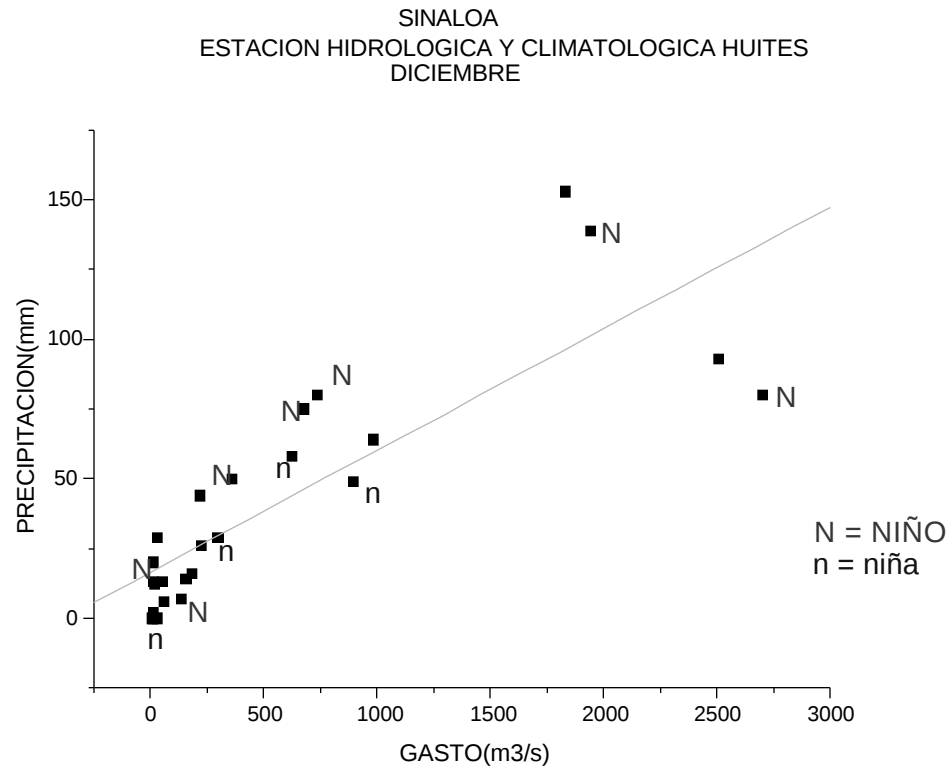


Fig. 2.23 Relación entre precipitación (mm) y caudal del río(m^3/s), en la estación hidrológica Huites para diciembre.

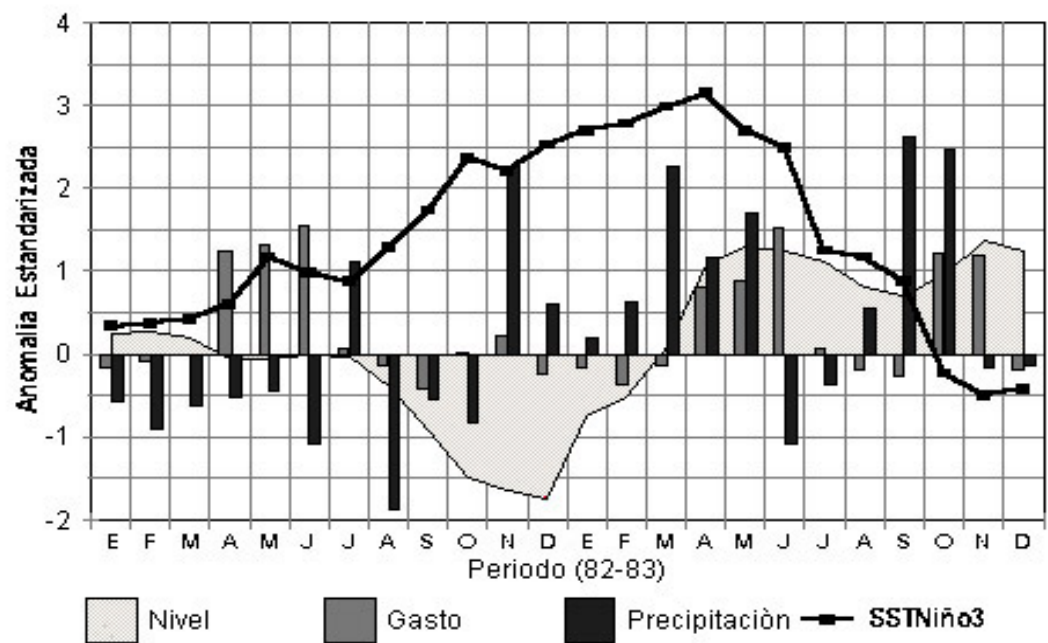


Fig. 2.24. Histogramas de anomalías estandarizadas de condiciones hidrológicas en la presa Plutarco Elías Calles, Sonora, durante el periodo (El Niño) 1982-1983.

El conocimiento de ocurrencia de El Niño en ciertos años puede permitir disponer de información para planear parte del manejo del agua. Por ejemplo, hasta antes del invierno 1982-83, el nivel de la presa Plutarco Elías Calles, en Sonora, era bajo (Fig. 2.24), pero las lluvias de invierno asociadas a El Niño permitieron una recuperación del nivel del caudal del río que alimenta la presa.

Los periodos más críticos en términos de déficit en precipitación ocurren durante veranos El Niño. En la época de lluvias, los descensos en la cantidad de lluvia son notables y por tanto, disminuyen los escurrimientos y los niveles de agua en presas y ríos. Una muestra clara de los impactos de El Niño en los escurrimientos se tiene al analizar la correlación que existe con las anomalías de la temperatura superficial del mar, en la llamada región Niño 3, y los escurrimientos en puntos cercanos a las presas del país (Fig. 2. 22).

Considerando las correlaciones, se puede ver que cuando se presentan condiciones de Niño en verano, los escurrimientos en la mayor parte de México disminuyen (Fig. 2.25a). Sólo en dos puntos muestreados, Tijuana y Campeche, la relación parece invertirse. En el caso de Tijuana, esta relación no es tan relevante, por ser mínimas las lluvias en la época de verano. Los bajos valores de correlación en otros sitios, simplemente muestran que El Niño no es un factor tan importante en las lluvias y los escurrimientos.

El caso más interesante es el de la región del Pacífico mexicano en donde los escurrimientos decrecen notablemente bajo condiciones El Niño en verano. Tal relación es mucho más clara cuando sólo se consideran eventos fuertes El Niño.

A nivel regional, la zona que parece más afectada es la del Pacífico Sur, cuyos escurrimientos están negativamente correlacionados con la ocurrencia de El Niño (Fig. 2.26). Este resultado es sólo consecuencia de la disminución en la precipitación que ocurre durante estos periodos (Fig. 2.12). Al separar los análisis de correlaciones en dos periodos de verano, junio-julio y agosto-septiembre se encuentra que El Niño afecta principalmente los escurrimientos de la segunda parte del verano, particularmente en la región del Pacífico Sur (Fig. 2.25b). Esto se debe a que conforme avanza el año, el fenómeno El Niño se intensifica.

Una de las regiones más afectadas en términos de disponibilidad de agua es la región del Pacífico norte, en donde años El Niño parecen resultar en un monzón débil y escurrimientos por debajo de lo normal. Aquí resulta clave un manejo adecuado de los recursos hidráulicos pues de otra manera, años El Niño intenso, aunque con posibles lluvias invernales importantes, continuarán provocando falta de agua y graves pérdidas en agricultura y ganadería durante el verano.

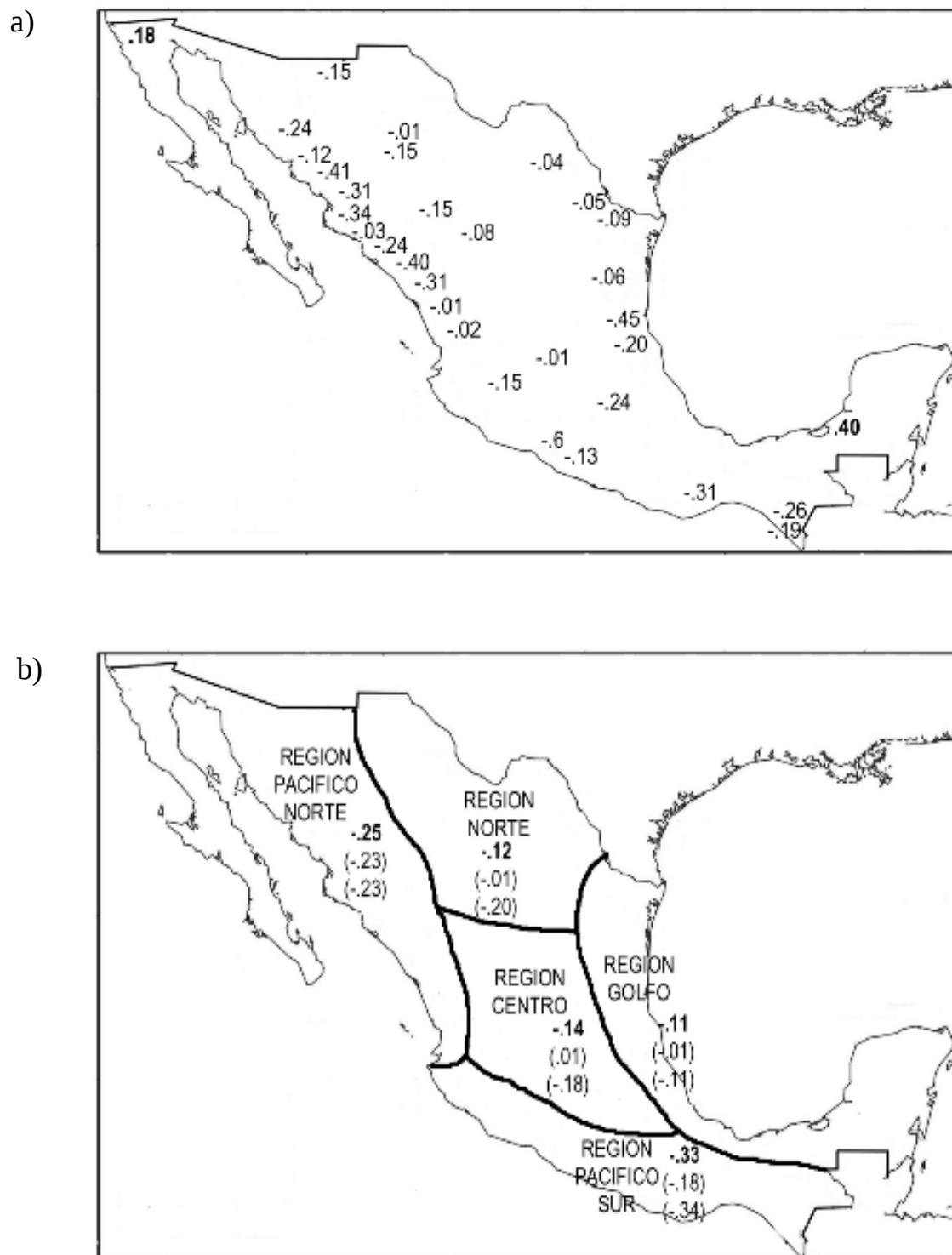


Fig. 2.25 Coeficientes de correlaciones entre temperatura de superficie del mar en la región Niño 3 y la media de escurrimientos a) por estación para el verano (jun-sep) y b) por región y periodo: jun-sep (negritas), jun-jul (paréntesis superior), ago-sep (paréntesis inferior)

El pronóstico estacional de lluvias

Frecuentemente, una medida del entendimiento de un fenómeno físico se tiene en términos de la calidad de pronóstico. El mayor reto de las Ciencias Atmosféricas y de la Meteorología en particular, ha sido el poder pronosticar el estado futuro de la atmósfera. En las últimas décadas se han registrado notables avances en el Pronóstico Numérico del Tiempo. Ya se cuenta con complejos modelos que permiten pronosticar con acierto el estado del tiempo hasta con tres días de anticipación. Los productos de estos pronósticos son de utilidad en un gran número de actividades de protección civil.

Sin embargo, históricamente el mayor interés por conocer el estado futuro de la atmósfera se ha centrado en saber con meses de anticipación, si se aproxima una buena o mala temporada de lluvias, principalmente en regiones de clima monzónico como en México. Es claro, la disponibilidad de agua y la agricultura dependen de manera crítica de las lluvias de verano.

La tradición del uso de “las cabañuelas”, de “la rueda salomónica” o del análisis del comportamiento de los animales se ha extendido hasta nuestros días con la esperanza de disponer de pronósticos del clima como una herramienta (de poco éxito) de planeación en la agricultura (ver Cap. 4). En el mundo, aumentan los intentos por pronosticar la anomalías del clima utilizando modelos numéricos. Los esquemas van desde modelos basados en ecuaciones de balance de energía (Adem, 1964) hasta complejos modelos de circulación general de la atmósfera (Trenberth, 1992).

Las tradiciones populares en materia de pronóstico del tiempo y clima incluyen «las cabañuelas», «la rueda salomónica», «el comportamiento de los animales». Aunque continúan en uso, ninguna de ellas parece ser de utilidad.



El conocimiento adquirido en años recientes sobre la importancia que el fenómeno El Niño tiene en el clima de la República Mexicana, permite utilizar técnicas estadísticas que relacionan las anomalías de la temperatura de superficie del mar con las lluvias o temperaturas a escala regional mediante modelos de regresión. Incluso, la técnica del uso de análogos parece ser de gran utilidad (Barry y Perry, 1973). Para pronosticar con análogos, considerando años El Niño y La Niña, o esquemas estadísticos, es preciso establecer relaciones de diagnóstico con o sin retraso, entre anomalías observadas o pronosticadas de temperatura superficial del mar en regiones clave (e.g., región Niño 3) y las lluvias a escala regional o incluso local. Los pronósticos de la temperatura del mar en superficie son calculados en grandes centros de pronóstico y puestos a disposición de la comunidad.

Si bien es cierto que esta técnica de pronóstico se basa en relaciones lineales de un sistema complejo y no-lineal como el clima, las predicciones resultan útiles como primera aproximación, y con frecuencia son más precisas a escala regional o local, que aquellas obtenidas directamente con modelos de circulación general. Tal estrategia ha sido seguida para elaborar pronósticos de anomalías de lluvia como el que se muestra en la Fig. 2.26a para el invierno 1997-98. La predicción de anomalías de precipitación para este periodo utilizó ecuaciones de regresión para dieciocho regiones climáticas en que se dividió el país (Douglas, 1994). Al comparar el pronóstico con las anomalías observadas (Fig. 2.26b), se encuentra que se acertó al pronosticar lluvias por encima de lo normal en la región noroeste y la península de Yucatán. En la zona central se presentaron anomalías débiles. En algunos puntos, se logró incluso pronosticar déficit de precipitación, como en ciertas partes de Veracruz, Oaxaca y Guerrero.

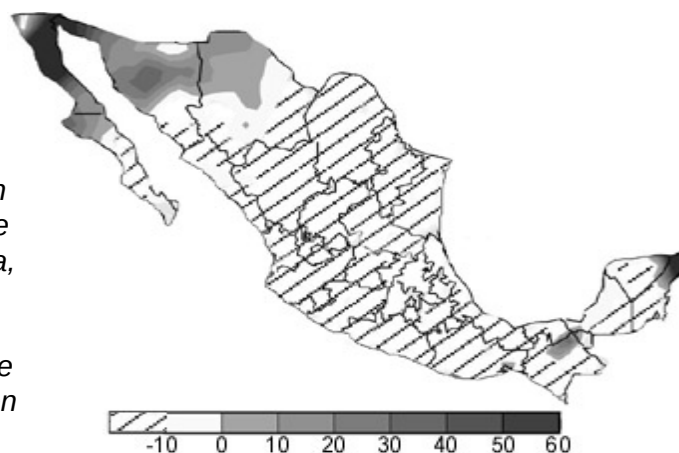
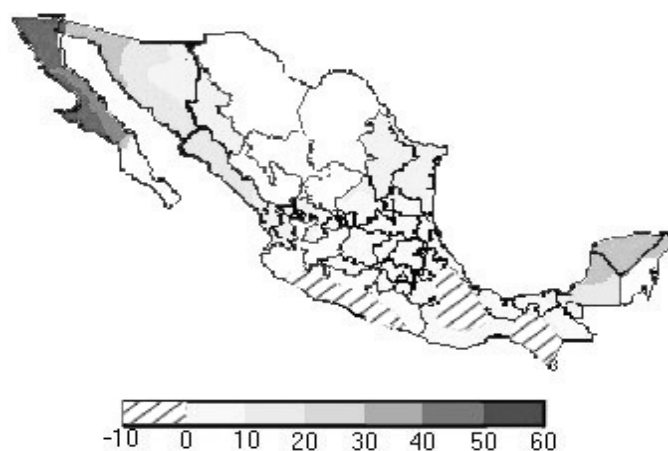


Fig. 2.26. Anomalías de precipitación (mm) para el invierno (dic-ene-feb) de 1997-98 sobre la República Mexicana, a) pronosticadas con un modelo de regresión, en dieciocho regiones climáticas, evaluado con anomalías de temperatura del mar pronosticadas con modelos dinámicos, y b) anomalías observadas.

En gran medida, el éxito de los modelos de regresión depende de un buen pronóstico de las anomalías de temperatura de la superficie del mar. En casos de eventos de Niño intensos, los pronósticos de clima regional tienden a ser más acertados, pues la señal de El Niño resulta más clara en el clima de México. Estas son buenas noticias porque después de todo son los casos extremos, como los ocurridos en 1997 y 1998, los que más alteran el clima y cuando más necesario se vuelve el pronóstico.

El uso de análogos o de pronósticos estadísticos puede extenderse a otras escalas espaciales, como se ha venido realizando en el “Estudio de Variabilidad Climática en Tlaxcala” (ver Cap. 4).

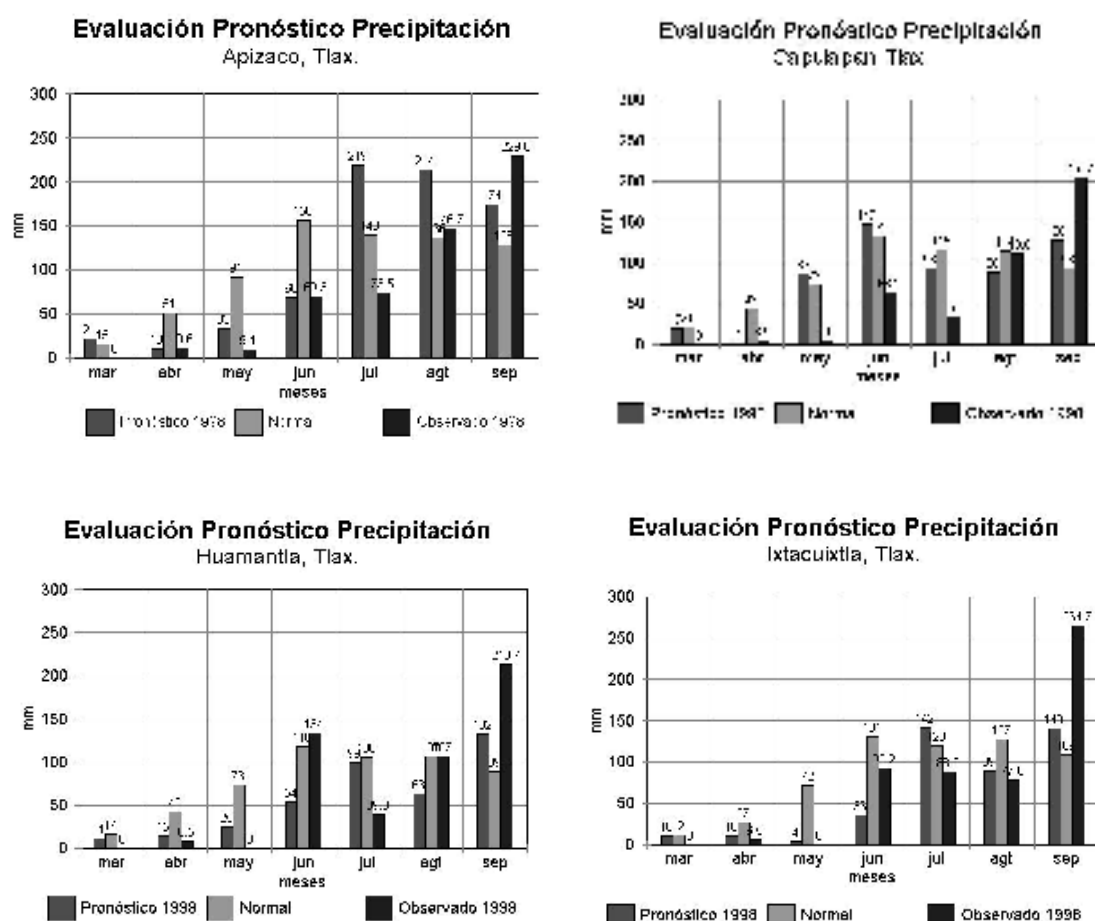


Fig. 2.28 Histogramas de pronóstico, medias climáticas y valores observados de lluvia (mm) en los meses del verano de 1998 para cuatro municipios del Estado de Tlaxcala.

Para el verano de 1998 se pronosticaba que El Niño se debilitaría para dar paso a condiciones La Niña alrededor de julio o agosto. Basados en relaciones de diagnóstico, se podía prever que mientras permanecieran las condiciones El Niño, la sequía estaría presente, pero al desaparecer El Niño, las lluvias se recuperarían. Con base en este pronóstico, en marzo de 1998 se emitieron predicciones de anomalías de precipitación (a escala local) para Tlaxcala, con el fin de que los agricultores planearan sus actividades (ver Cap. 4). Los resultados de estos pronósticos son alentadores a la luz de las comparaciones con lo ocurrido en el verano de 1998 (Fig. 2.28). En todos los casos se pronosticó adecuadamente el retraso en el inicio de la temporada de lluvias y una segunda parte del verano con lluvias abundantes.

Aunque los resultados son valiosos desde el punto de vista práctico, siempre es necesario preguntarse por qué funcionó el pronóstico y cómo funciona el clima en nuestro país, con el fin de aumentar nuestro entendimiento del sistema y mejorar los esquemas de predicción estacional. En este sentido, los modelos dinámicos resultan más útiles.

En años recientes, se han desarrollado modelos que utilizan los resultados de simulaciones con modelos de circulación general de baja resolución espacial, como condiciones iniciales de un modelo de mesoescala de alta resolución espacial. Los efectos locales o regionales, resultado de la presencia de montañas, o diferentes usos de suelo, aparecen como factores de forzamiento local del clima. Un ejemplo de este tipo de simulación es presentado en la Figura 2.29, donde se comparan el campo observado de precipitación para enero de 1992, con el simulado por el modelo de mesoescala (mesoscale model) versión 5 (MM5) cuando las condiciones de gran escala son las observadas (análisis de el *National Center for Environmental Prediction*), y con el campo simulado cuando las condiciones de gran escala son aquellas generadas por un modelo de circulación general, como el *National Center for Atmospheric Research (NCAR) Community Climate Model versión 3 (CCM3)* (Magaña y Pérez, 1998).

Apenas se comienza a avanzar en esta dirección, pero el potencial de tal esquema de diagnóstico y pronóstico es definitivamente prometedor. Con este procedimiento de análisis, diagnóstico y pronóstico comenzarán a entenderse los factores que controlan el clima a escala regional y su variabilidad.

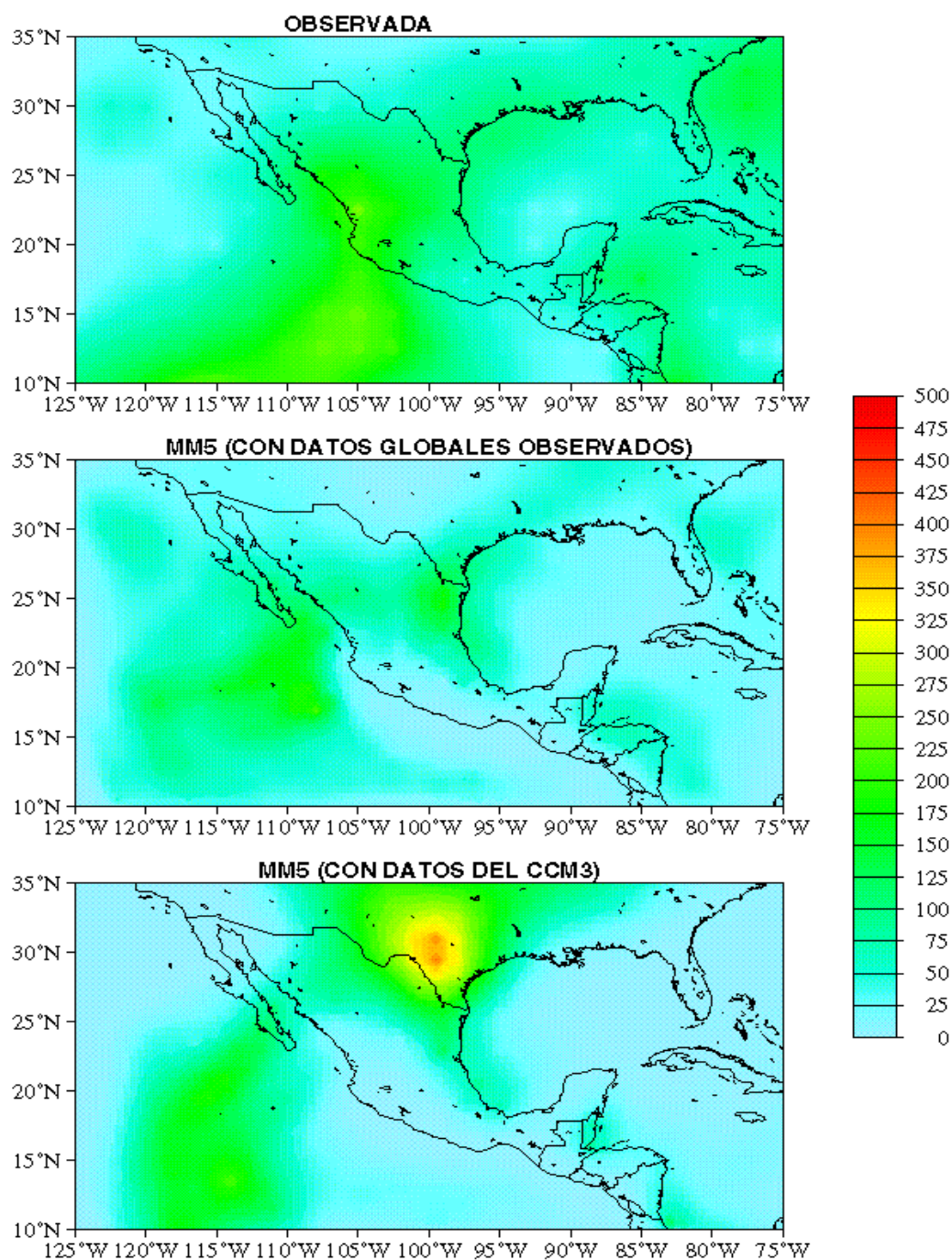


Fig. 2.29 Simulaciones de lluvia (mm) para enero de 1992, utilizando un modelo de mesoescala (ver texto).

3 Oceanografía y El Niño

A. Trasviña⁶, D. Lluch Cota⁷, A.E. Filonov⁵ y A. Gallegos⁸

El Pacífico mexicano

El impacto de El Niño en los mares mexicanos parece ser más claro en el Pacífico. Las interacciones de esta región con el Pacífico ecuatorial del este, donde es máxima la señal de El Niño, resulta en cambios en la estructura y dinámica de los mares mexicanos, que alteran el clima y las actividades pesqueras regionales. Las alteraciones en la actividad de la Zona InterTropical de Convergencia (ZITC) en el Pacífico Mexicano pueden incluso sentirse en el Caribe sin embargo, la amplitud de la señal en esta región es mucho menor que en el Pacífico nororiental.

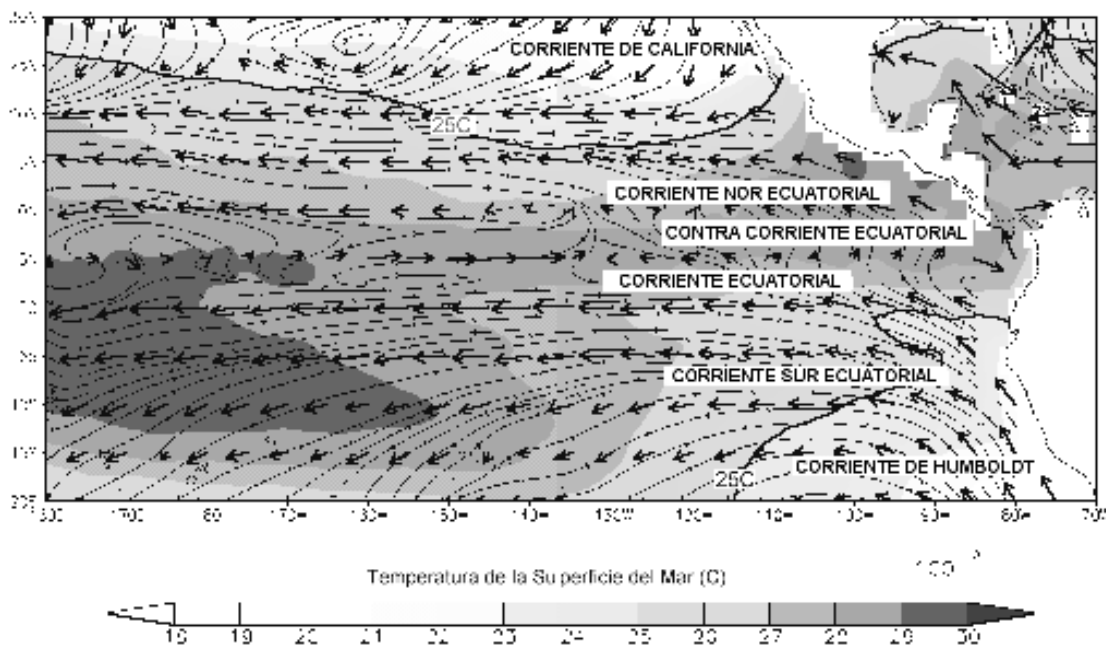


Fig. 3.1 Climatología de corrientes marinas (cm/s) y temperatura superficial del mar.

El Pacífico Mexicano se extiende desde la entrada del Golfo de California hasta la frontera sur de México, donde comienza el Pacífico Tropical Oriental Centroamericano. Una forma de identificar la frontera norte del Pacífico Mexicano es en términos de la posición de la isoterma de 25°C, utilizada tradicionalmente en oceanografía para localizar el extremo de las masas de aguas tropicales superficiales (Fig. 3.1).

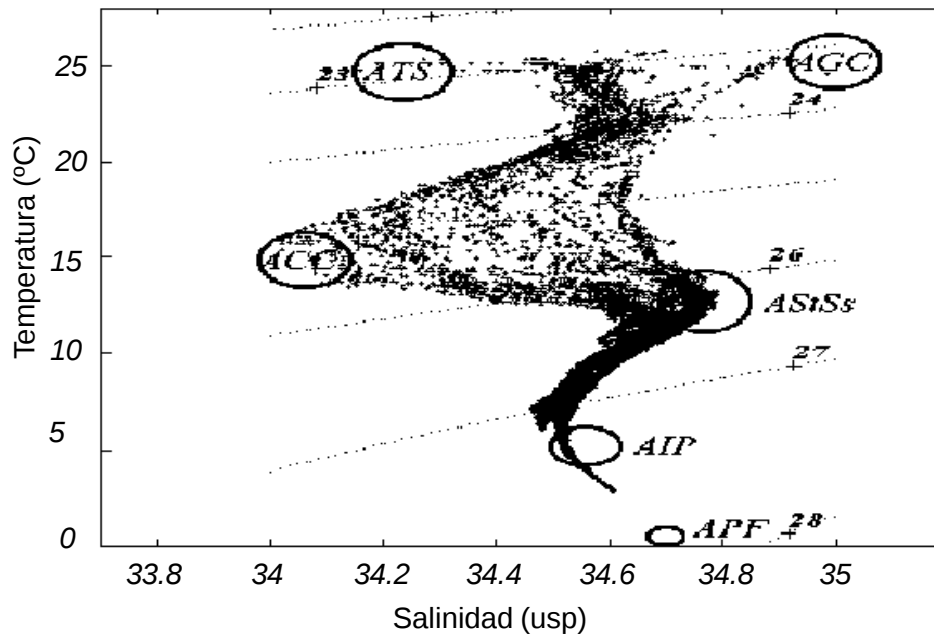


Fig. 3.2. Diagrama TS típico de la boca del Golfo de California, construido a partir de datos de 25 perfiles verticales de temperatura y salinidad, hasta los 800 m de profundidad. Los círculos indican las posiciones de los índices TS de las masas de agua típicas de la zona. La salinidad está en unidades de salinidad práctica (usp). Según la nueva definición, corresponden aproximadamente a gramos de sal por kilogramo de agua. La densidad se escribe restando 1000 de su valor real. Por ejemplo una densidad de 23 es en realidad 1023 kg m^{-3} .

En el límite norte, aguas de tipo subártico de la Corriente de California y aguas ecuatoriales de alta salinidad del Golfo de California (Fig. 3.2) se encuentran con las aguas tropicales que provienen del sur.

Hacia el ecuador, la frontera del Pacífico Mexicano es geográfica y limita con los mares centroamericanos, donde la Contracorriente Ecuatorial alcanza estacionalmente la costa, cubriendo la superficie con aguas de alta salinidad y pobres en nutrientes. Es a través de esta frontera sur que las aguas ecuatoriales superficiales y tropicales superficiales avanzan hacia el norte por la Corriente Costera de Costa Rica, como un flujo estacional que acarrea aguas de baja salinidad a lo largo de la costa de Centroamérica y del sur de México.

Del comportamiento de las corrientes de gran escala dependen en gran medida las temperaturas superficiales del océano, los flujos de humedad hacia la atmósfera y consecuentemente el clima costero, desde Baja California hasta Chiapas. Los mares mexicanos tienen un ciclo anual que puede variar interanualmente. Así, en ocasiones se ve alterado por eventos de calentamiento como El Niño, o de enfriamiento, como La Niña.



Los mares mexicanos tienen variaciones interanuales, con calentamientos o enfriamientos relacionadas con El Niño o La Niña.

Existe la tendencia a pensar en los mares tropicales como regiones de baja productividad y de poco interés económico. Este no es el caso del Pacífico Tropical Mexicano, pues de allí proviene, entre otras, la mayor parte de nuestra producción atunera. Al existir gran variabilidad interanual en los mares mexicanos, las zonas productivas también cambian.

La temperatura superficial del mar es una de las variables más importantes en el estudio del océano, por relacionarse directamente con el intercambio de energía (calor) y de humedad con la atmósfera baja. Los patrones de temperatura responden a los cambios atmosféricos (vientos y lluvias), oceánicos (corrientes y surgencias) y a la radiación solar. Por ello, en el contexto del clima, los estudios se centran en esta variable. Sin embargo, el estudio del océano requiere de mucha más información.

La oceanografía física utiliza relaciones entre las variables de estado para describir las características del mar, como se hace en los diagramas de temperatura y salinidad (TS), con los que se analiza el comportamiento de las masas de agua. Los esquemas TS definen la termodinámica de los cuerpos de agua y sus cambios con la profundidad. Es posible calcular isolíneas de densidad en el océano, con ayuda de la ecuación de estado del agua de mar y superponerlas en el diagrama para identificar masas de agua. Aunque la profundidad no aparece de manera explícita, se sabe que las temperaturas altas corresponden a la superficie y las bajas al fondo. Las densidades más bajas están siempre en la superficie.

Cuando se grafican los datos de temperatura y salinidad desde la superficie hasta el fondo, el diagrama TS proporciona información útil sobre las características de las masas de agua. Así:

- i) Las masas de agua presentan una gran variabilidad en la temperatura y salinidad en superficie, debido a la influencia que reciben de la atmósfera y la radiación solar. Es a causa de esta influencia que todas las masas de agua se forman en la superficie.
- ii) Conforme aumenta la profundidad y disminuye la temperatura, aparecen inflexiones en la curva TS que representan masas de agua que alguna vez estuvieron en superficie, y que se hundieron debido a procesos termodinámicos que aumentaron su densidad. Las bajas súbitas en temperatura o incrementos dramáticos de salinidad son capaces de hundir masas de agua. Esto ocurre comúnmente en los mares árticos o antárticos, o en regiones de convergencia de la circulación, donde las características de temperatura y salinidad (índices TS) de las masas de agua, se conservan en su trayecto bajo la superficie.
- iii) Los datos tomados en el fondo del mar describen a las masas de agua más densas, como las que se localizan en el Mar de Wedell en el Océano Antártico.

Un diagrama TS típico de la entrada al Golfo de California, muestra la presencia de masas de agua de orígenes muy diversos (Fig. 3.2). Por ejemplo, las zonas de superficie con temperaturas mayores a 20°C presentan la mayor dispersión de valores. Algunos de los perfiles TS son influenciados por la masa de Agua Tropical Superficial (ATS) que se forma miles de kilómetros al sur. Otras zonas con baja temperatura presentan valores más cercanos a los que definen a la masa de Agua del Golfo de California (AGC) con temperaturas entre 15 y 20°C, características de las Aguas de la Corriente de California (ACC). Las (ACC) pueden tener valores altos de salinidad, lo cual indica que en esta capa se da la mezcla con aguas del Golfo de California. Por debajo de la Corriente de California, se encuentran zonas con temperaturas de alrededor de 12°C, características de las masas de Agua Subtropical Subsuperficial (AStSs), que tienen un máximo de salinidad de 34.8, característico de las aguas del Pacífico Tropical Oriental, al norte del Ecuador. Otra característica de esta masa de agua es que su núcleo se centra en los 200 m de profundidad, después de la cual la dispersión de los valores es cada vez menor. Así, a los 5°C aparece el mínimo de salinidad típico de las Aguas Intermedias del Pacífico (AIP), que tienen su núcleo en los 500 m de profundidad y se encuentran en todo el océano Pacífico, desde su origen en la convergencia Antártica (aprox. 50°S), hasta latitudes de 50°N o más. Finalmente, los valores más profundos tienden hacia el índice TS de la masa de agua Pacífica de Fondo (APF), que es la más densa de la región.

Siguiendo los análisis TS para el Pacífico Mexicano, se pueden definir sus características físicas. Así, se sabe que existen diversas masas de agua en el Pacífico Oriental (Fig. 3.3), (Emery y Dewar, 1982). El área surecuatorial del Pacífico Ecuatorial Oriental se caracteriza por una masa de agua superficial cálida y salina (35 usp) identificada como Agua del Pacífico Ecuatorial (APE) (Sverdrup, 1942). Bajo ésta se encuentra el Agua Intermedia del Antártico (AIA), también conocida como Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y que se identifica claramente por el mínimo de salinidad (34.5 usp) a 5°C. Hacia el norte, entre 5°S y 5°N, la superficie se caracteriza por baja salinidad (33 usp) que se incrementa rápidamente bajo la superficie hasta un máximo subsuperficial a 14°C, donde se origina el Agua Tropical Superficial (ATS). La baja salinidad del ATS se debe probablemente a la dilución de la APE, con agua de precipitaciones y aportes de ríos. En esta zona se observan mínimos de salinidad que definen las AIA en profundidades intermedias. El área más al norte del Pacífico mexicano se extiende desde el Golfo de Tehuantepec (14°N) hasta la entrada al Golfo de California (20°N), presentando una amplia variedad de curvas TS, con máximos y mínimos de salinidad subsuperficial. El máximo en la salinidad se encuentra inmediatamente por debajo de la termoclina y de las zonas de surgencia, en donde por efecto de la misma circulación, afloran aguas ricas en nutrientes.

La circulación de gran escala del Pacífico Tropical Oriental fue descrita por Wyrtki (1965) utilizando datos de la deriva de buques. Por mucho tiempo fue la única información disponible sobre las corrientes de gran escala en el Pacífico Oriental. Hoy en día se cuenta con nuevos análisis y observaciones (Meehl 1982), que permiten estudiar, no sólo el estado medio anual del Pacífico mexicano, sino también los cambios que experimenta año con año.



**Durante mucho tiempo,
la circulación de gran escala
del Pacífico Tropical Oriental
se describió utilizando datos
de la deriva de buques.**

Así, se tiene que en el Pacífico Oriental se encuentran:

- i) la Corriente de California,
- ii) la Corriente Surecuatorial,
- iii) la Contracorriente Ecuatorial y
- iv) la Corriente Costera de Costa Rica.

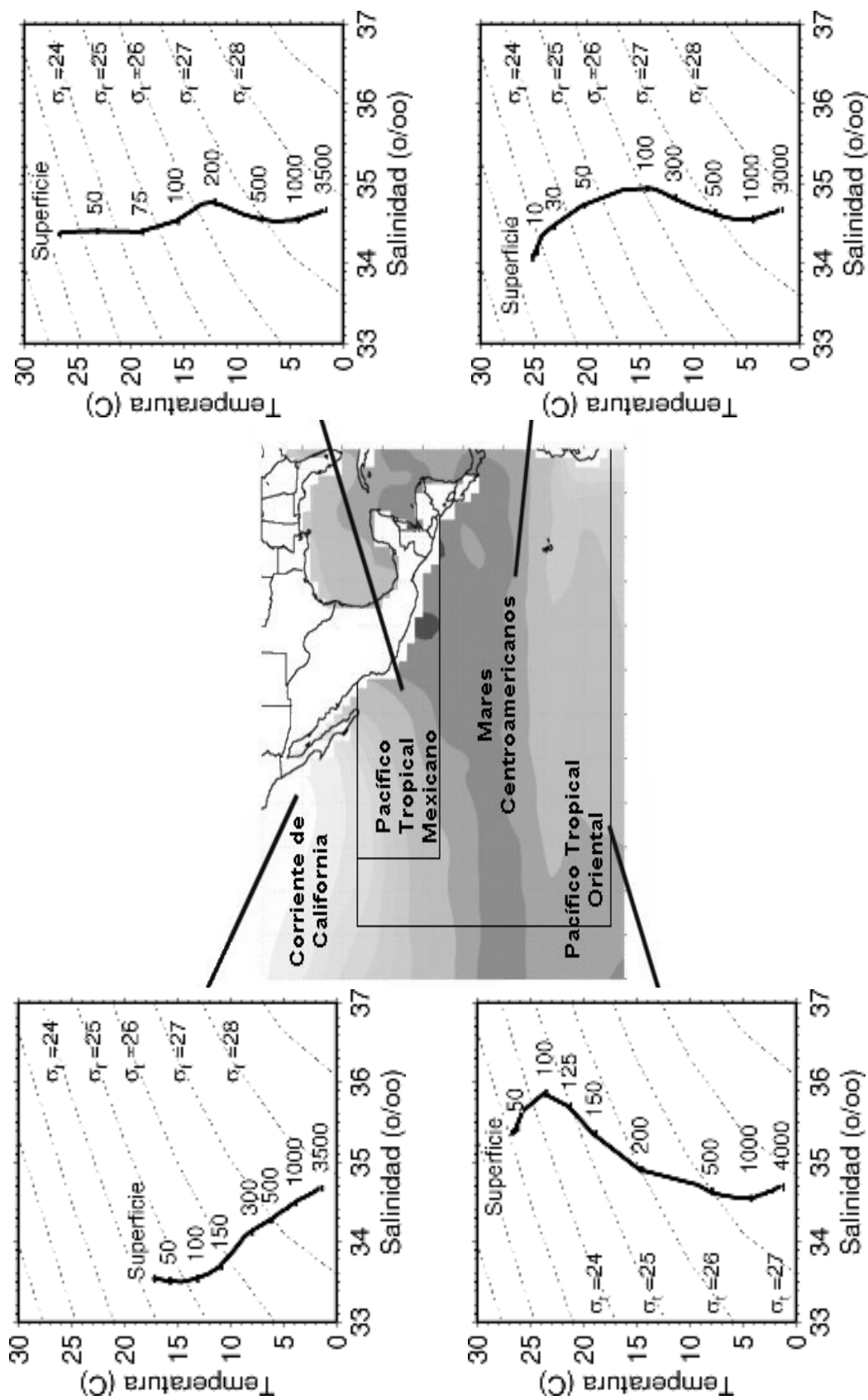


Fig. 3.3. Masas de agua del Pacífico Oriental en la región de la corriente de California, el Pacífico Tropical Mexicano, los mares Centroamericanos, y el Pacífico Ecuatorial Oriental.

Wirtki observó tres regímenes de circulación estacional:

De agosto a diciembre tanto la Corriente Surecuatorial como la Contracorriente Ecuatorial son intensas (Fig. 3.4a). La contracorriente fluye hacia la costa, se une a la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) en su flujo hacia el norte y posteriormente entra en la región de la Corriente Norecuatorial entre 10 y 20°N. En el norte, la Corriente de California se separa de la costa de Baja California (25°N), alimentando la Corriente Norecuatorial.

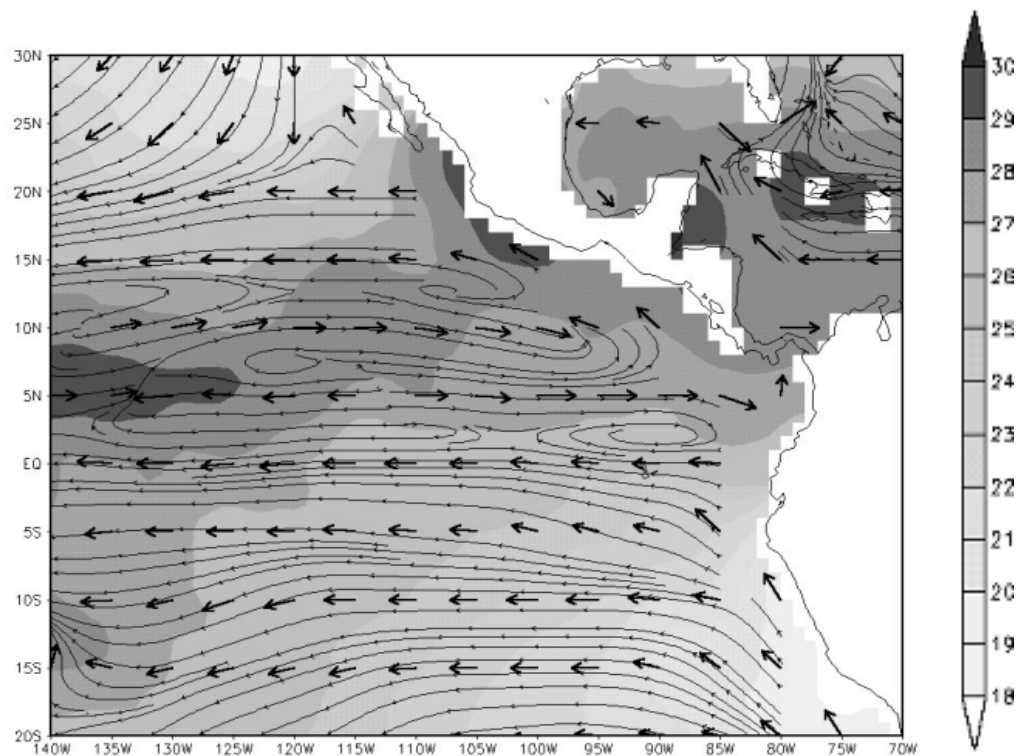


Fig.3.4a Corrientes y temperatura media superficiales durante octubre.

De febrero a abril, la corriente de California se intensifica y penetra hacia el sur hasta 20°N (Fig. 3.4b). La Contracorriente Ecuatorial está ausente durante este período y es reemplazada por un flujo variable hacia el oeste o noroeste. La Corriente Surecuatorial es débil y muestra movimientos ocasionales hacia el este, cerca del ecuador. La Corriente Costera de Costa Rica también está ausente. En los golfos de Tehuantepec y Panamá existen flujos hacia afuera de la costa por el efecto local de vientos, como los ocurridos en periodos de Norte (ver capítulo 2).

De mayo a julio (Fig. 3.4c) la Contracorriente Ecuatorial se forma de nuevo y la mayor parte de sus aguas fluyen hacia el norte, cerca de la costa, para alimentar la Corriente Costera de Costa Rica.

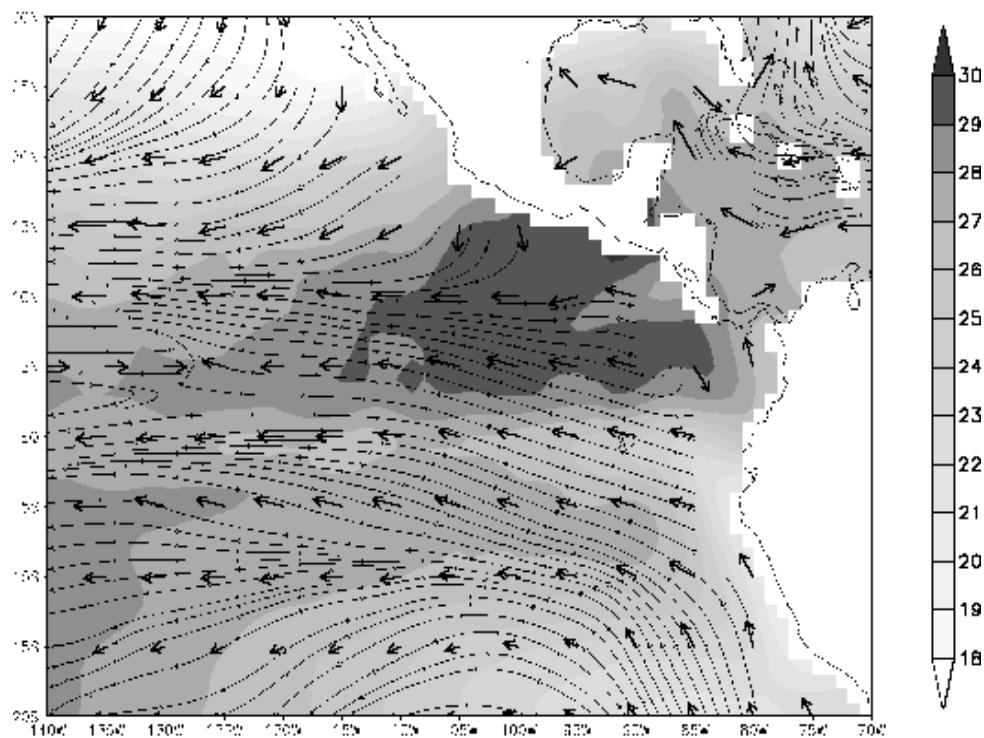


Fig.3.4b. Corrientes y temperatura media superficiales durante abril.

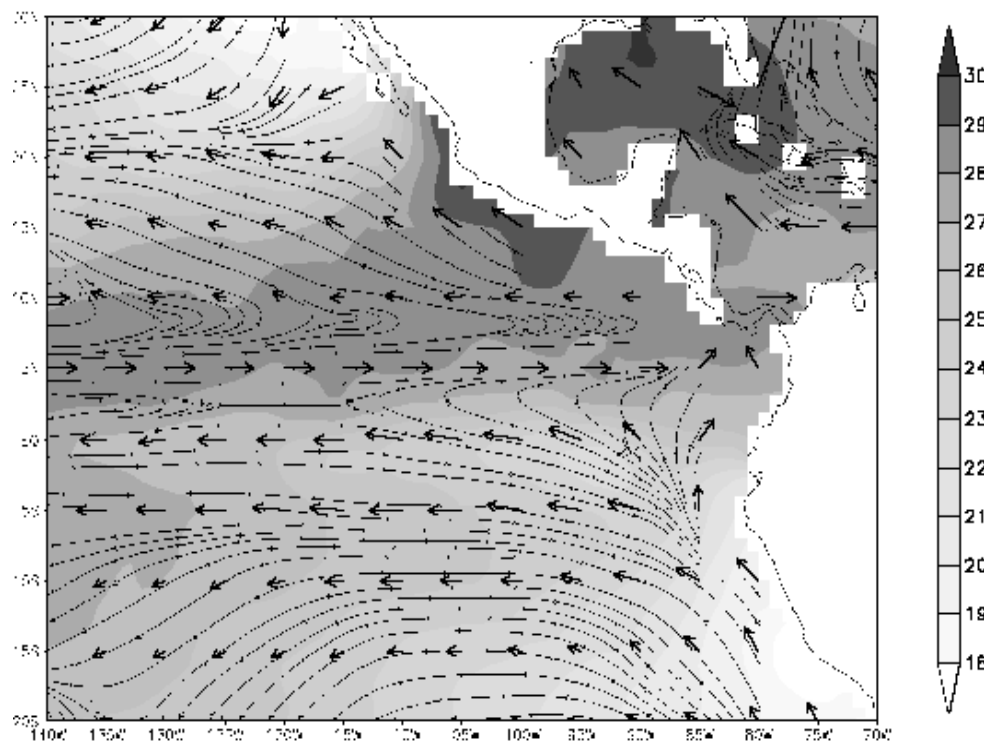


Fig.3.4c. Corrientes y temperatura media superficiales durante julio.

Además de la circulación y las características de las masas de agua, se deben considerar algunos elementos adicionales del Pacífico Oriental, como la topografía de la termoclina del Pacífico Tropical Oriental, que fue descrita por Cromwell (1958) a partir del registro de 4000 lances de batitermógrafos desechables del tipo (XBT). La profundidad de la termoclina cerca de las costas, es somera durante casi todo el año, principalmente en el domo de Costa Rica y el Golfo de Tehuantepec, donde se distinguen 4 situaciones:

- i) De enero a marzo las profundidades típicas de la termoclina costera oscilan alrededor de los 30 m, excepto en el Golfo de Tehuantepec y en el Domo de Costa Rica, donde la termoclina se acerca a 10 m de la superficie, básicamente por la ocurrencia de Nortes. Lejos de la costa, hay una tendencia al aumento en la profundidad de la termoclina, alcanzando los 100 m en la entrada al Golfo de California.
- ii) De abril a junio la termoclina alcanza un mínimo de profundidad en el Golfo de Tehuantepec y en la zona del Domo de Costa Rica con un nivel persistente mínimo de 10 m.
- iii) De julio a septiembre toda la zona costera presenta valores homogéneos de 30 m a lo largo de la costa. En la región del Domo persiste el mínimo de 10 m, debido presumiblemente a la presencia de una capa de mezcla gruesa y cálida en los meses del verano.
- iv) De octubre a diciembre las profundidades de la termoclina en el océano abierto se incrementan de norte a sur. En tanto que cerca de la costa se observa una vez más el mínimo de 10 m en el Golfo de Tehuantepec y la región del Domo de Costa Rica.

En resumen, el Pacífico Tropical Nororiental se caracteriza por una elevación de la termoclina hacia la costa. En las regiones costeras del Domo de Costa Rica, al igual que en el Golfo de Tehuantepec, la profundidad de la termoclina presenta valores mínimos, principalmente durante el invierno.

Con base en la información oceanográfica de los diagramas TS y de la termoclina, se han desarrollado estudios sobre productividad en los mares mexicanos. En particular, se ha mostrado la influencia y relación que tienen las regiones productivas con la termoclina somera, al constituirse en áreas de gran potencial productivo por la fertilización de la superficie.



Tanto el Golfo de Tehuantepec, como el Domo de Costa Rica, se destacan por su importancia en pesquerías comerciales como el atún.

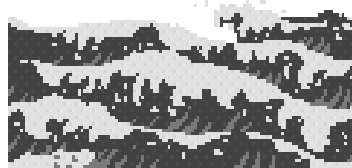
El estudio de la variabilidad interanual del Pacífico Tropical Nororiental en los últimos años ha tenido un avance significativo gracias a la información obtenida con los sistemas de observación por satélite. Junto con un mayor número de instrumentos de monitoreo del océano, hoy se cuenta con mejores datos de las condiciones superficiales del mar, que muestran que el ciclo anual de la profundidad en la termoclina se puede ver afectado por la ocurrencia de eventos El Niño, debido principalmente al paso de ondas costeras. Estas ondas pueden incrementar la profundidad de la termoclina cerca de las costas mexicanas, afectando la productividad biológica y pesquera. Bajo condiciones El Niño, algunas especies comerciales dejan de estar disponibles cuando la termoclina se profundiza. El impacto económico de este fenómeno puede ser importante (ver Cap. 5), principalmente en lo relacionado con el calentamiento de la superficie del mar durante eventos de Niño.

Los efectos de El Niño en el Pacífico mexicano

Las variaciones de las corrientes oceánicas afectan la posición de la termoclina y las características de las masas de agua, con una amplitud que depende de las condiciones topográficas regionales y de la época del año en estudio. El modo más importante de variabilidad interanual es El Niño, que afecta los patrones oceánicos de circulación, intensidad y formas de los sistemas.

El Pacífico Tropical Mexicano presenta alternancia entre zonas de aguas frías en invierno y calientes en verano. En el Golfo de Tehuantepec se localiza una franja de baja temperatura, durante los meses de octubre a marzo, cuyos orígenes están en la actividad de Nortes, con vientos que mezclan las aguas del Golfo de Tehuantepec. Por otro lado, frente a las costas de Guerrero y Michoacán se forma una alberca de agua caliente ($TSM > 28^{\circ}\text{C}$) durante el verano (Fig. 3.5), cuya presencia no es fácil de explicar, aun cuando se piensa es consecuencia de los patrones de circulación. Aparentemente, las corrientes en el Pacífico mexicano son muy lentas, por lo que las masas de agua son expuestas durante mayor tiempo a la insolación, resultando en elevadas temperaturas superficiales. Tanto la "franja de agua fría" como la "alberca de agua caliente" presentan variaciones estacionales e interanuales, moduladas por el ciclo anual de las corrientes y de la insolación. En los años del Niño, la lengua de agua fría desaparece y crece la alberca de agua caliente (Fig. 3.5). En años de la Niña, sucede lo contrario, al crecer la lengua fría, la alberca cálida disminuye de tamaño. Así, en el Pacífico tropical mexicano, un evento del Niño aumenta la cobertura horizontal de la alberca cálida y una Niña la disminuye.

La «lengua de agua fría» frente a las costas de Perú y la «alberca de agua caliente» frente a México, son alteradas por El Niño.



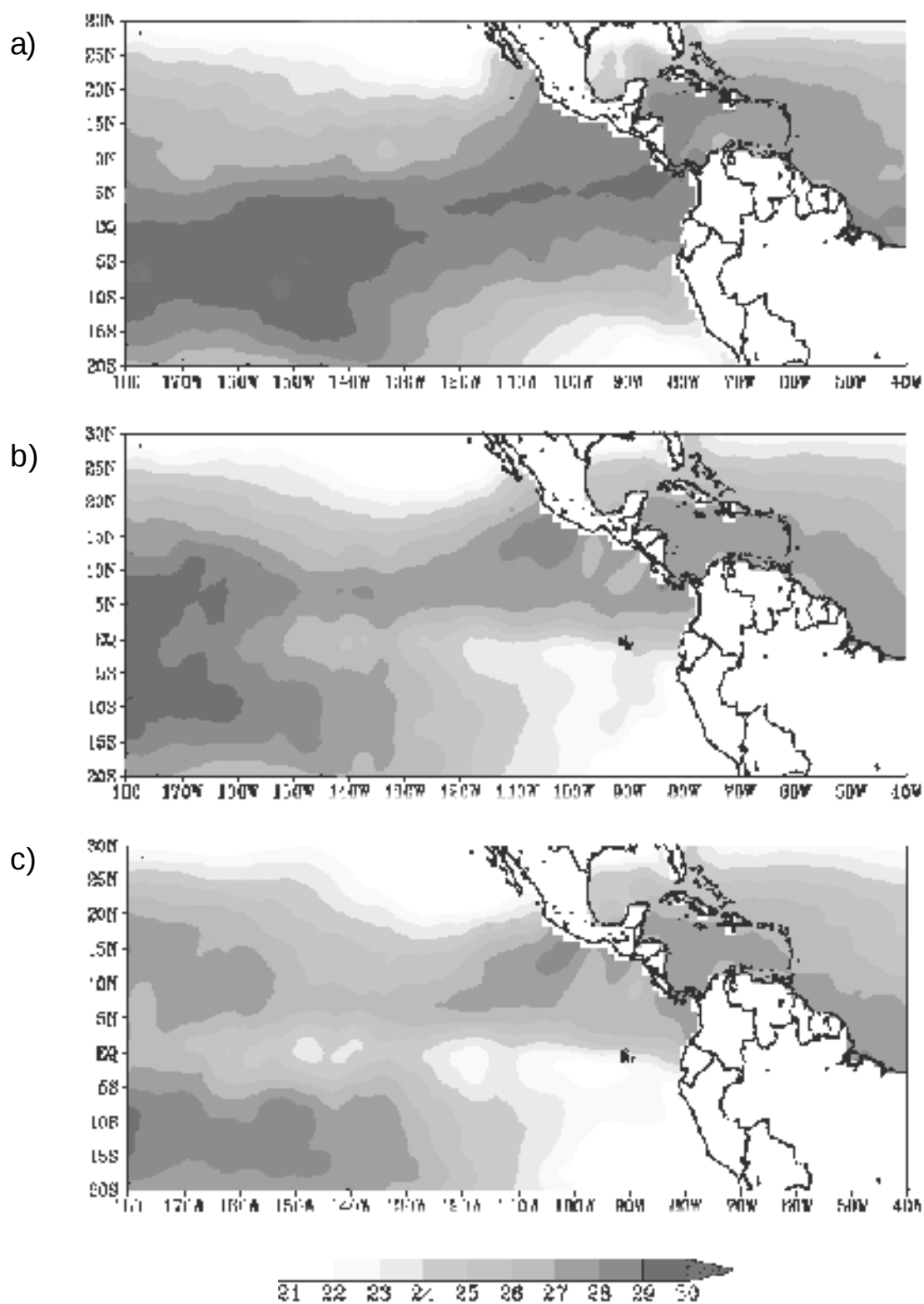
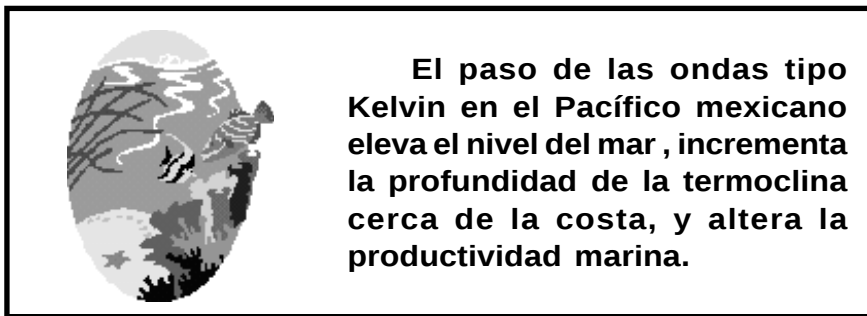


Fig. 3.5. Variabilidad interanual del Pacífico Tropical. a) condiciones El Niño en diciembre de 1997; b) condiciones normales en diciembre de 1990; c) condiciones durante la Niña en diciembre de 1988 .

Durante un Niño, la propagación de ondas de largo período que provienen del Ecuador (Fig.3.5) resulta en la expansión de la zona caliente. Moore (1968) y Anderson y Rowlands (1976), mostraron que una onda ecuatorial de Kelvin, al reflejarse en una costa oriental, produce ondas costeras que viajan hacia los polos. Enfield y Allen (1980), y Chelton y Davis (1982) encontraron señales de baja frecuencia de este tipo con datos de nivel del mar, proponiendo que se trataba de la señal de El Niño propagándose hacia los polos. Por otro lado, Christensen *et al.* (1983), y Baumgartner y Christensen (1985) documentaron ondas de baja frecuencia a lo largo de costas mexicanas que afectan la dinámica de la termoclina. El paso de las ondas aumenta el nivel del mar e incrementa la profundidad de la termoclina cerca de la costa, alterando con ello la productividad marina y las actividades pesqueras. El impacto de la Niña en el Pacífico Tropical Mexicano no es tan fácil de explicar. Los cambios de la temperatura superficial del mar involucra procesos termodinámicos complejos e interacciones entre el océano y la atmósfera.

Lee y Chelton (1999) han propuesto un esquema dinámico de circulación, donde:

- i) Las ondas costeras de Kelvin alcanzan el Pacífico Tropical Mexicano tres meses después de que las ondas de Kelvin ecuatoriales alcanzan las costas de América del Sur.
- ii) Al propagarse hacia el norte la onda costera de Kelvin, irradia ondas de Rossby que se propagan lentamente hacia el oeste.



Con estas hipótesis, los autores sugieren que la ocurrencia de las ondas de Rossby está relacionada con la presencia de anomalías de temperatura y del nivel del mar en zonas interiores del Pacífico, y las ondas Kelvin costeras con la propagación de la señal del Niño del Ecuador hacia las costas norteamericanas.

Recientemente Lee Chelton (1999) han propuesto que las fuertes precipitaciones ocurridas en la costa del sur de California, un año después del paso de El Niño en el Ecuador, estuvieron relacionadas con la dinámica de ondas reflejadas. Los procesos involucrados en la propagación de la señal de El Niño hacia Norte América, incluyendo la propagación de las ondas de Rossby, se muestran esquemáticamente en la figura 3.6.

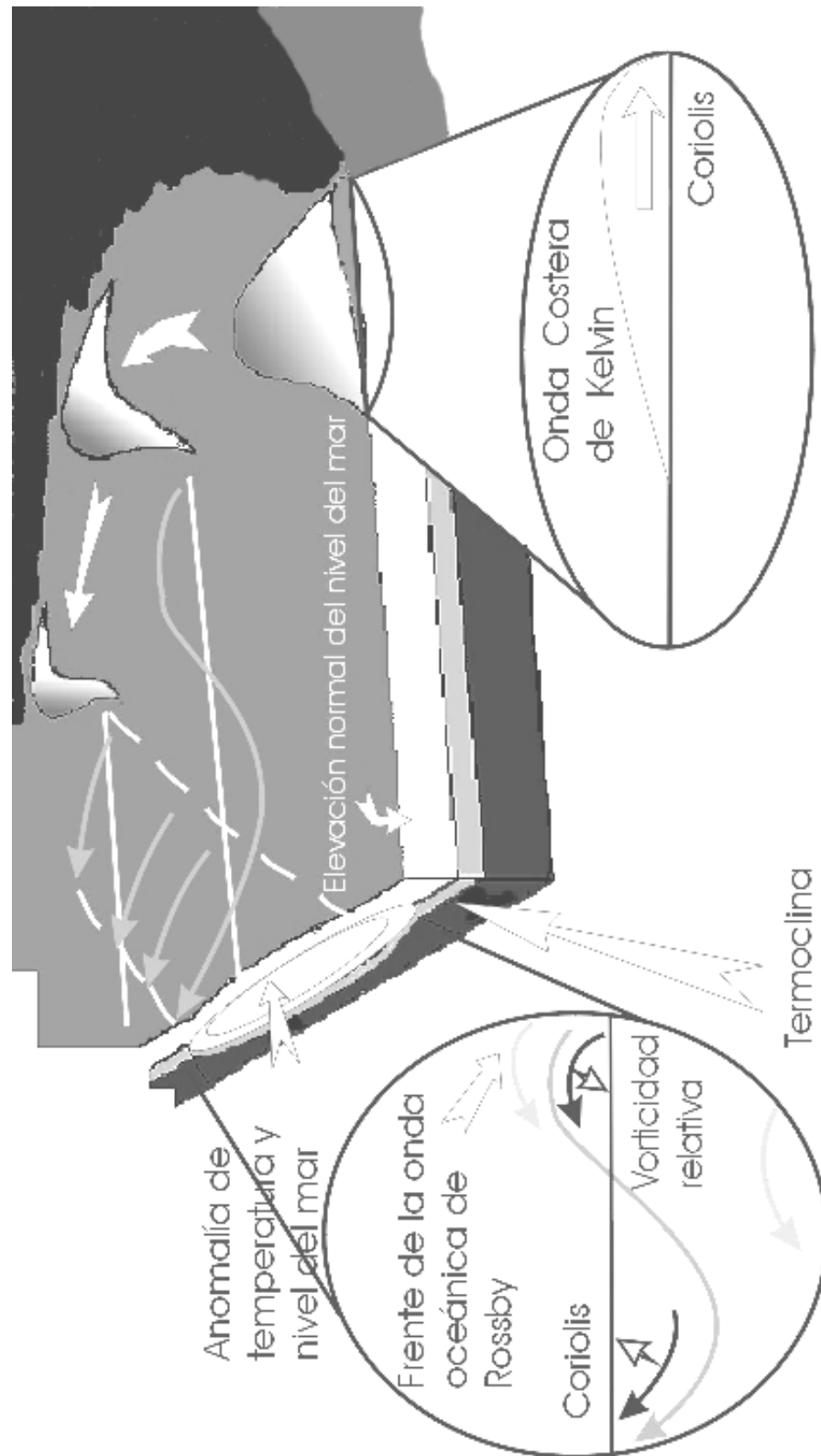


Fig. 3.6. Esquema de la propagación de ondas costeras de Kelvin y radiación de ondas oceánicas de Rossby frente a las costas de América del Norte. Para cada onda se muestra el balance de fuerzas restauradoras del movimiento (adaptado de Lee y Chelton, 1999).

El Golfo de Tehuantepec

El Golfo de Tehuantepec se encuentra al sur de la llamada “alberca de agua cálida” del Pacífico Tropical Mexicano, frente a las costas de Oaxaca y Chiapas. Se caracteriza por la presencia de aguas provenientes de la Corriente Costera de Costa Rica. Su dinámica es única, debido a los intensos Nortes que soplan cada invierno de octubre a marzo, y que resultan en mezclado de las aguas en la capa oceánica superior.

Cada año, el paso de estos frentes fríos atmosféricos afecta el Golfo de México (ver capítulo 2). El viento atraviesa el Istmo de Tehuantepec, en forma similar a un viento de paso de montaña, dando lugar a intensos pulsos que se esparcen sobre el Golfo de Tehuantepec afectando las temperaturas superficiales y la circulación oceanográfica local. Estos eventos forman “lenguas de agua fría” (Fig. 3.7) que se extienden hasta 500 km hacia afuera de la costa (Trasviña et al., 1995). Durante los meses de octubre a marzo, la ocurrencia de tales episodios se refleja en las relativamente frías aguas del Golfo de Tehuantepec (Fig. 3.4a). Los Nortes afectan con frecuencia el Golfo de Papagayo, en Nicaragua, con efectos similares en el campo de temperatura de superficie del mar.

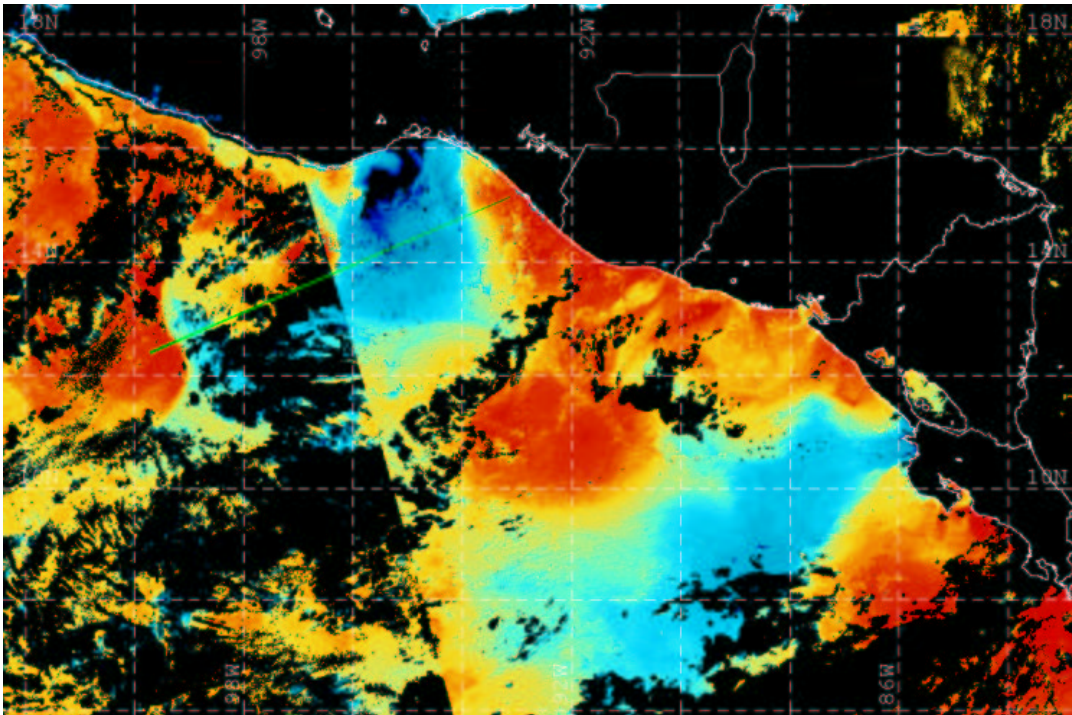


Fig. 3.7. Temperaturas superficiales (frío en azul) durante un Norte, para el 7 de febrero de 1996 en los Golfos de Tehuantepec, México y Papagayo, Nicaragua. Cortesía del Laboratorio de Oceanografía Costera (LAOCOS) de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Tanto en el Golfo de Tehuantepec, como en el de Papagayo, se generan giros de mesoescala que se propagan al interior del Pacífico. Un análisis de la circulación en estas regiones para los meses de febrero a julio muestra parte de esta dinámica (Fig. 3.8).

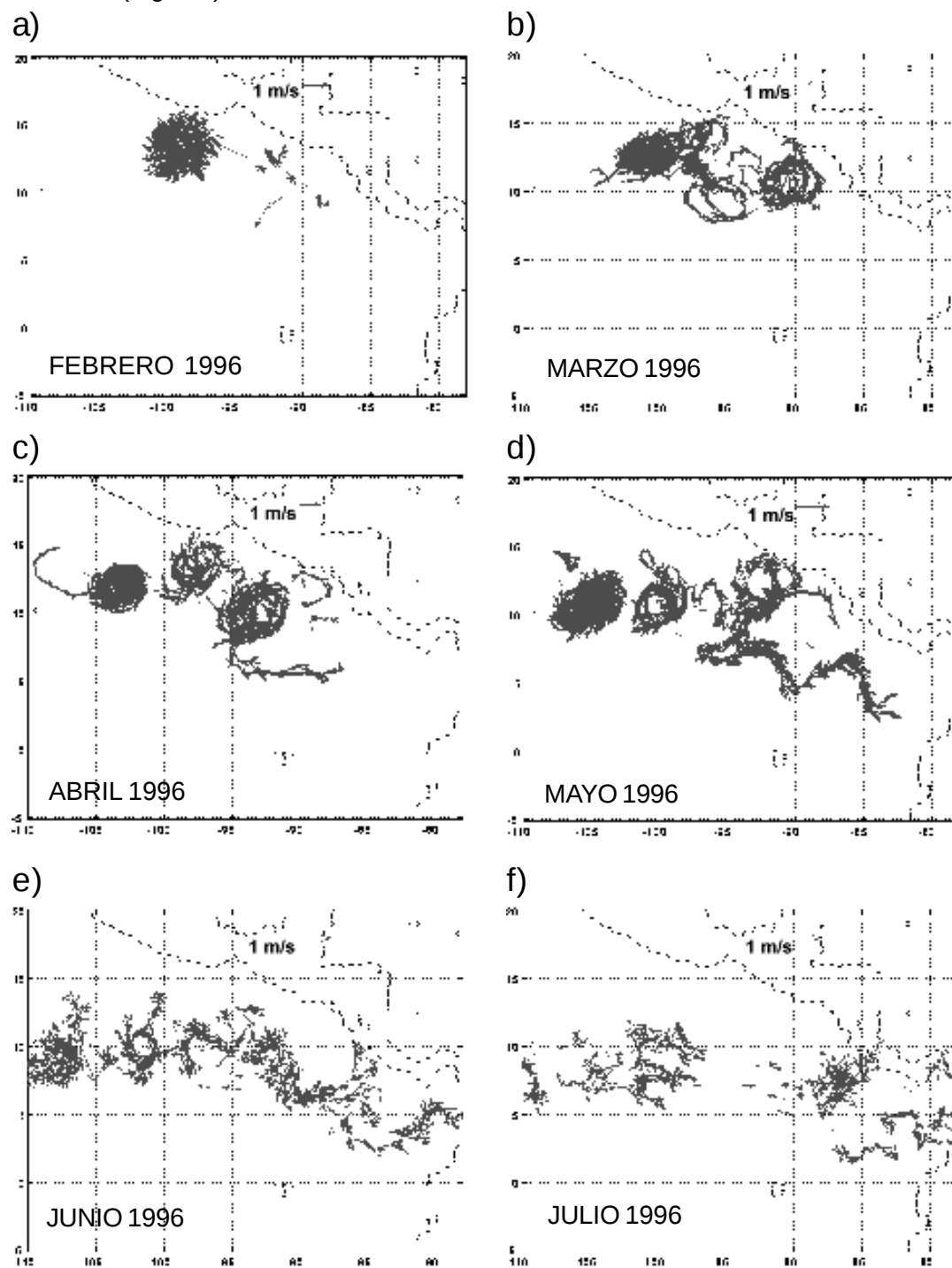


Fig. 3.8 Velocidades a partir de flotadores ARGOS, de febrero a julio de 1996.

Wyrtki (1965) describió parte de la circulación de estos mares de febrero a abril, diciendo: “*en los golfos de Tehuantepec y Panamá existen flujos hacia afuera de la costa consistentes con el efecto local de vientos*”. Esta cruda, pero acertada descripción se ha confirmado con algunos datos de trayectorias y velocidades de flotadores que son seguidos por satélites. Por ejemplo, entre febrero y abril de 1996 (Fig. 3.8 a, b y c) se observaron al menos tres giros de mesoescala alejándose de la costa. Su velocidad de propagación varía entre 9 y 11 km día⁻¹. Dos de estos, con diámetros de unos 200 km, se generaron en el Golfo de Tehuantepec. El tercero es de diámetro mayor (300 km) y se generó en el Golfo de Papagayo durante el mes de marzo. Estos giros mantienen su estructura hasta mayo y parte de junio (Fig. 3.8d y e), y son giros cálidos con rotación anticiclónica. Las velocidades del flujo en el interior de los giros son de alrededor de 1 m s⁻¹.

Wyrtki también describió la dinámica de principios de verano diciendo: “*de mayo a junio la Contracorriente Ecuatorial se forma de nuevo y la mayor parte de sus aguas fluyen hacia el norte cerca de la costa para alimentar la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR). Este es el periodo más persistente de la CCCR*”. Sin embargo, algunos experimentos recientes sugieren que la circulación en esta época del año es lenta y sin dirección definida. Para el mes de julio (Fig. 3.8f) no parece haber evidencias de giros. Sólo se distinguen algunas señales de una contracorriente ecuatorial débil, variable en dirección e intensidad. No parecen existir evidencias claras de la circulación de la CCCR por lo que hay dudas sobre cómo se modifica la circulación de la contracorriente ecuatorial al llegar al continente.

¿Qué sucede en años El Niño o La Niña en México y Centroamérica?

El enfriamiento superficial del agua que producen los Nortes en los Golfos de Tehuantepec y Papagayo, como consecuencia de una termoclina somera expuesta a vientos intensos, es en gran medida responsable de la alta productividad de la región. En esta zona, el abordaje (*entrainment*) de las aguas subsuperficiales a la superficie es radicalmente distinto al de las surgencias costeras que estudian los ecólogos (Trasviña *et al.*, 1995). El golfo de Tehuantepec no es una zona típica de surgencias, siendo otros los procesos físicos que incrementan la productividad en forma estacional. La fuente de aguas ricas en nutrientes que se encuentra bajo la superficie, en la masa de agua Subsuperficial Subtropical, alcanza la superficie cuando el forzamiento atmosférico es suficientemente intenso. Estudios de la dinámica y la hidrografía del Golfo de Tehuantepec revelan una termoclina excepcionalmente somera, entre los 20 y 50 m, fuera de la región donde se producen los giros de mesoescala.

Durante un evento del Niño, los cambios en la circulación del océano cerca del ecuador, y las modificaciones de la circulación atmosférica invernal afectan las características medias del Golfo de Tehuantepec (Trasviña, 1997; Trasviña *et al.*, 1995). El paso de las ondas costeras aumenta la profundidad de la termoclina.

Un mayor número de Nortes (ver Cap. 2) resulta en un mayor mezclado de las capas superiores del océano. Sin embargo, aunque el número de Nortes es mayor en años de Niño, la termoclina parece profundizarse, pues el paso de ondas ecuatoriales y costeras tipo Kelvin domina la dinámica de la región. Es decir, a pesar de la importancia del forzamiento por los fuertes vientos de los nortes, la variabilidad interanual de las temperaturas superficiales y de la productividad de esta región del Pacífico parece estar controlada por la variabilidad oceánica interanual de gran escala.

Lluch-Cota et al. (1997) reportan que durante el Niño de 1982-1983, la termoclina alcanzó profundidades altas, acompañadas de coberturas mínimas de aguas productivas. En contraste, durante 1985 y 1986, se incrementó la cobertura de aguas productivas.

El Golfo de California: la frontera norte de la alberca de agua cálida

Una de las regiones en los mares mexicanos más estudiadas es la del Golfo de California (e.g., Lavín et al. 1997), donde la señal de El Niño es clara. Ahí, el ciclo anual de temperatura de superficie del mar (Fig. 3.9 y 3.10), refleja la influencia de las corrientes de gran escala y del ciclo anual de insolación. Por ejemplo, a la entrada del Golfo de California en el invierno, de diciembre a marzo, las isoterms tienden a ser zonales. Las temperaturas más bajas (23°C) ocurren en enero y las aguas tropicales (de más de 25°C) se localizan al sur de 18°N .

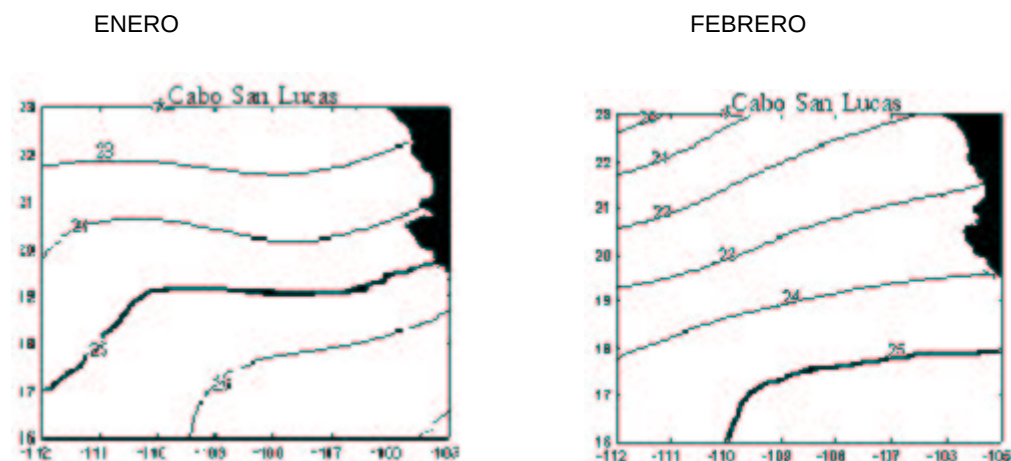
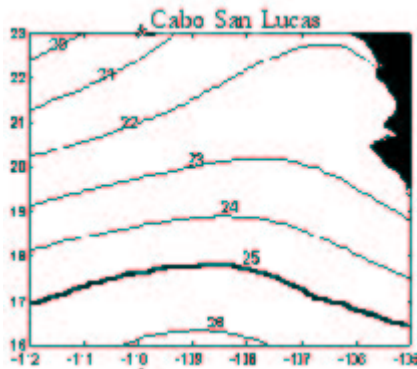
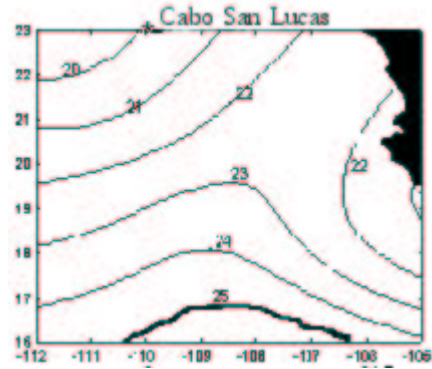


Fig. 3.9. Climatología de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) a la entrada al Golfo de California: de enero a junio. La línea gruesa corresponde a la isoterma de 25°C , CBL indica la localización geográfica de Cabo San Lucas.

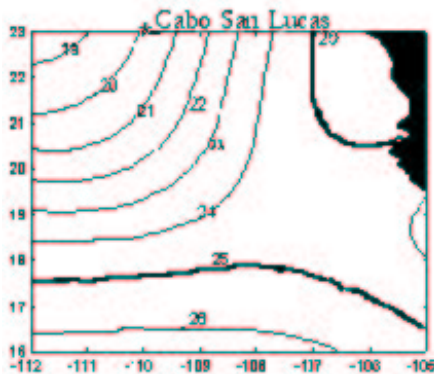
MARZO



ABRIL



MAYO



JUNIO

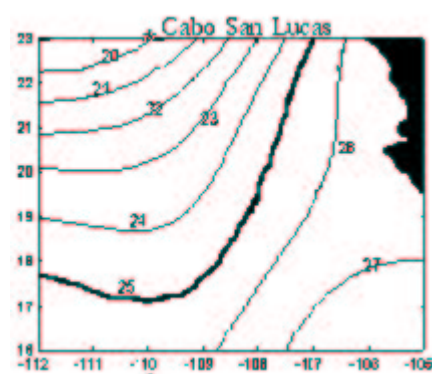


Fig. 3.9. (Continuación)

Para la primavera, de abril a junio, el frente entre las aguas tropicales y de origen subártico de la Corriente de California, se intensifica alcanzando su máxima intensidad en junio.

En la entrada del Golfo de California, de julio a octubre, las isothermas tienden a estar alineadas meridionalmente. Aunque desde julio hasta octubre se encuentran temperaturas superiores a los 28°C en gran parte del Pacífico Tropical Mexicano, es durante septiembre cuando ocurren las temperaturas más altas y toda la entrada al Golfo de California presenta características tropicales, con temperaturas mayores de 25°C. En el mes de noviembre, en pleno otoño, se observa una rápida transición de temperaturas que culmina con el inicio del invierno.

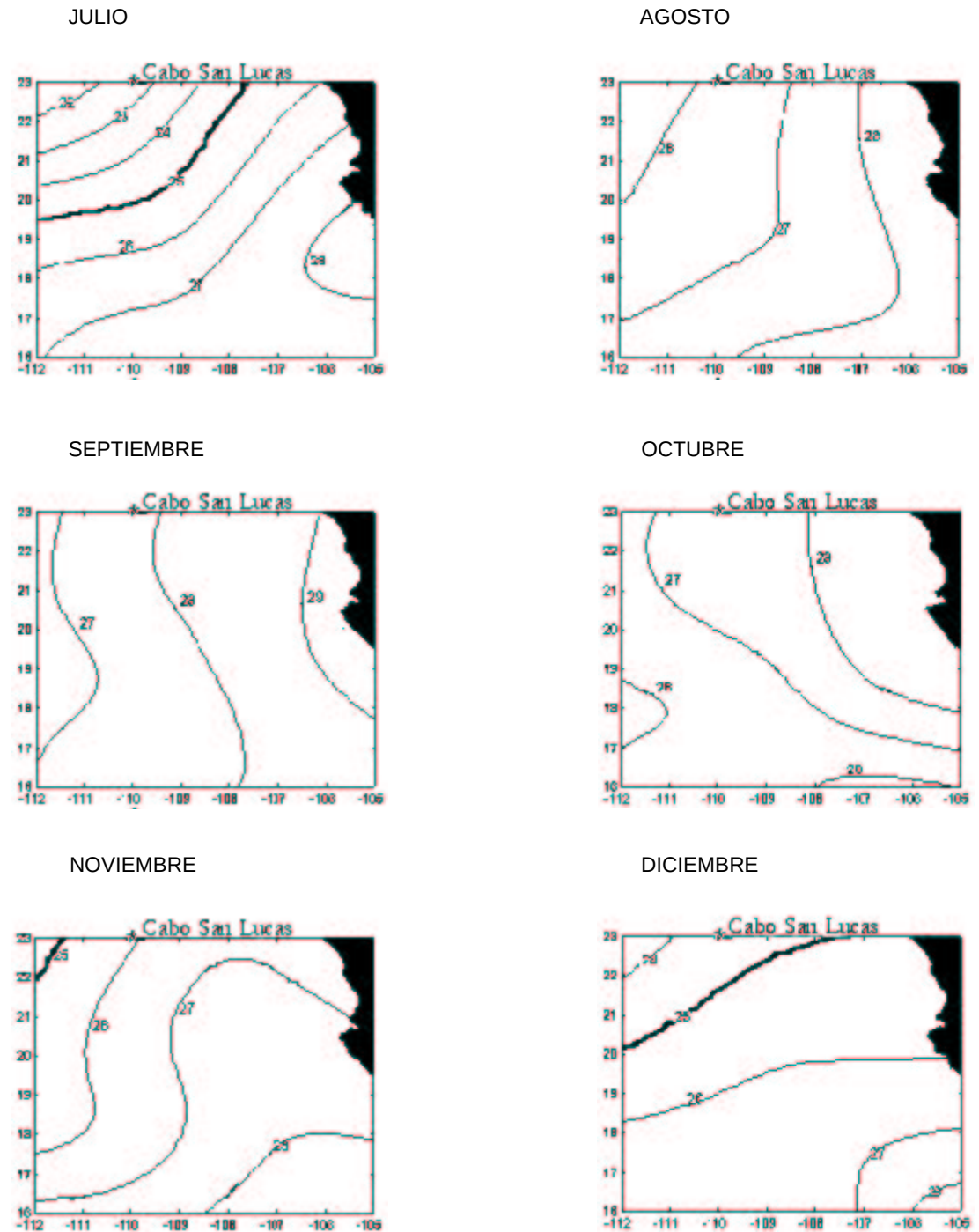


Fig. 3.10. Climatología : temperaturas superficiales del mar (°C) de julio a diciembre a la entrada del Golfo de California.

En la entrada del Golfo de California, el movimiento de las aguas tropicales usualmente no ocurre en forma de corrientes costeras o de gran escala. Gran parte del transporte de propiedades se lleva a cabo por giros de mesoescala. La presencia de giros en la región se debe a la confluencia de masas de agua de origen y composición diferentes, que produce estructuras frontales que funcionan como precursores de giros y filamentos.

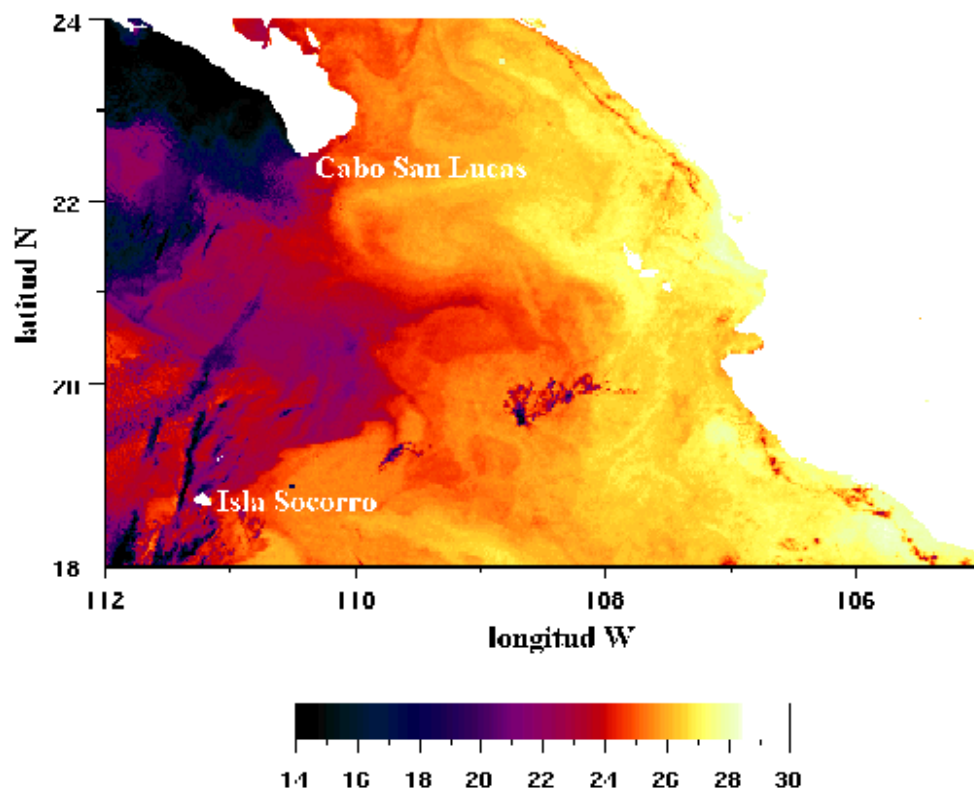


Fig. 3.11. Imagen de satélite de las temperaturas superficiales ($^{\circ}\text{C}$) a la entrada al Golfo de California para el 12 de junio de 1993.

La imagen del 12 de junio de 1993 muestra claramente la confluencia de las aguas de origen subártico de la Corriente de California con las masas de agua tropicales que avanzan desde el ecuador.

La dinámica del Pacífico Tropical Mexicano se puede analizar por medio de cortes transversales entre Cabo San Lucas e Isla Socorro, LUSOC (Fig. 3.11).

Durante mayo de 1992, junio de 1993 y junio de 1998 se obtuvieron datos de temperatura del mar en 11 niveles en la vertical. Mediante una comparación con la climatología de la región se obtuvieron secciones de anomalías de temperatura. En la entrada del Golfo de California, en mayo de 1992 (año de Niño), se observó que toda la sección presentó anomalías positivas de temperatura, entre 3 y 4 $^{\circ}\text{C}$ por encima de lo normal. Las anomalías más grandes se encontraron bajo la superficie, entre 50 y 100 m, entre los paralelos 20 y 21°N (Fig. 3.12). Estas anomalías, se presentaron al interior de un gran giro cálido de alrededor de 150 km de diámetro y centrado a los 20.6°N (Fig. 3.12), lo que muestra la importancia de los procesos de mesoescala subsuperficiales en esta frontera norte del Pacífico Tropical Mexicano.

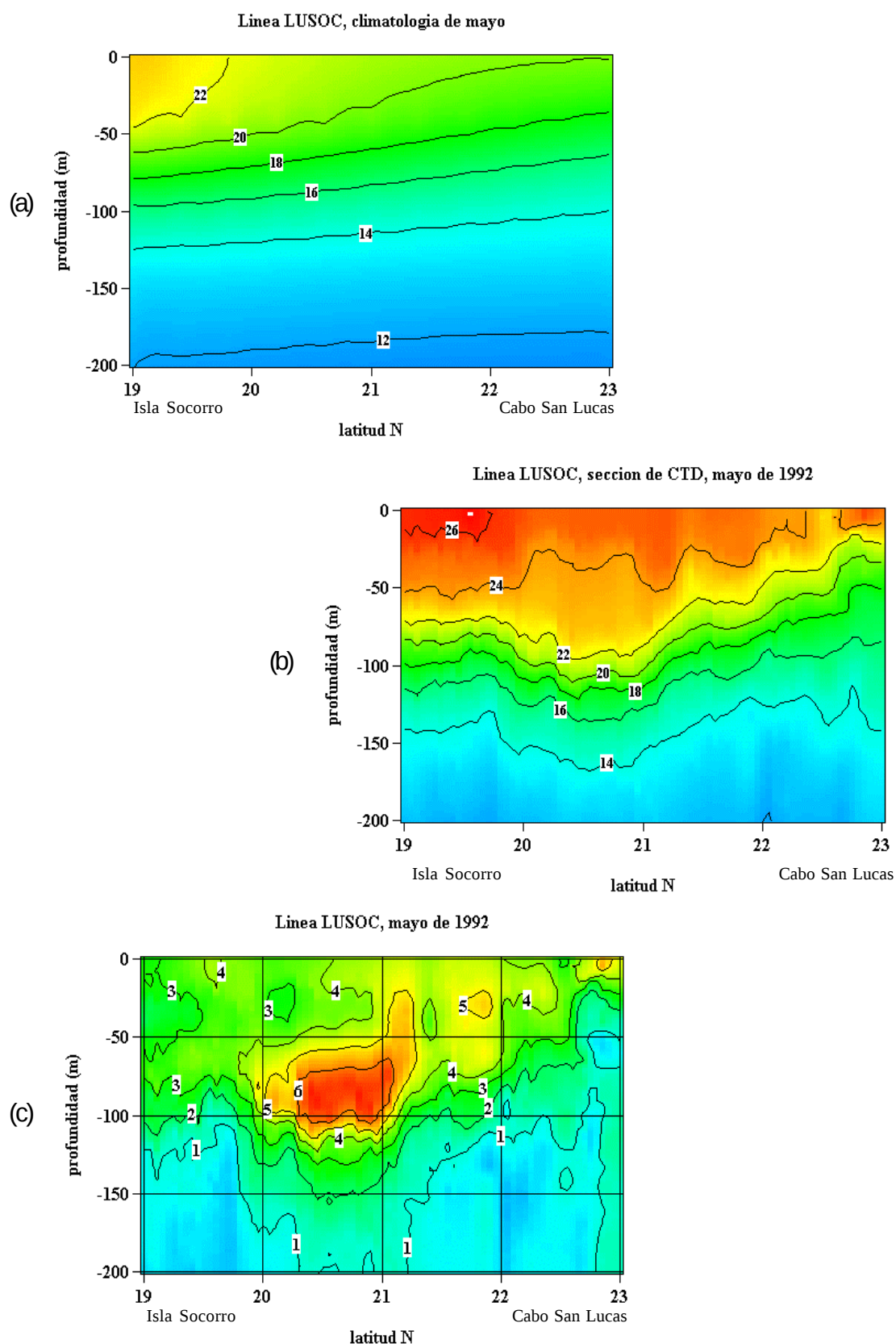
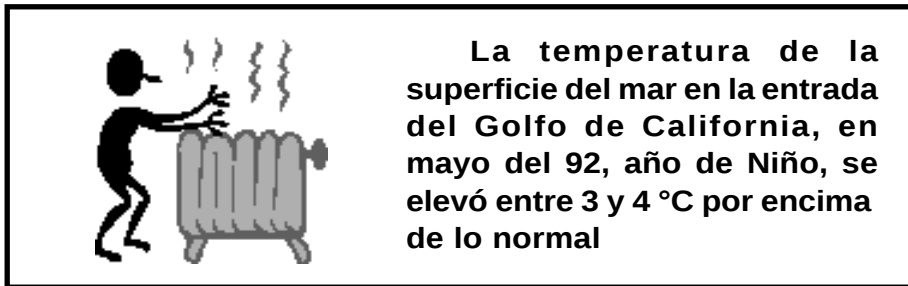


Fig. 3.12. Cortes transversales de la temperatura del mar entre Isla Socorro y Cabo San Lucas. (a) Climatología de mayo, (b) temperaturas para mayo de 1992, (c) anomalías de temperatura para mayo de 1992.

En años normales, la Corriente de California baja hasta alcanzar la superficie frente a Cabo San Lucas dejando aguas frías y poco salinas dentro de una delgada capa mezclada superficial. Sin embargo, en mayo de 1992 la capa mezclada frente a Cabo San Lucas tuvo un grosor de 20 metros con anomalías positivas de 4 a 5°C, evidenciando la extensión alcanzada por las aguas tropicales debido al Niño 91-93. La capa mezclada se profundizó desde Cabo San Lucas (23°N) hacia el sur, alcanzando los 90 m en el núcleo del giro. En cuanto a los valores de la temperatura cercana a la superficie, alrededor de Cabo San Lucas, la presencia de El Niño resultó en temperaturas mayores a los 24°C, 4°C por encima de la normal. Anomalías similares se observaron en Isla Socorro. La pendiente de la termoclina entre años de Niño (1992) y de no-Niño es similar, al parecer indicando la presencia de un flujo promedio hacia el este a lo largo de toda la sección es decir, la influencia de la Corriente de California.

En conclusión, para el evento de Niño 1992 el impacto más notable corresponden a las alteraciones de las temperaturas superficiales y la profundización de la capa mezclada, no siendo significativos los cambios en la pendiente promedio de la termoclina a la entrada del Golfo de California.



La sección Cabo San Lucas - Isla Socorro (LUSOC) para junio de 1993 (Fig. 3.13) muestra que la entrada al Golfo de California recuperó las condiciones casi normales después de El Niño 92. Por debajo de los 100 m de profundidad las anomalías en temperatura estuvieron entre 0 y 1°C, es decir, muy cercanas a la normal. Las anomalías en la superficie son las de mayor magnitud y sus características cálidas están afectadas por sistemas de mesoescala.

En junio de 1998, casi al final de un episodio de Niño, y a diferencia de 1992, no se observó dominancia de estructuras de mesoescala. La estructura de la termoclina sin embargo, entre las isotermas de 14 y 20°C, si resultó ser muy distinta a la climatología. La característica pendiente sur - norte sólo se encontró al norte de 22°N, en la vecindad de Cabo San Lucas.

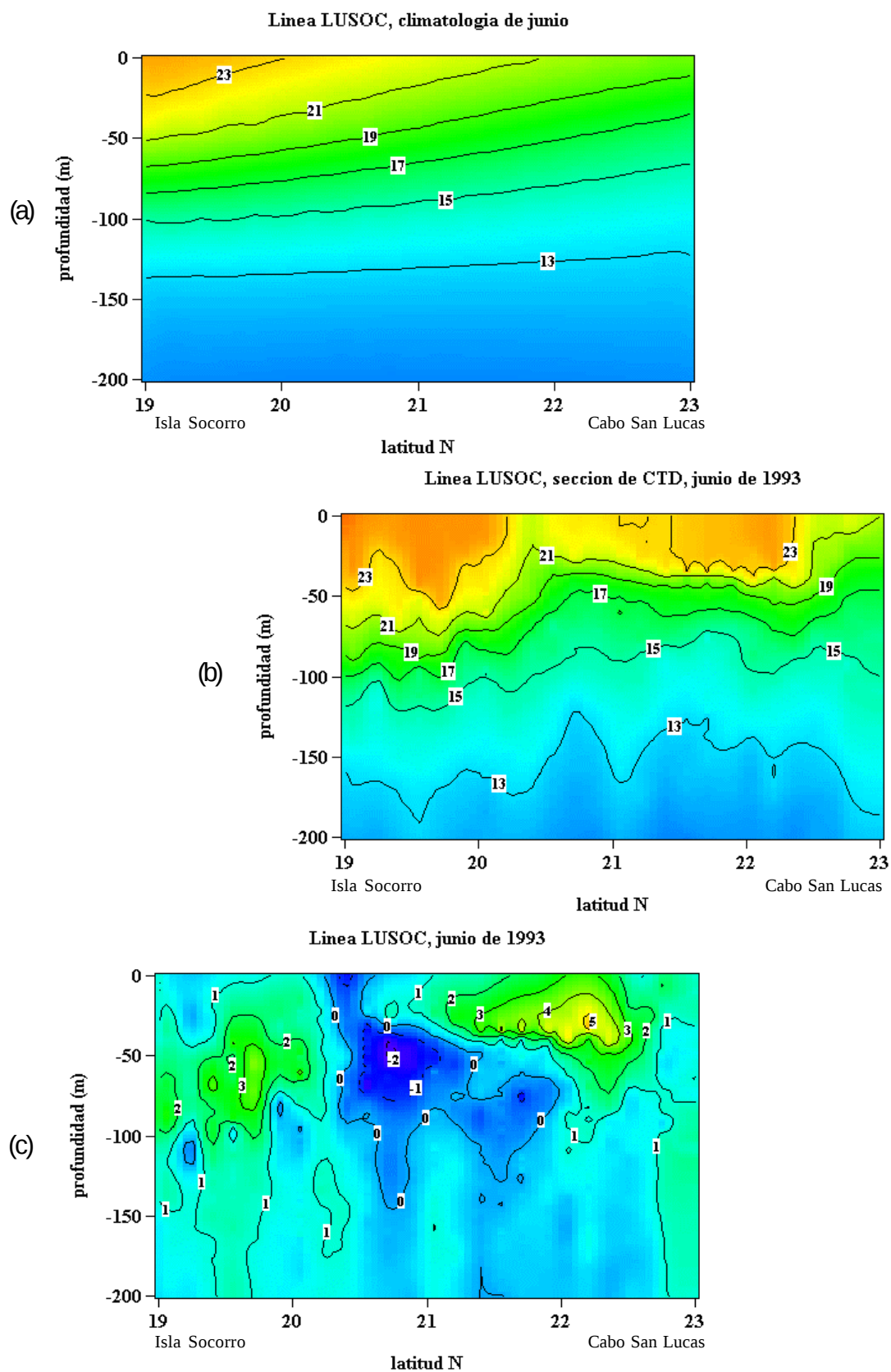


Fig. 3.13. Como en la Fig. 3.12, pero durante junio de 1993.

Las temperaturas superficiales típicas de la Corriente de California cambiaron en toda la sección. En su lugar se tuvo una capa mezclada superficial profunda y cálida, que alcanzó los 25 m frente a Cabo San Lucas y llegó a los 50 m cerca de Isla Socorro. Las anomalías de temperatura superficial fueron menores que en 1992, pero abarcaron una fracción mayor de la sección, entre 3°C y 5°C, cerca de la superficie, y en otros dos lugares, entre 50 y 100 m. La intensidad de este evento del Niño pareció haber inhibido la circulación del extremo sur de la Corriente de California. La ausencia de actividad de mesoescala hace suponer que la zona de confluencia fue desplazada hacia el norte de la entrada al Golfo de California.

Algunas señales típicas de El Niño o La Niña en la temperatura superficial del mar en el Pacífico Mexicano son:

- i) Durante los años concurrentes o inmediatamente posteriores al Niño, la temperatura superficial del mar en el Pacífico Mexicano está por encima de lo normal. Lo contrario ocurre durante los años previos a la Niña.
- ii) Las tasas de pérdida de calor en el Golfo de California en otoño son menores en años Niño que en años Niña.
- iii) En años de Niña la temperatura superficial del mar característica en el Pacífico Mexicano Subtropical se extiende hacia el sur hasta latitudes cercanas a Cabo San Lucas con bajas temperaturas de 16 a 19 °C. Por otro lado, la extensión de tales temperaturas superficiales en años de Niño alcanza a la Bahía de San Quintín.
- iv) El Golfo de California es notoriamente más caliente que el Pacífico Mexicano Subtropical en inviernos posteriores a un Niño intenso.

Los cambios en la estructura del Pacífico Mexicano por causa de El Niño resultaron en afectaciones en la productividad de la región, registrándose cambios en la abundancia y distribución de las poblaciones de peces, desde las lagunas costeras hasta las provincias oceánicas. El aumento en la temperatura superficial del mar y más que todo, en la cantidad de calor disponible, pareció impactar el clima de la región (Fig. 3.14). Por ejemplo, huracanes con mayor duración o intensidad podrían ser el resultado de más energía disponible en el mar (ver capítulo 2).



Las alteraciones más importantes en el Pacífico Mexicano están relacionadas con un aumento en la capa de mezcla y elevadas temperaturas de superficie del mar.

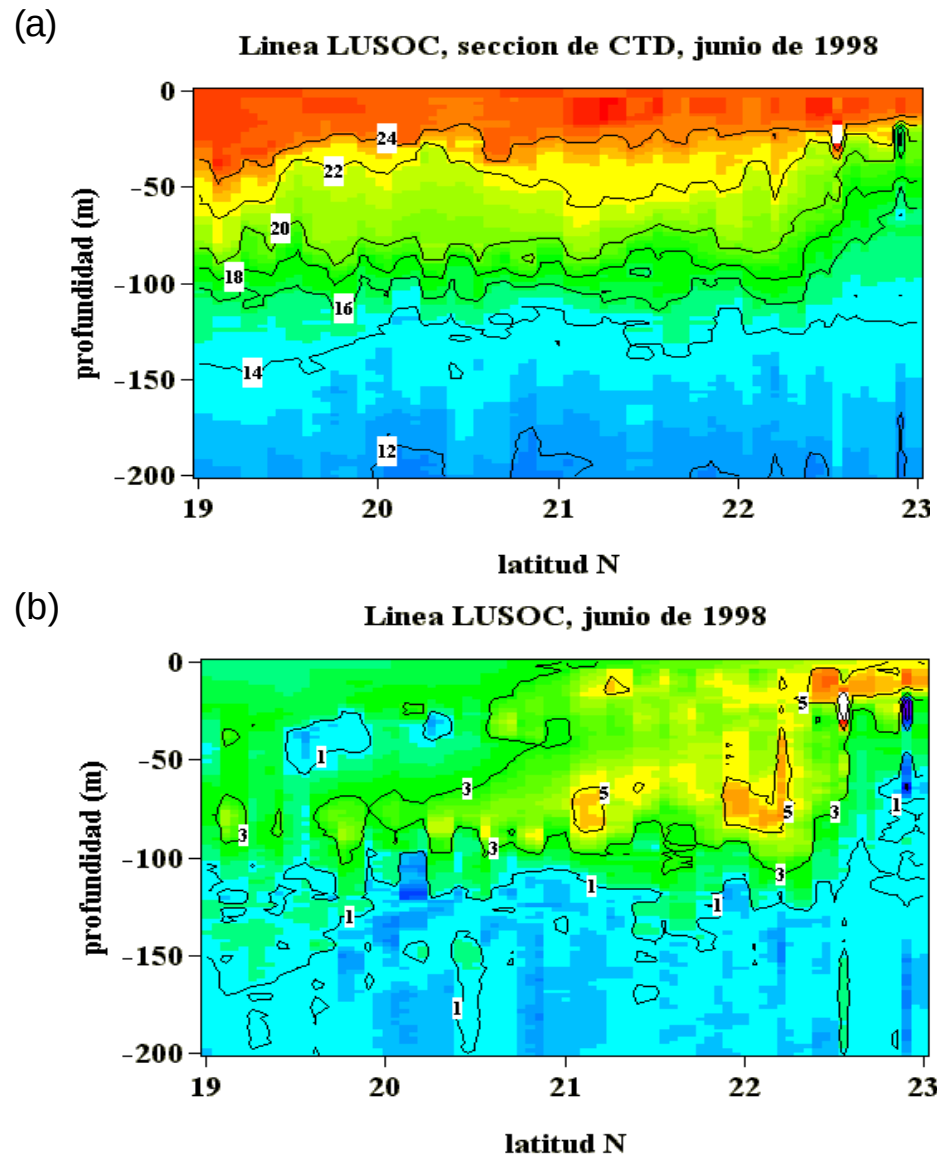


Fig. 3.14. a) Temperatura del océano y b) anomalías de temperatura del océano, entre Cabo San Lucas e Isla Socorro, durante junio de 1998.

La costa de Jalisco: un estudio de caso

Durante 1997 y 1998, el Departamento de Física de la Universidad de Guadalajara, realizó investigaciones sobre la variabilidad de los procesos dinámicos del océano Pacífico en las áreas definidas dentro de un Polígono de estudio que se encuentra situado en la zona costera de los estados de Jalisco y Colima (Fig. 3.15), las cuales incluyeron levantamientos oceanográficos mensuales con sondas de temperatura, salinidad y presión (CTD) ondulante (Filonov et al., 1996). Las observaciones abarcan la capa superior (150 m) del océano.

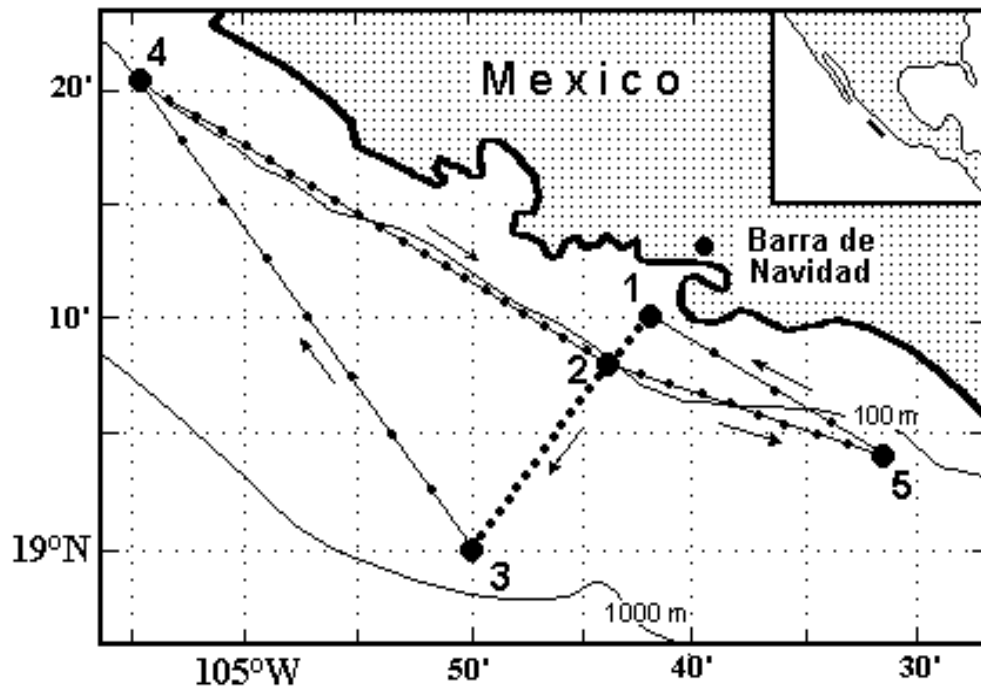


Fig. 3.15.- Esquema de ubicación del Polígono frente a la costa de México, en el cual se realizó el monitoreo de El Niño 1997-1998. Con puntos gruesos se muestran zonas de cambio de dirección de los transectos oceanográficos. Con puntos pequeños se señala la posición de los muestreos verticales con la sonda de temperatura, salinidad y presión (CTD, SBE-19, ondulante).

La masa de agua superficial en la región del polígono se encuentra en la transición entre la masa de Agua Tropical Superficial y Aguas Subsuperficiales Subtropicales. La capa superficial, hasta los 50 ó 75 m, se encuentra ocupada por aguas de alta temperatura y salinidad características de Agua Tropical Superficial. Bajo ésta se encuentra una capa entre los 75 y los 200 m, de Agua Subsuperficial Subtropical.

Los campos de temperatura y salinidad en el Polígono, durante El Niño 1997-98, se compararon con los de 1996, año relativamente normal. Los análisis de los campos medios mensuales de temperatura y salinidad se analizan desde junio de 1997. Al inicio del periodo se produjo un desplazamiento de aguas más templadas y menos salinas que venían del norte hacia la costa Mexicana, probablemente por el debilitamiento de los vientos alisios.

A partir de junio de 1997, los índices T-S superficiales presentaron influencia de la masa de Agua del Pacífico Ecuatorial (APE), resultando en aguas cálidas en las capas superiores (Fig. 3.16). La ocurrencia de El Niño claramente afectó la distribución vertical de la temperatura y de la salinidad, desde la superficie hasta el nivel de 120-130 m de profundidad, la cual cambio notoriamente desde julio hasta diciembre de 1997. La salinidad aumentó casi linealmente desde 34 usp en la superficie, hasta 34.7 usp en el nivel de 150 m. Desde septiembre de 1997, con el ingreso de grandes volúmenes de Agua Ecuatorial, el perfil vertical de la temperatura muestra una capa homogénea de agua caliente ocupando la región de estudio. En diciembre de 1997 ésta capa se situó entre la superficie y el nivel de 70 m con una temperatura de 28.5 °C. Al mismo tiempo, en la superficie la salinidad disminuyó paulatinamente hasta 33.5 usp y en la capa de temperatura homogénea, ésta se incrementó con la profundidad hasta valores de 34 usp.

El ingreso de grandes volúmenes de agua ecuatorial durante 1997, por causa de El Niño, provocó un aumento en el espesor de la capa de mezcla en los mares de Jalisco.



La señal El Niño alcanzó un máximo en enero de 1998 cuando Agua Tropical Superficial (ATS), con temperatura cercana a los 27.5 °C y salinidad menor a 34 usp, ocupó los 80 m superficiales del polígono. En febrero de 1998, la capa homogénea, con temperaturas de 25 °C presentó un grosor de 40 m, con una salinidad superior a los 34 usp. Hasta marzo de 1998, el polígono aún conservaba diferencias significativas en la distribución vertical de temperatura con respecto a 1996, con anomalías de hasta 4 o 5 °C en ciertas profundidades. Para mayo de 1998, la estructura de la región comenzó su retorno a condiciones como las de mayo de 1996, cuando comenzaron a desaparecer los efectos de El Niño 1997-1998.

La figura 3.17 presenta los datos promediados del polígono en diagramas TS obtenidos para los meses de septiembre, diciembre, febrero y abril en los años de 1996, 1997 y 1998. Estos muestran claramente cada etapa de variación de los índices TS de las masas de agua en la región de estudio durante lo que al parecer fue El Niño más intenso de este siglo. En septiembre de 1997 el Agua del Pacífico Ecuatorial abarcó desde la superficie hasta el nivel de 80 m, pero en diciembre del mismo año, la capa de 0-80 m presentó los índices TS característicos del Agua Tropical Superficial (ATS), tal vez debido a la mezcla del agua ecuatorial con el agua local, situándose las aguas ecuatoriales por debajo de estas en una delgada capa entre 80 y 93 m. En febrero, las aguas tropicales ocuparon tan sólo 50 m de profundidad, y en abril, éstas disminuyeron hasta los 30m.

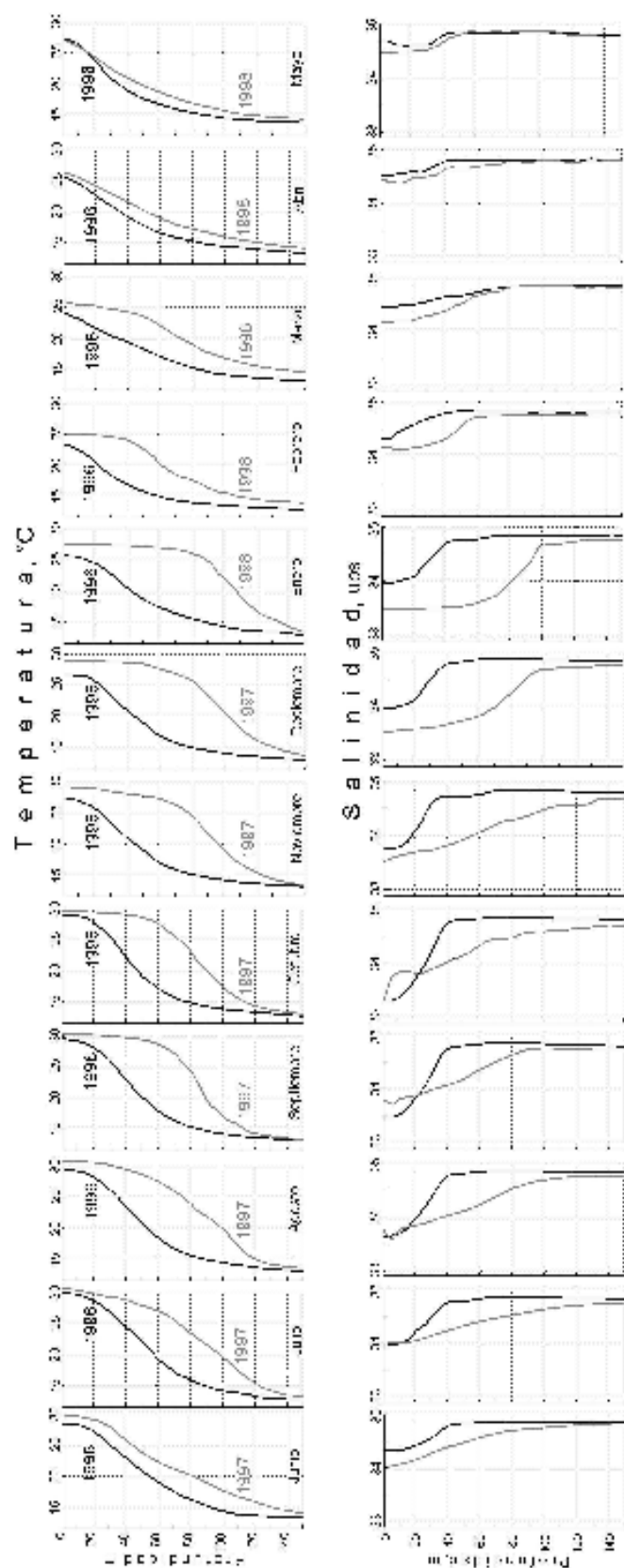


Fig. 3.16.-Perfiles verticales de temperatura y salinidad para 1996 (línea delgada) y para 1997 y 1998 (línea gruesa).

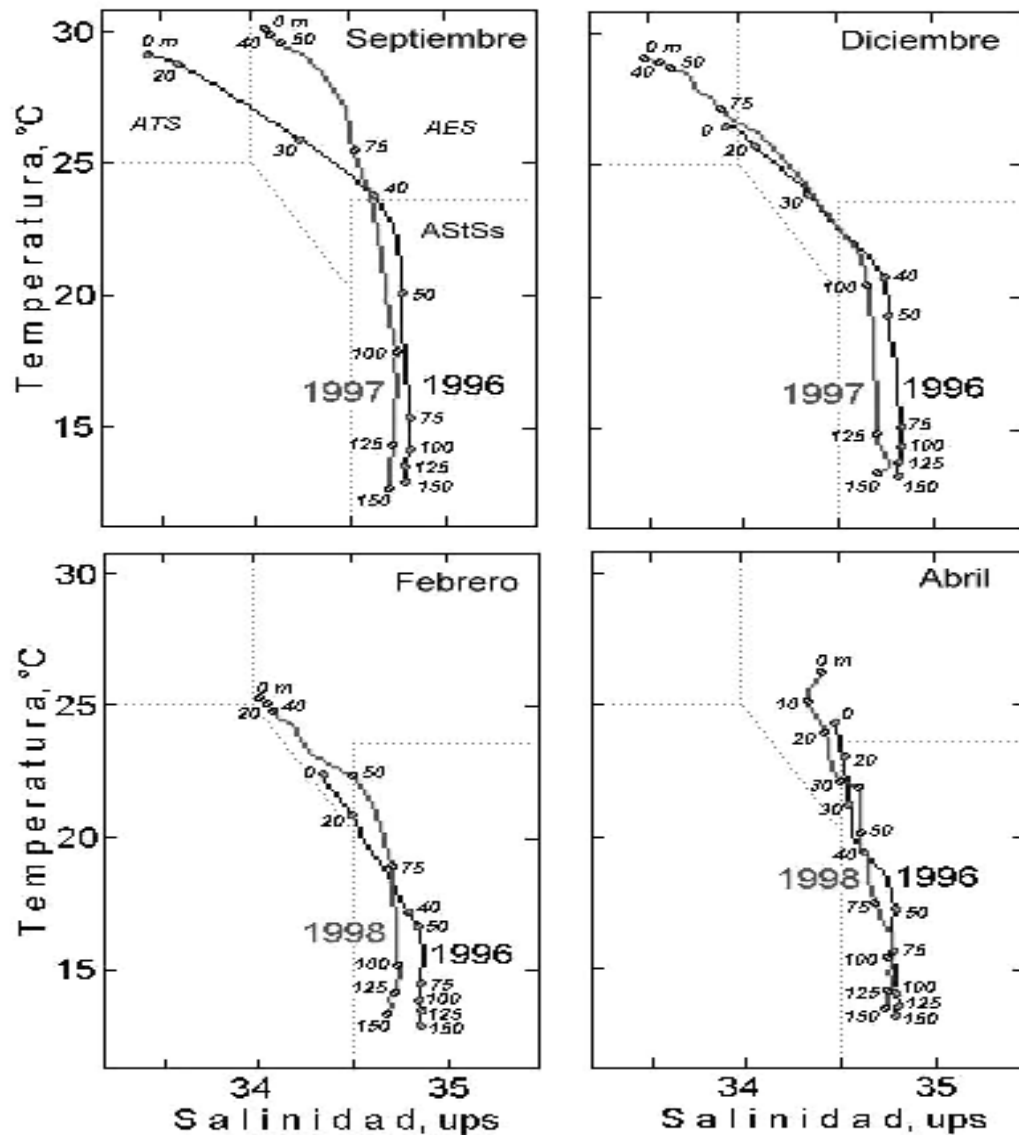


Fig. 3.17.- Diagramas TS de la costa de Jalisco, durante 1997 y 1998 .

La Alberca de Agua Cálida y el clima mexicano

Una línea de investigación de gran actualidad, es la que estudia las interacciones entre el océano y la atmósfera, por sus repercusiones en el clima global. Por ejemplo, existen zonas en el océano donde se registran temperaturas superficiales iguales o superiores a 28°C, llamadas “albercas de agua caliente”, que favorecen el desarrollo de convección profunda y precipitación (Webster 1994). Por su extensión, el Pacífico Tropical Occidental es capaz de modular gran parte de la circulación de los trópicos. Por ello, las fluctuaciones intraestacionales e interanuales modifican el clima de gran parte del planeta. El caso más conocido es El Niño.

En el Pacífico Mexicano, frente a las costas de Michoacán y Guerrero, la alberca de agua caliente juega un papel importante en la formación y dinámica de la ZITC. Parte de la alberca alcanza temperaturas superiores a 28°C la mayor parte del año. Las temperaturas superficiales exhiben un ciclo anual marcado, extendiéndose a la entrada al Golfo de California (23°N) en octubre, y retrayéndose a 17°N de abril a junio, siguiendo en cierta forma la mínima y máxima intensidad de la Corriente de California (Lynn y Simpson 1987). La máxima incursión al sur se registra entre abril y mayo, llegando a 5°N , mientras que en enero y febrero puede alcanzar 16°N . Entre noviembre y abril, la zona costera de la alberca de agua caliente del Pacífico mexicano se parte en dos debido al enfriamiento que se registra entre las latitudes 9 y 16°N por la influencia de los Nortes en los golfos de Tehuantepec y Papagayo, (Trasviña 1991). La temperatura de verano en el Pacífico Tropical Mexicano parece alcanzar un par de máximos relativos durante junio y agosto, debido a interacciones entre radiación, nubes, vientos y lluvias, en un proceso típico de interacción océano-atmósfera. Tales fluctuaciones en la temperatura superficial del mar (Fig. 3.18) parecen modular la actividad convectiva en el sur de México, en procesos como la canícula (Magaña et al 1999).

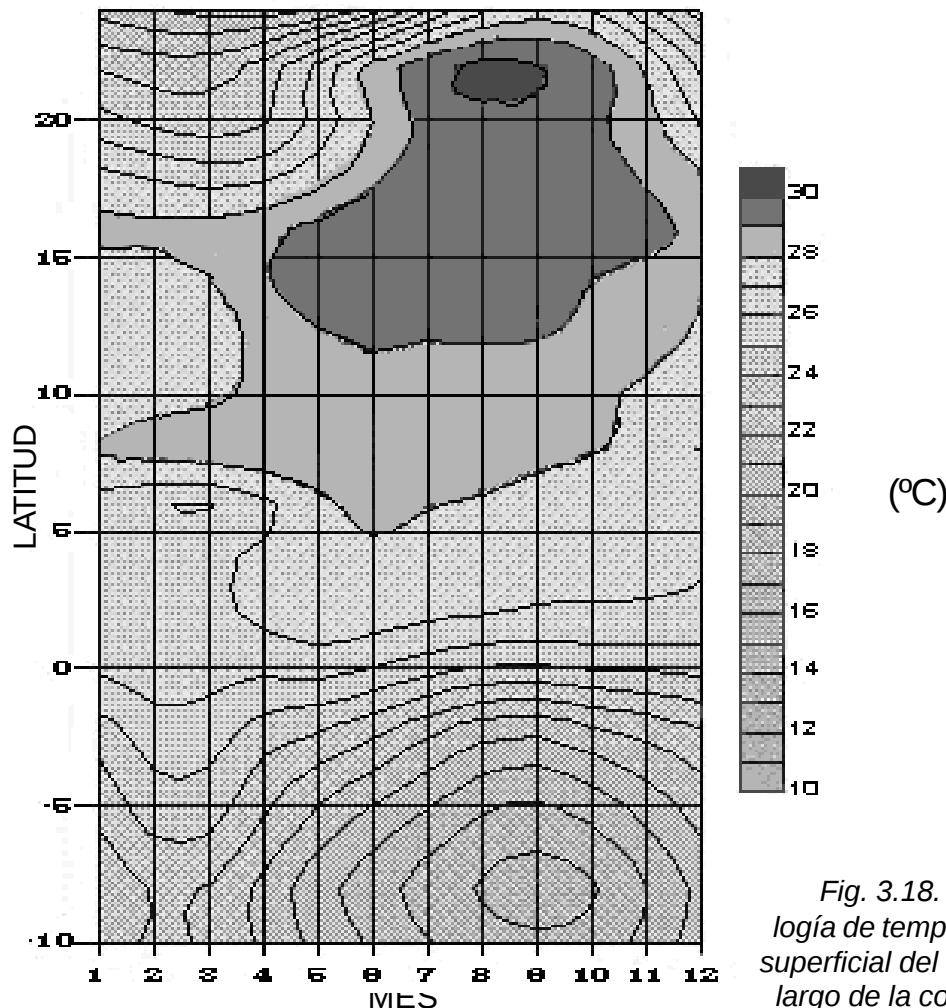


Fig. 3.18. Climatología de temperatura superficial del mar a lo largo de la costa del Pacífico del este ($^{\circ}\text{C}$).

A todo lo largo de la costa del Pacífico tropical, el modo dominante de variabilidad interanual corresponde a El Niño y La Niña. Las señales cálidas durante El Niño, y frías durante La Niña, son claras. En la alberca de agua caliente del Pacífico mexicano, se ve una disminución en amplitud de este cuerpo de agua durante periodos del Niño. Por ejemplo, eventos de Niño intensos registrados durante los años 57-58, 82-83 y 97-98 generaron calentamientos intensos en las dos localidades extremas de la alberca, Quepos y Punta Eugenia, con anomalías entre 1 y 2°C. En cambio, las dos series que corresponden a Tehuantepec y Cabo Corrientes, muestran anomalías menores, con valores por debajo de 1°C. Finalmente, en la serie de Acapulco las anomalías máximas sólo alcanzan 0.8°C durante el Niño 57-58 y entre dos y tres décimas de grado durante los eventos 82-83 y 97-98.

Durante la fase fría de La Niña, como en 54-55, 73-74, 75-76 y 88-89, las localidades más alejadas de la alberca de agua caliente del Pacífico mexicano muestran anomalías entre -1 y -2°C, mientras que en Acapulco las anomalías varían alrededor de -0.5°C.

Fuera de los eventos asociados a El Niño, las series registran pocas desviaciones importantes. Tres eventos son especialmente notables: 1962 y 1985, que corresponden a enfriamientos, sin involucrar a ningún evento La Niña, y un calentamiento, 1990, que no coincide con ningún evento El Niño (Fig. 3.19a). En otros años, la estabilidad de las altas temperaturas superficiales se mantiene durante eventos no relacionados con El Niño. Este comportamiento ha sido una constante durante los últimos 48 años y es una característica única dentro del Pacífico Tropical Oriental.

Un análisis de temperatura superficial del mar a lo largo de la costa del Pacífico de las Américas muestra que eventos de Niño, como en 1982-83, 1986-87 y 1997-98, corresponden a un calentamiento, mientras que durante La Niña 1988-89, aparece una disminución de la temperatura. El diagrama de anomalías (Fig. 3.19b) permite observar la atenuación de la variabilidad térmica interanual en la región de la alberca de agua caliente del Pacífico Mexicano. En el periodo 1983-1998 se presentan cuatro eventos El Niño. Todos son evidentes en las latitudes cercanas y al sur del Ecuador. Tres de ellos: 82-83, 92-93 y 97-98, también se manifestaron en latitudes norteñas como eventos calientes característicos de la zona de California (Norton et al., 1985). Estos eventos de El Niño involucran mecanismos oceánicos y/o atmosféricos que transmiten la señal a lo largo del Pacífico Nororiental. En cambio, el evento El Niño de 1986-87 no mostró efectos extratropicales y corresponde al tipo Niño débil (Norton et al. 1985).

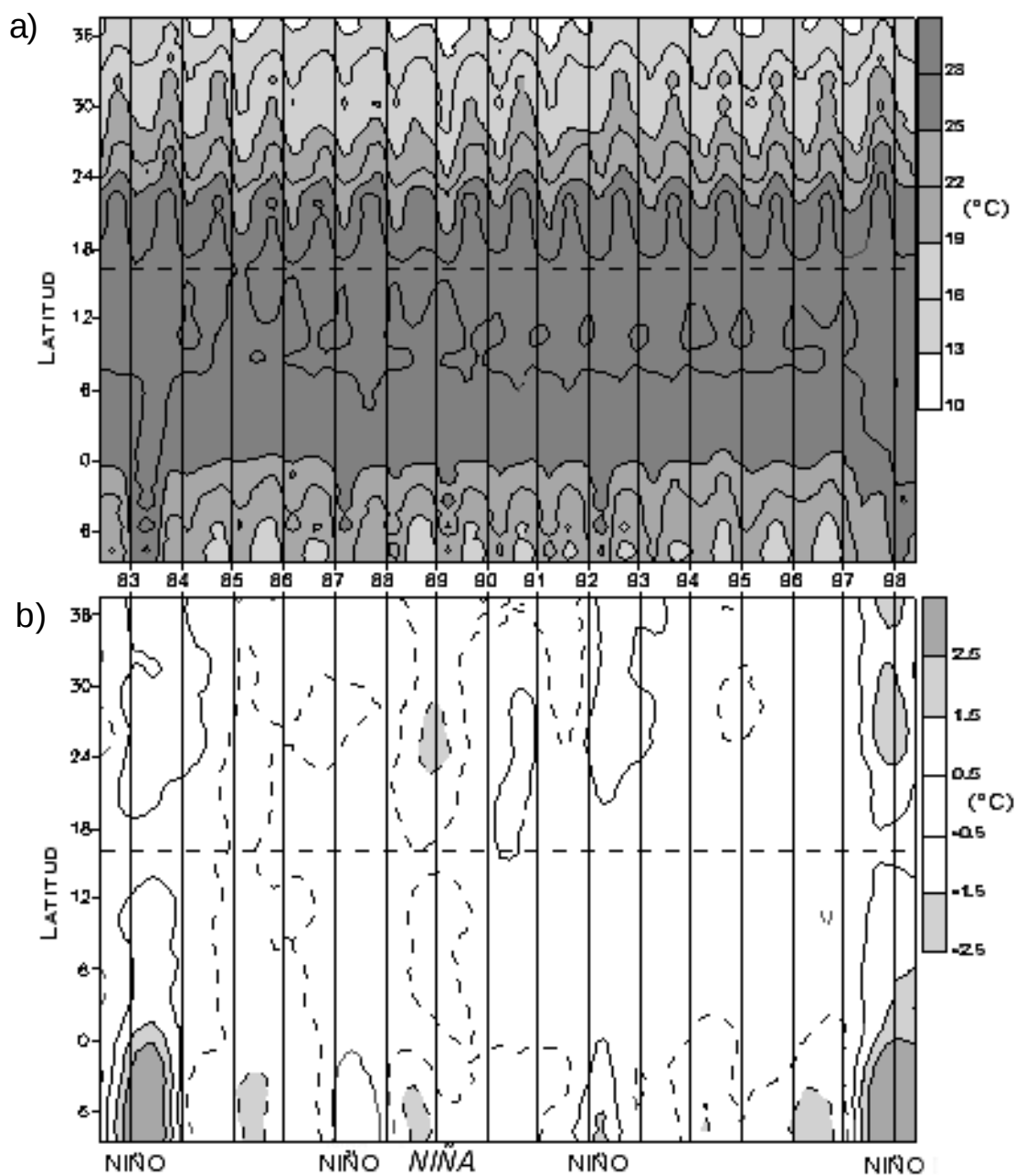


Fig. 3.19. Evolución (año-mes vs. latitud) de a) la temperatura superficial del mar (medias mensuales) para cuadrantes costeros a lo largo de el Pacífico Mexicano y b) de anomalías de las medias mensuales. Las anomalías negativas se grafican con contornos punteados. Márgen inferior: eventos El Niño registrados durante el periodo. En ambos paneles, 16°N se identifican con la línea punteada.

La Alberca de agua caliente del Pacífico Mexicano es un sistema que además de relacionarse con eventos de El Niño, establece nexos con otros eventos interanuales diferentes. El primero de ellos, el enfriamiento de 1985, que se registró en los gráficos como una lengua de anomalías frías que se extiende casi a todo lo largo de la costa, fue una señal intensa y persistente hacia las latitudes ecuatoriales. La fuerza de esta señal fue tal que, por única vez en el periodo, la alberca de agua caliente desapareció durante varios meses y en su lugar se registraron anomalías negativas menores a -0.5°C (Lluch-Cota et al. 1997). Se ha analizado este fenómeno de enfriamiento en el Pacífico Tropical Mexicano durante 1985, cuando se presentó una termoclina muy somera, pero su origen y naturaleza no han sido completamente explicados. Una hipótesis preliminar es que en ese año se presentaron vientos intensificados que pudieron favorecer la ocurrencia de surgencias y/o de mezcla vertical.

El segundo evento anómalo es el calentamiento de 1990, que se observa como una lengua de anomalías cálidas que se originó próximo al núcleo de la alberca de agua caliente (16°N) y que, aparentemente, se propagó hacia el norte hasta alcanzar las latitudes 30°N . Este evento, muy localizado en la costa noroccidental de México, fue identificado como un calentamiento de latitudes medias (Salinas-Zavala et al. 1992). Este es un tipo de variabilidad interanual, originalmente descrita por Norton et al. (1985) para la región de la Corriente de California, que hasta ahora ha recibido muy poca atención. Por ello es significativo que 1990 sea la única ocasión, dentro del periodo analizado, en que el núcleo de la alberca de agua caliente registró anomalías superiores a 0.5°C correspondientes a su mayor intensificación. Para el caso del noroeste Mexicano, éste fue también un año benigno en términos de su baja aridez meteorológica (Salinas-Zavala et al. 1998), con beneficios especialmente para Baja California Sur, donde se modificaron los patrones de precipitación promedio, con lluvias abundantes durante todo el invierno (Salinas-Zavala et al. 1992).

En resumen, aunque la mayor parte de la variabilidad interanual de la alberca de agua caliente del Pacífico Mexicano está asociada con fenómenos El Niño o La Niña, en ciertos años aparecen anomalías térmicas que pueden provocar cambios en el clima regional de México, principalmente a lo largo de la costa del Pacífico.

4 El Niño y la Agricultura

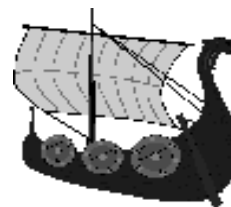
Cecilia Conde¹, Rosa María Ferrer¹, Raquel Araujo¹, Carlos Gay^{1,9}, Víctor Magaña¹, José Luis Pérez¹, Tomás Morales¹, Saturnino Orozco¹⁰.

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.

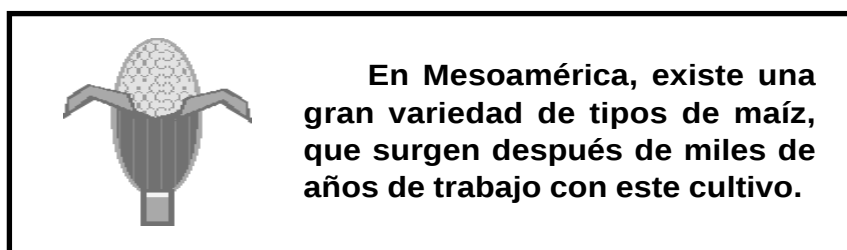
Aunque siempre han existido variaciones del clima, cuando éstas se presentan de manera brusca o persistente generan problemas en las actividades agrícolas, pudiendo resultar en migraciones de las poblaciones afectadas. Por ejemplo, en el siglo XII la población vikinga que habitaba Groenlandia era floreciente, 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.



En Mesoamérica, existe una gran variedad de tipos de maíz, que surgen después de miles de años de trabajo con este cultivo.

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.

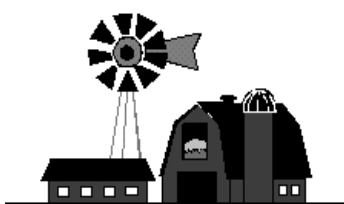
1 Productividad en condiciones óptimas del cultivo

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.

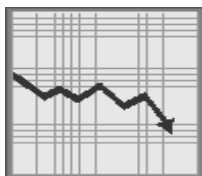
En algunos países hay dudas entre los agricultores sobre los beneficios de usar pronósticos climáticos basados en la señal de El Niño, aún cuando estos pronósticos son cada vez mejores.



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.

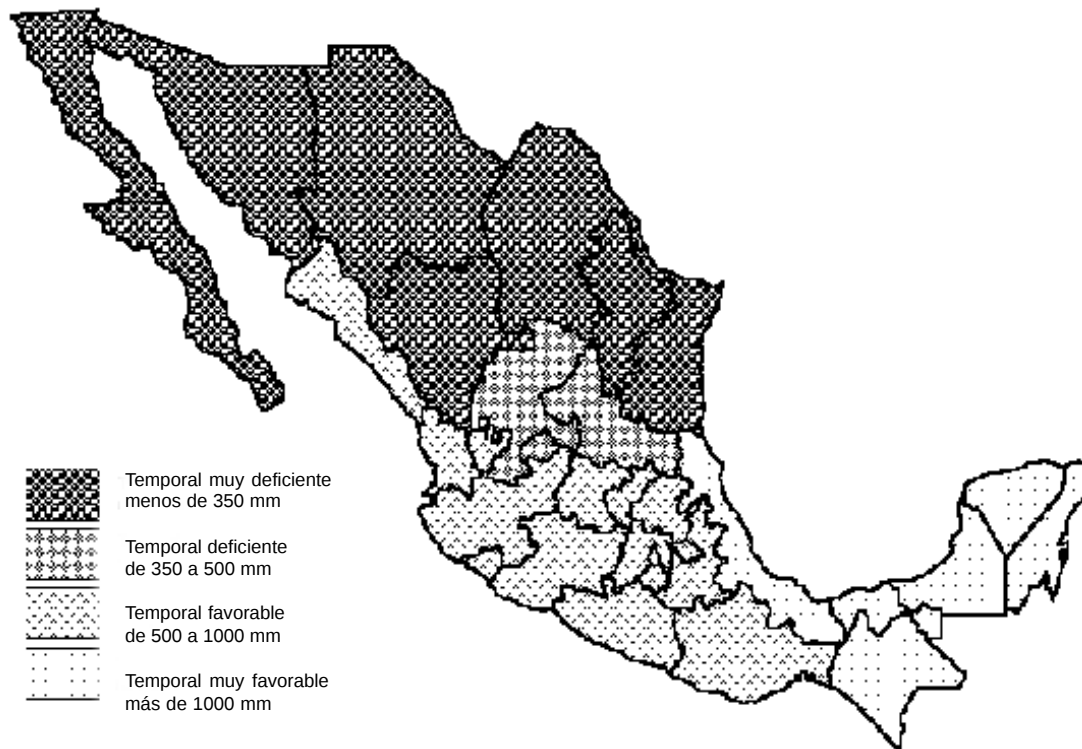


Fig. 4.1. Clasificación de temporal a nivel estatal. Criterios desarrollados a partir de estudios de Bassols (1993) y Flores (1986).

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.

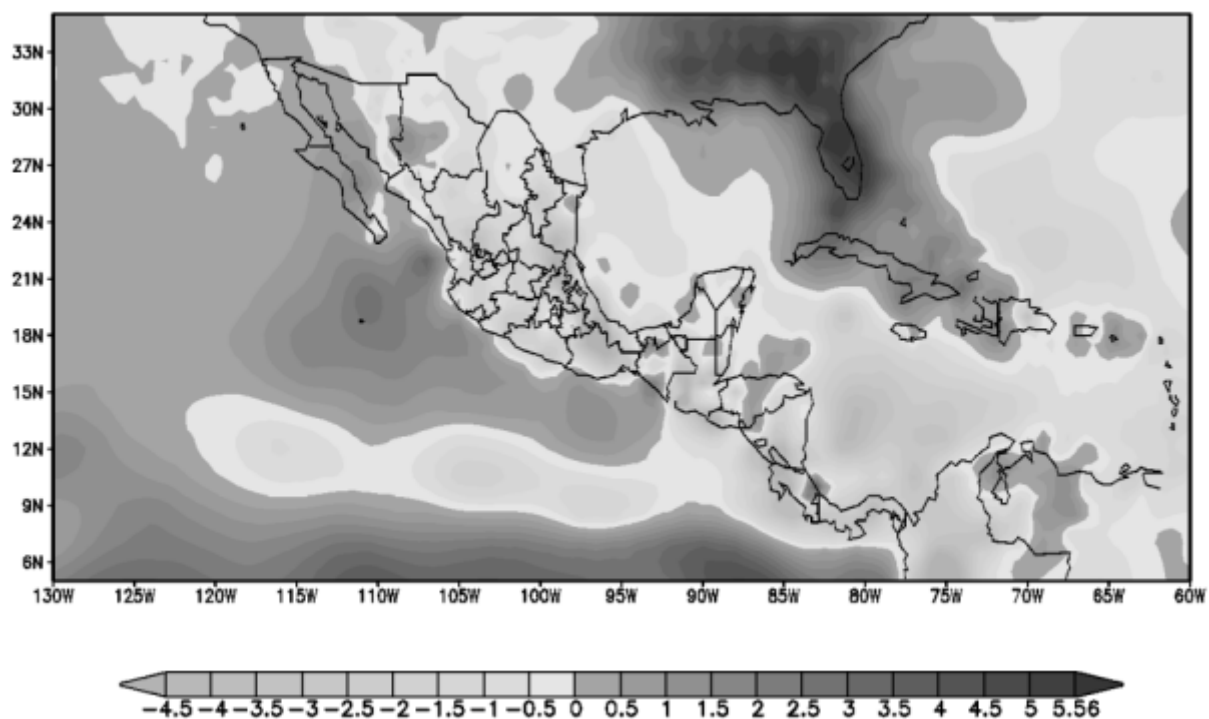


Fig. 4.2. Anomalías de precipitación (mm/día) para el verano de 1997

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.

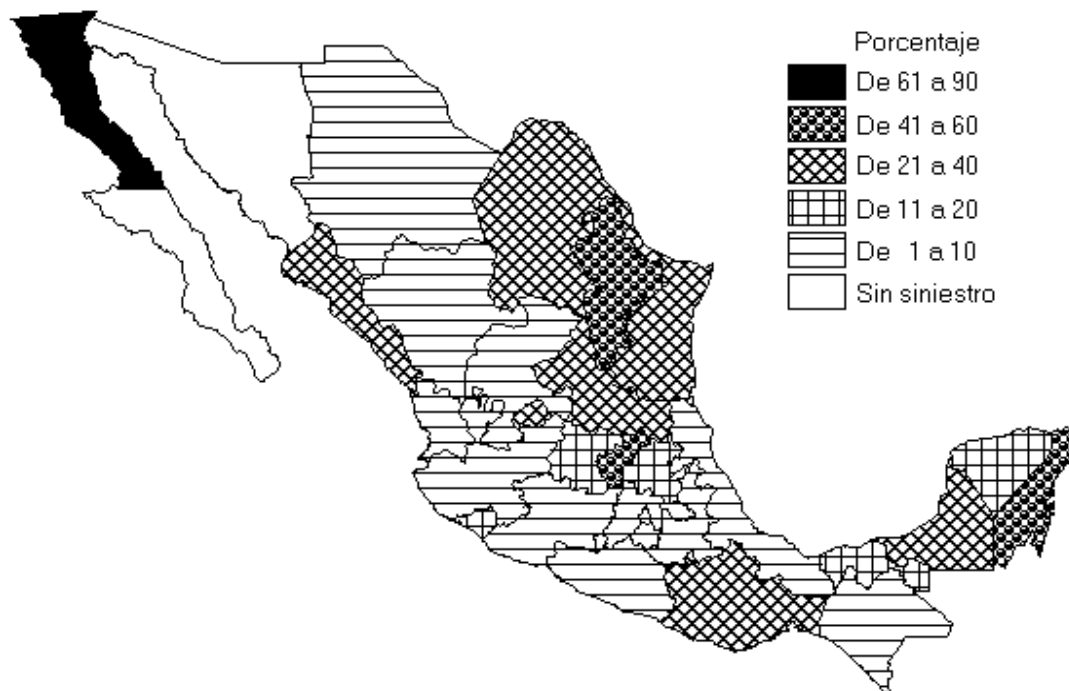


Fig. 4.3a. Superficie sembrada en temporal de maíz-grano con siniestro, ciclo primavera-verano, 1991

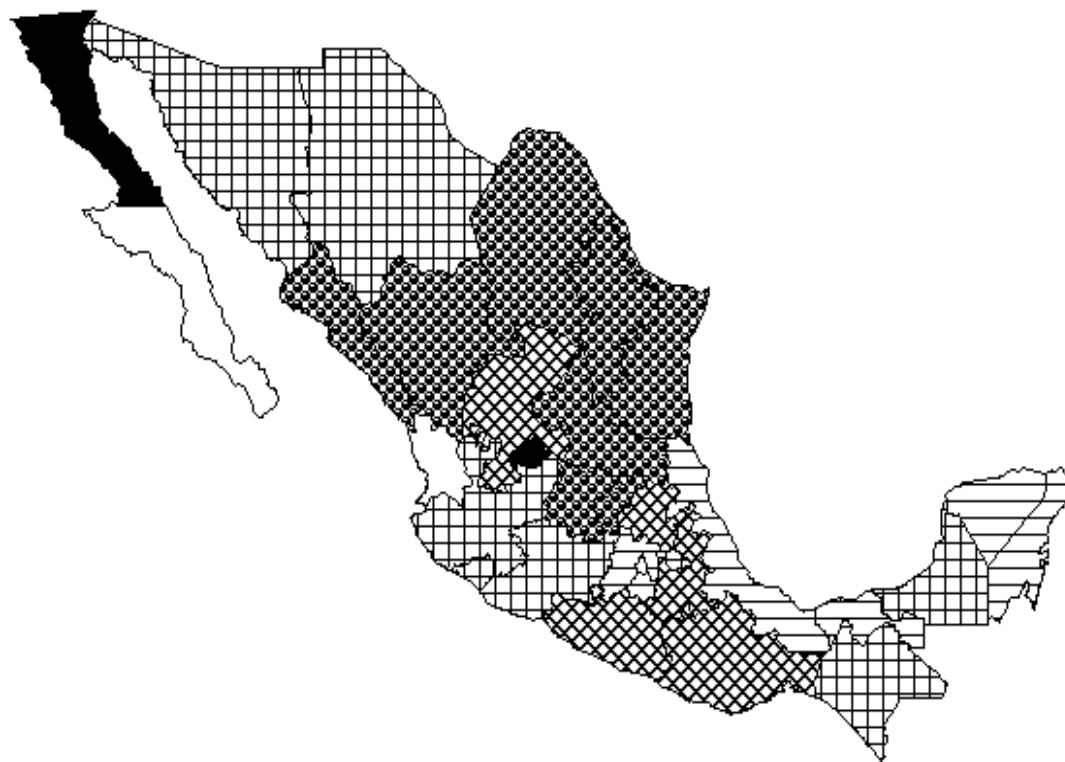


Fig. 4.3b. Superficie sembrada en temporal de maíz-grano con siniestro, ciclo primavera-verano, 1997

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).

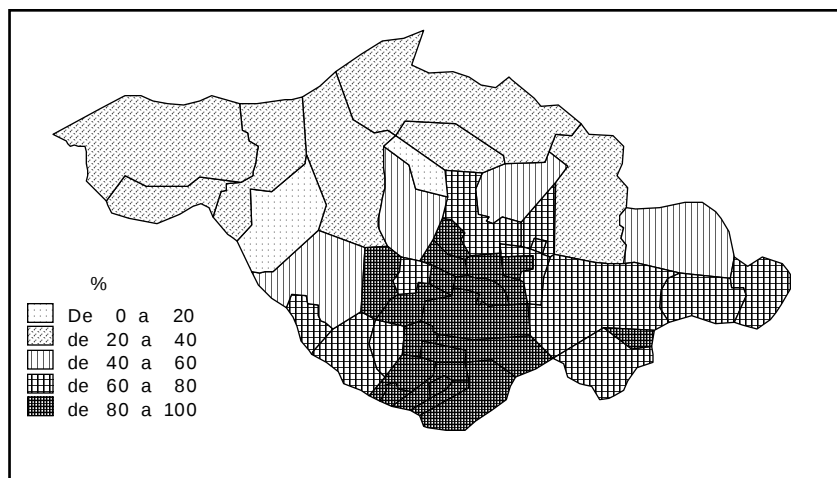


Figura 4.4a. Porcentaje de la superficie de labor sembrada con maíz, ciclo primavera - verano 1991 (INEGI,1994).

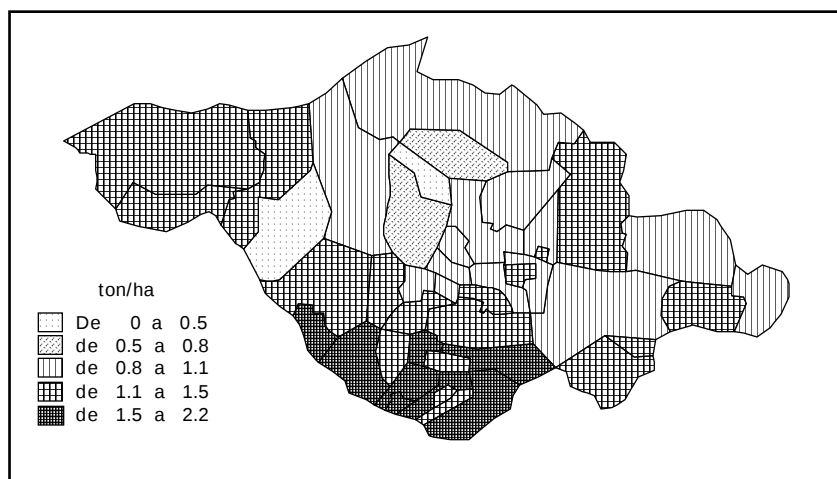


Figura 4.4b. Rendimientos del cultivo de maíz, ciclo primavera - verano 1991 (INEGI,1994).

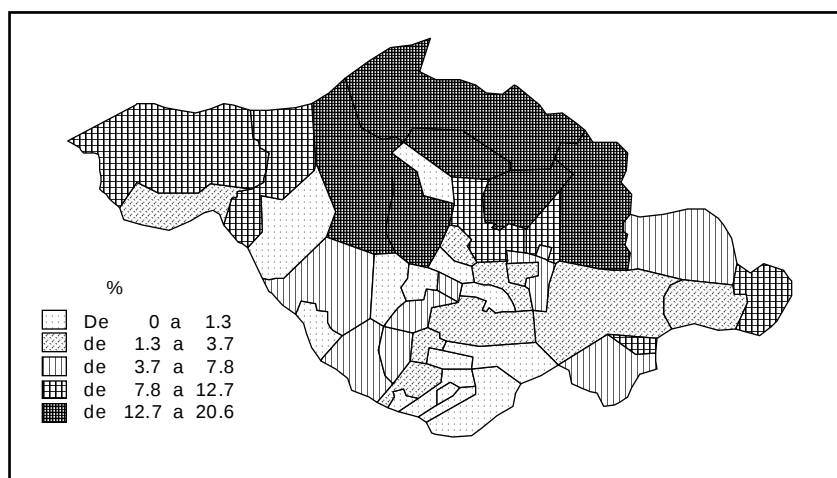


Figura 4.4c. Superficie siniestrada del cultivo de maíz, ciclo primavera - verano 1991 (INEGI,1994).

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.

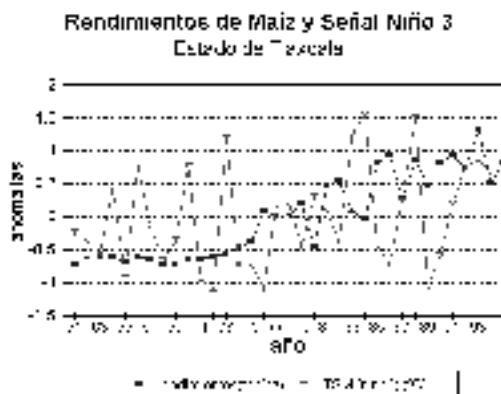


Fig. 4.5 Rendimientos de producción de maíz en Tlaxcala y la señal El Niño

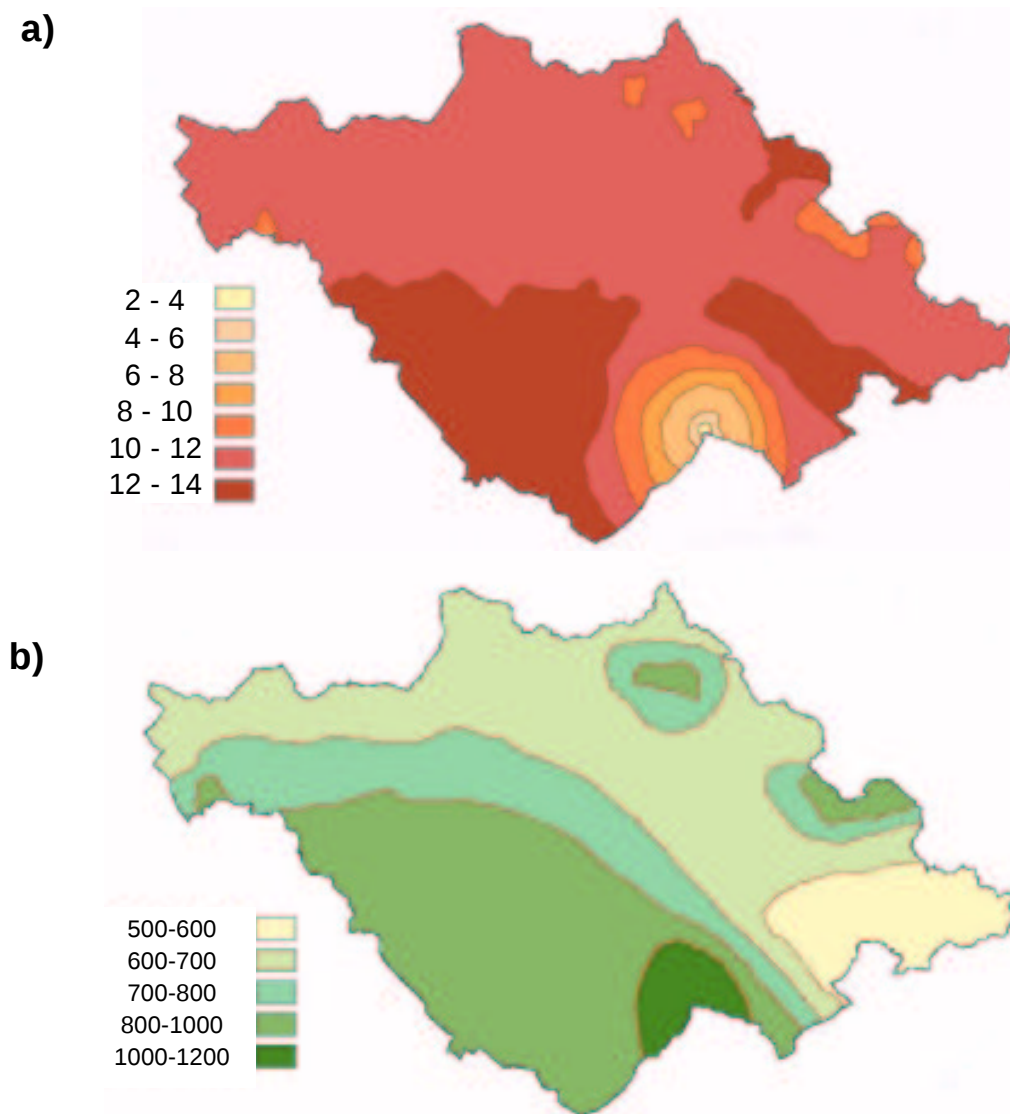


Fig. 4.6 Condiciones medias anuales a) de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y b) de precipitación (mm) para el estado de Tlaxcala.

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).

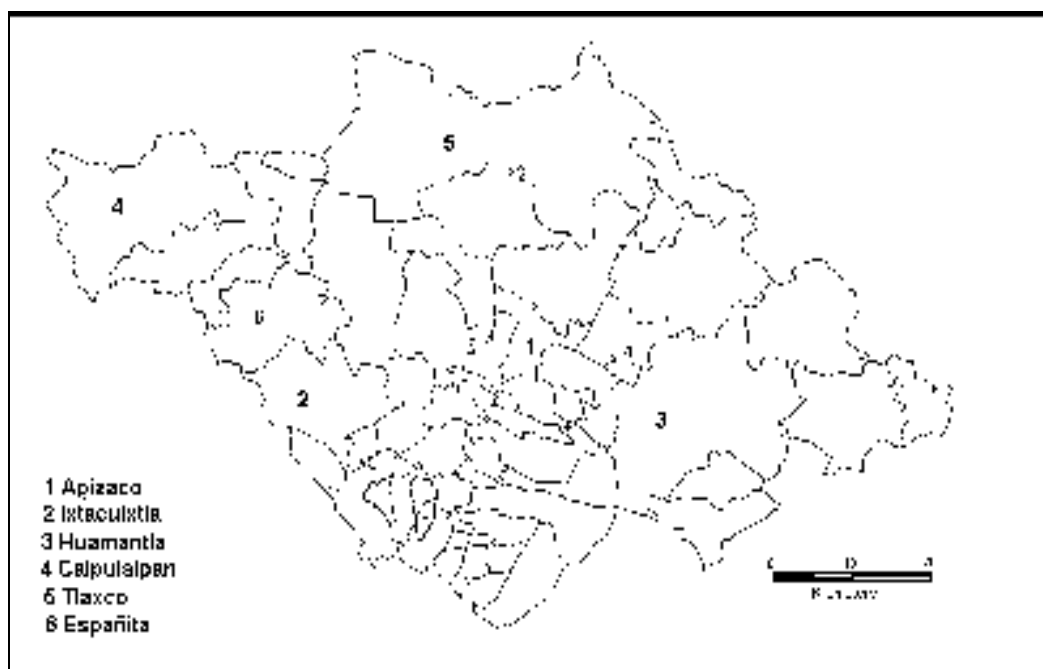


Fig. 4.7 Municipios para los que se emitieron pronósticos de lluvia acumulada mes por mes.

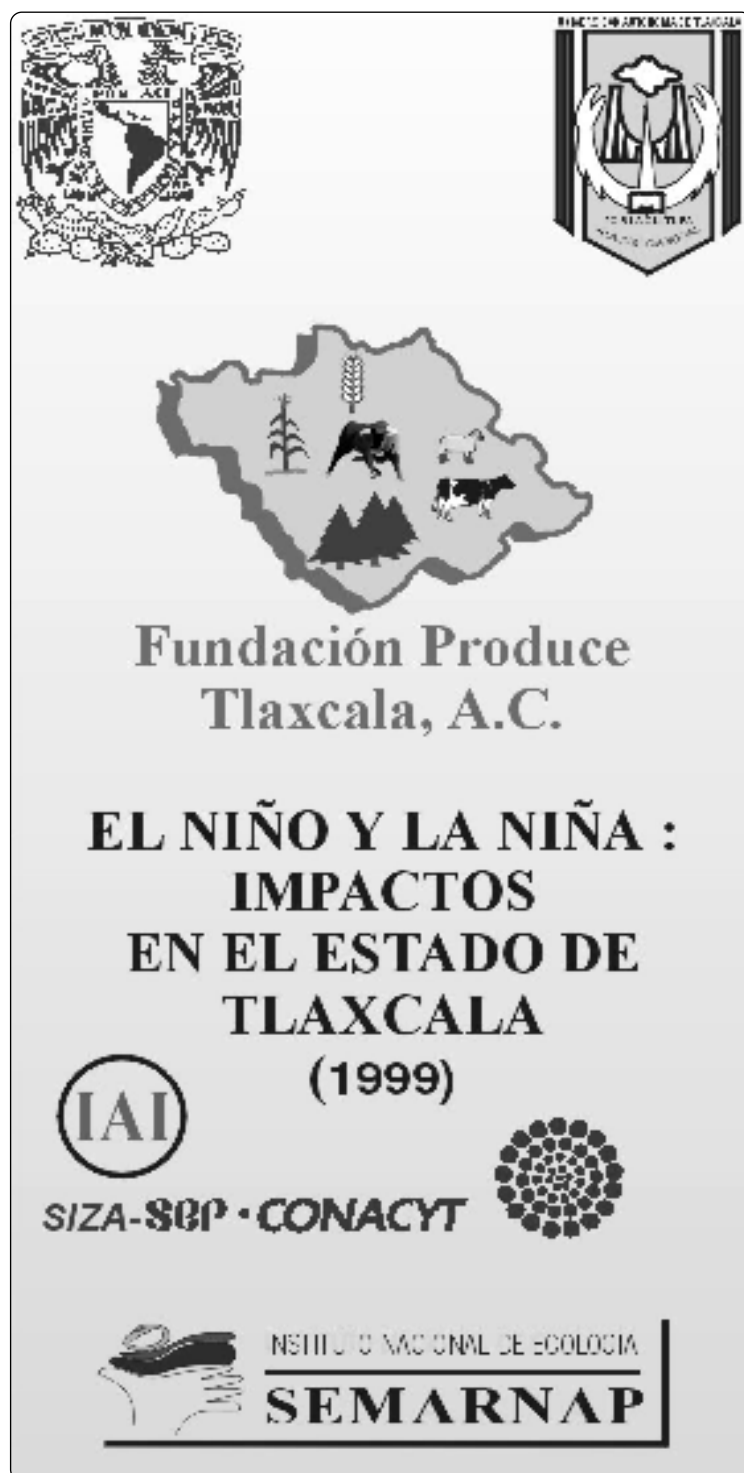
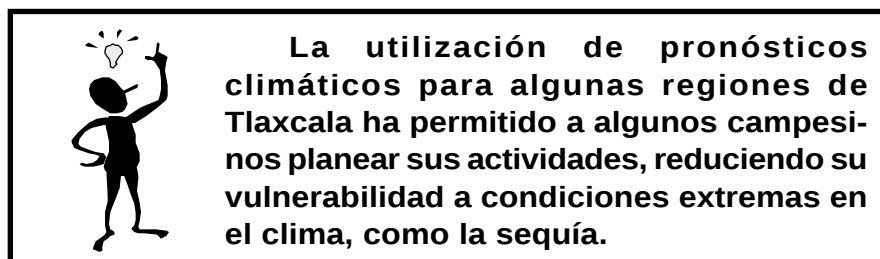


Fig. 4.8 Portada del tríptico de pronóstico climático para Tlaxcala.

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.

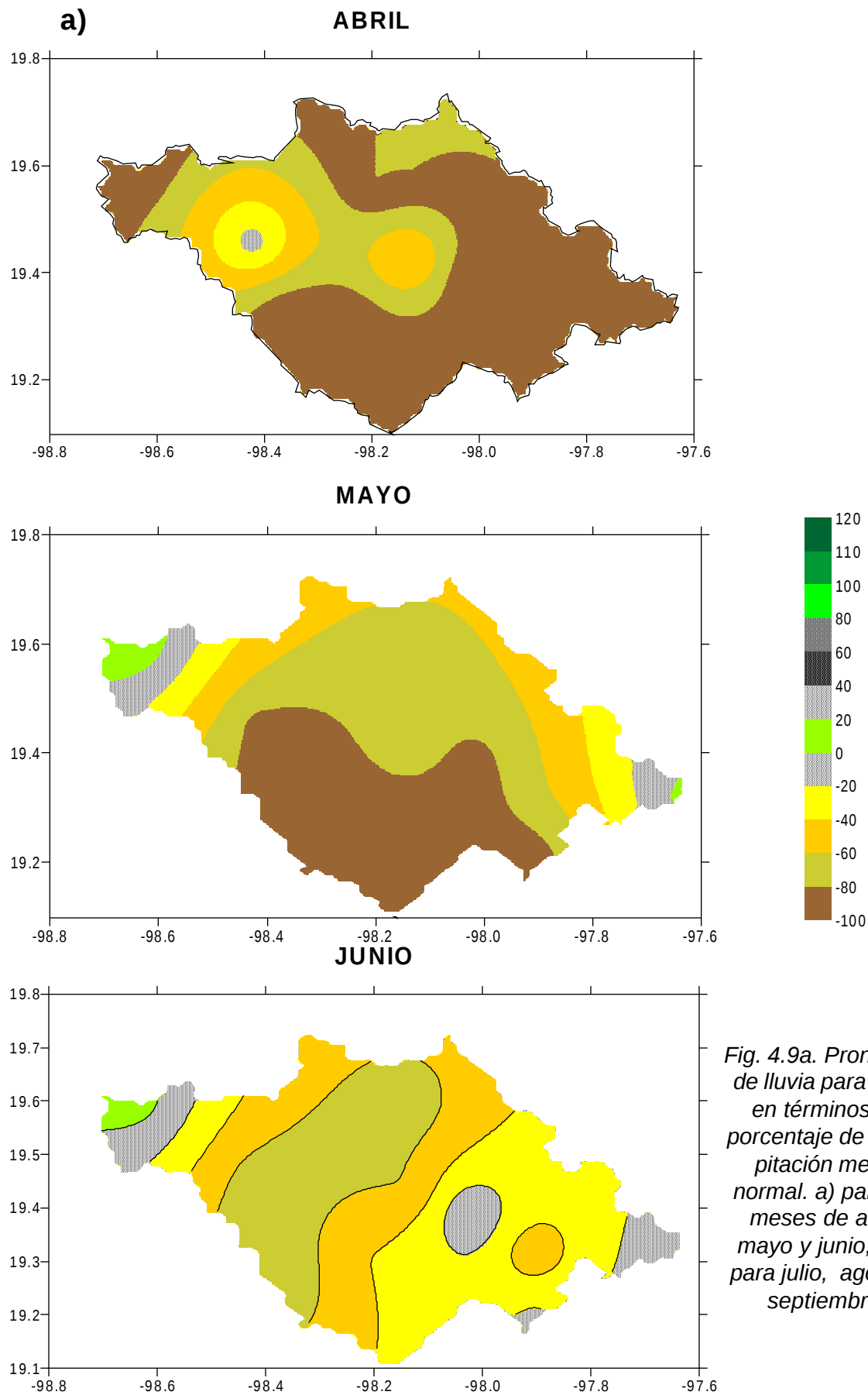


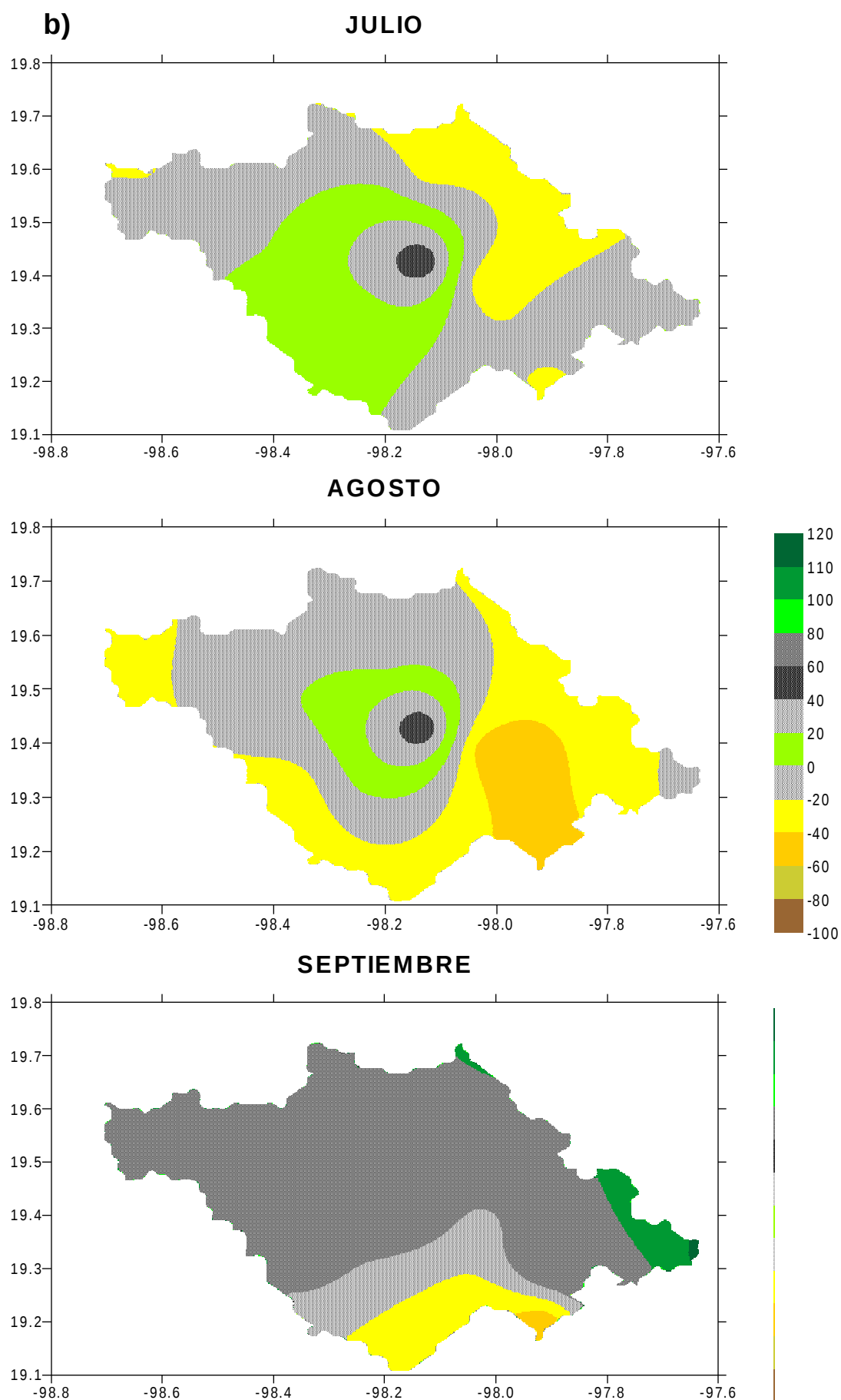
Este pronóstico, presentado en marzo de 1998, fue altamente satisfactorio, tanto a nivel estatal como a nivel regional. Los resultados fueron discutidos en talleres y conferencias municipales y se repartieron en forma de tríptico en los seis municipios señalados (Fig 4.8). Gran parte del éxito se debió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

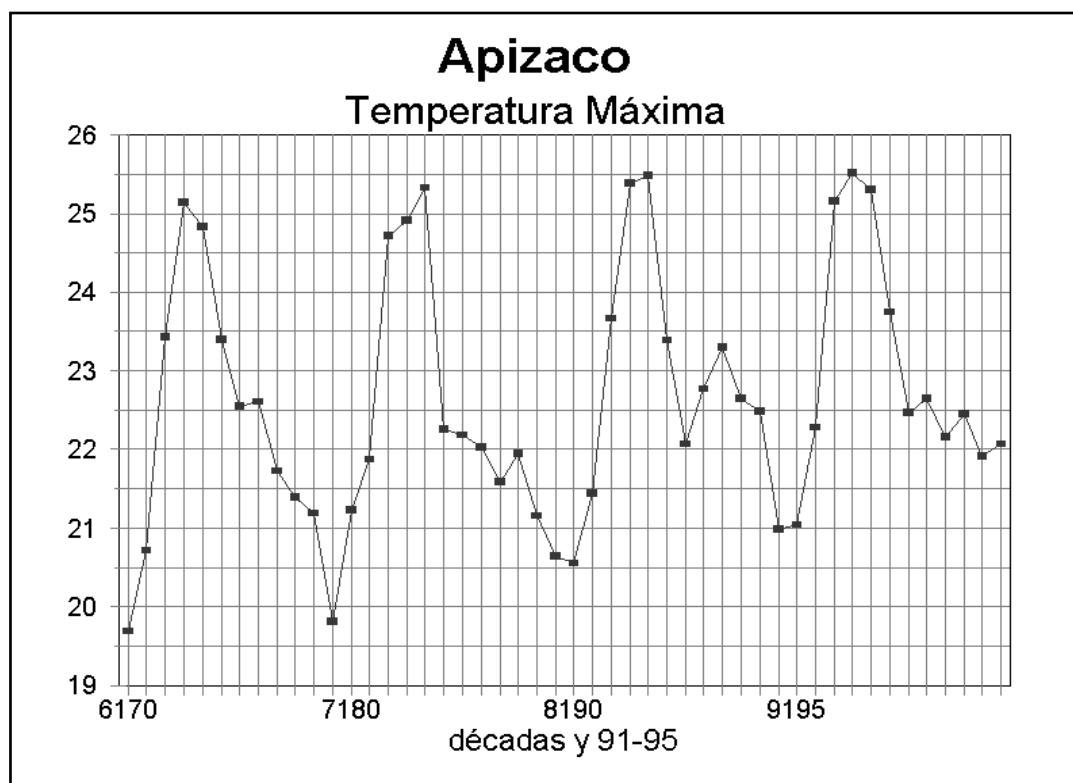


Fig. 4.10 Temperatura máxima (°C) promedio mensual para las décadas: 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 y para el periodo de 1991-1995.

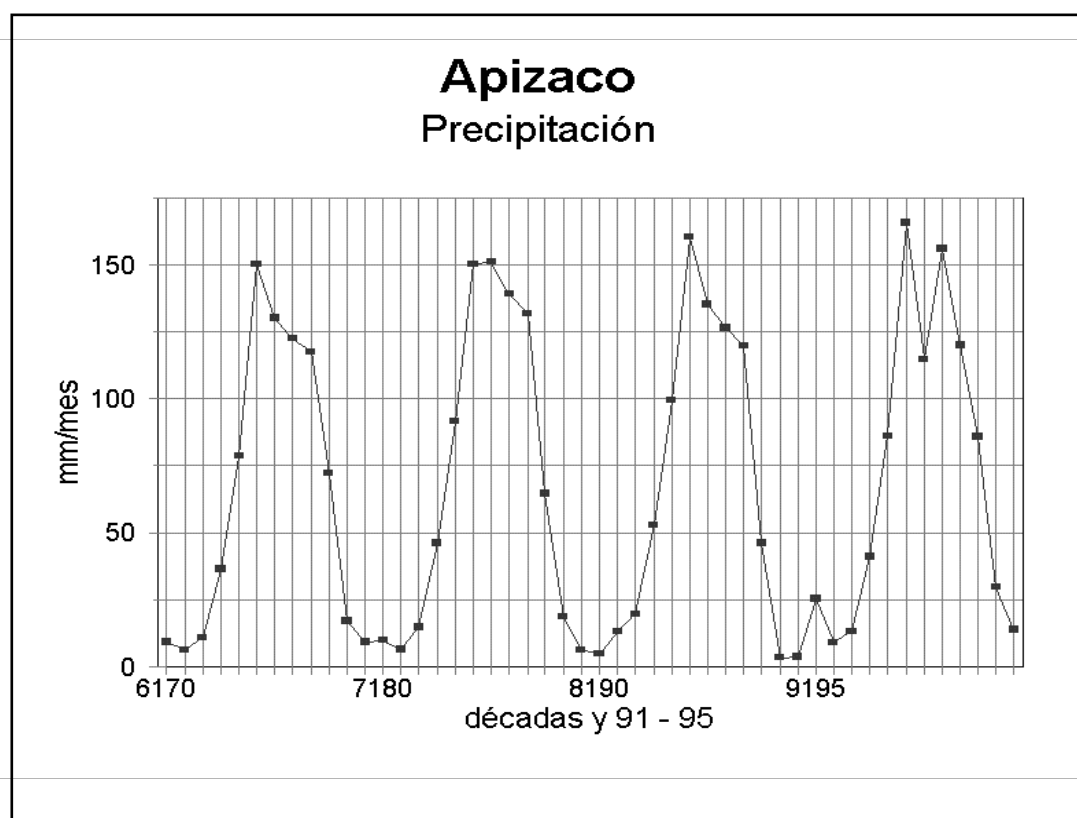


Fig. 4.11 Como en la Fig. 4.10, pero para precipitación (mm/mes).

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.

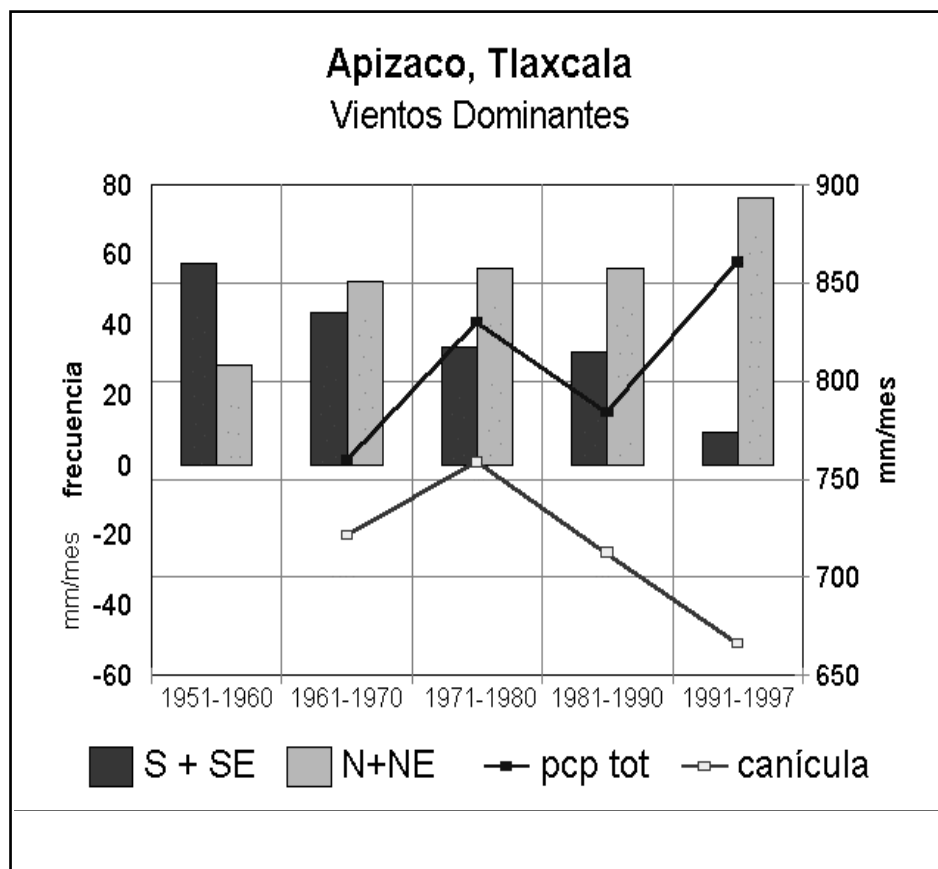


Fig. 4.12 Vientos dominantes, tendencia de la lluvia acumulada e intensidad de la canícula para las décadas: 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 y para el periodo de 1991-1995 en Apizaco, Tlaxcala.

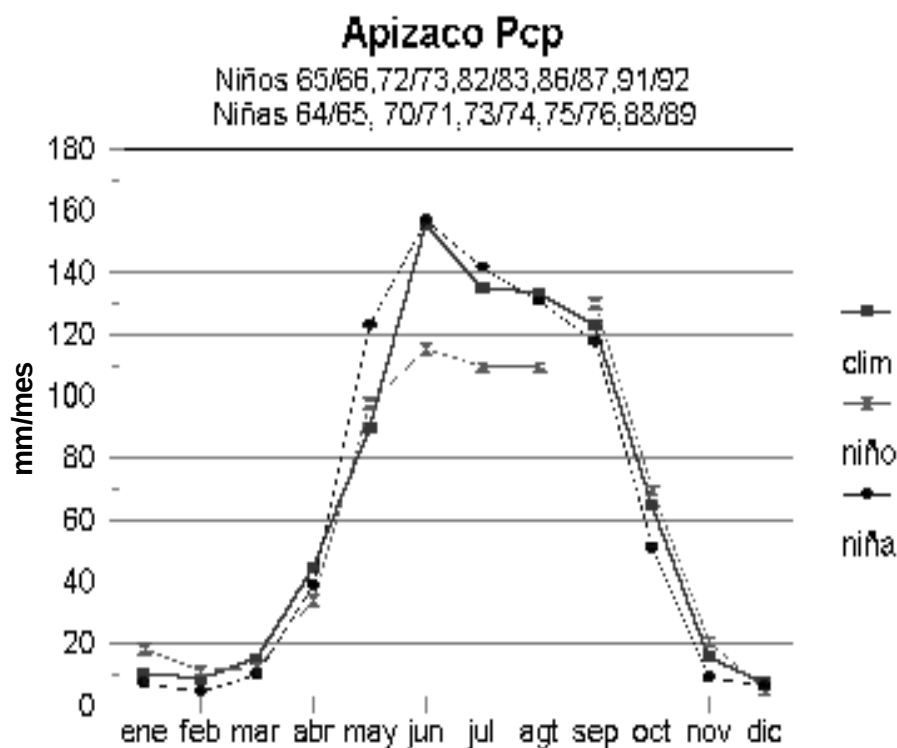


Fig. 4.13 Comparación de la precipitación promedio del periodo 1961-1992 (climático) con años El Niño y La Niña en Apizaco, Tlaxcala.

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).

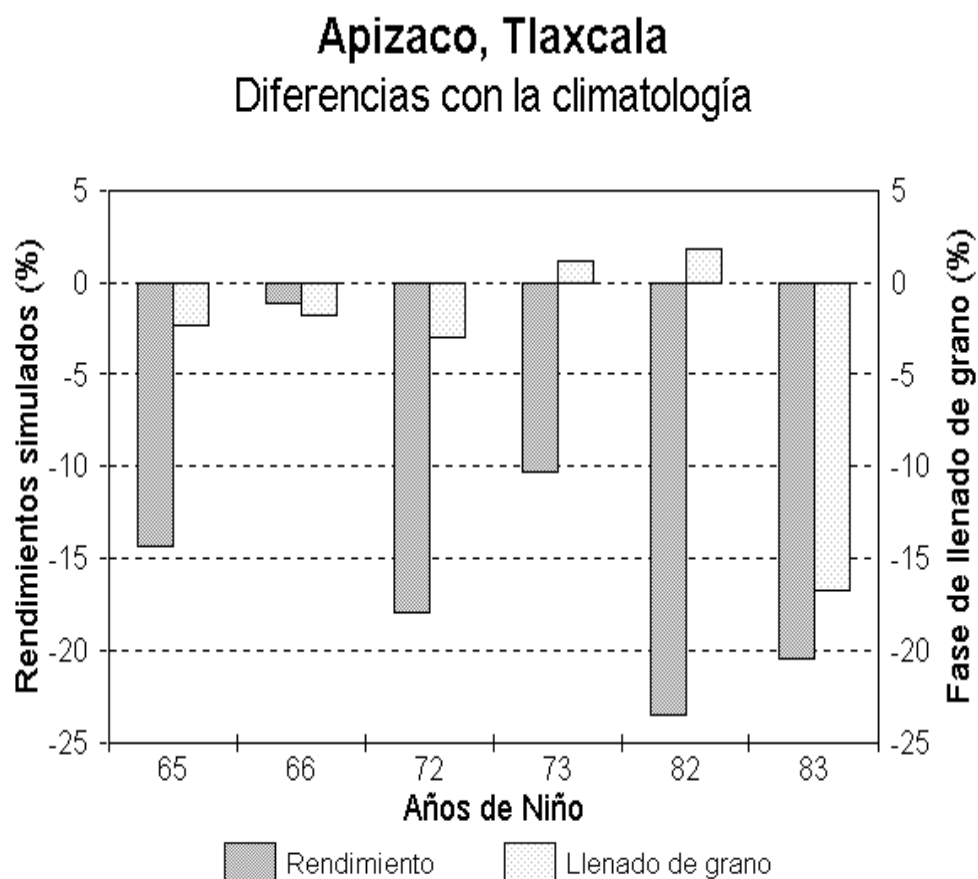


Fig. 4.14 Reducciones en los rendimientos y en la fase de llenado de grano para los años El Niño que se muestran.

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.

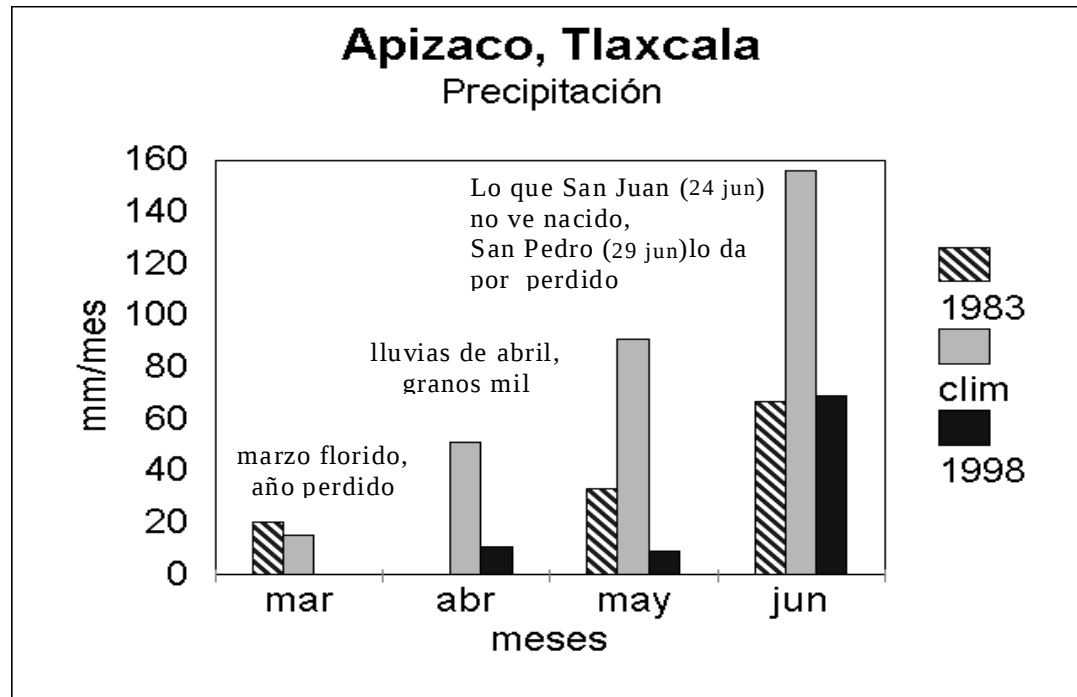


Fig. 4.15 Precipitación (mm/mes) de marzo a junio para condiciones normales, comparada con la correspondiente a 1983 y a 1998. Los dichos populares ilustran las expectativas de lluvia de los agricultores tlaxcaltecas.

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 siniestrantes 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 la 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).

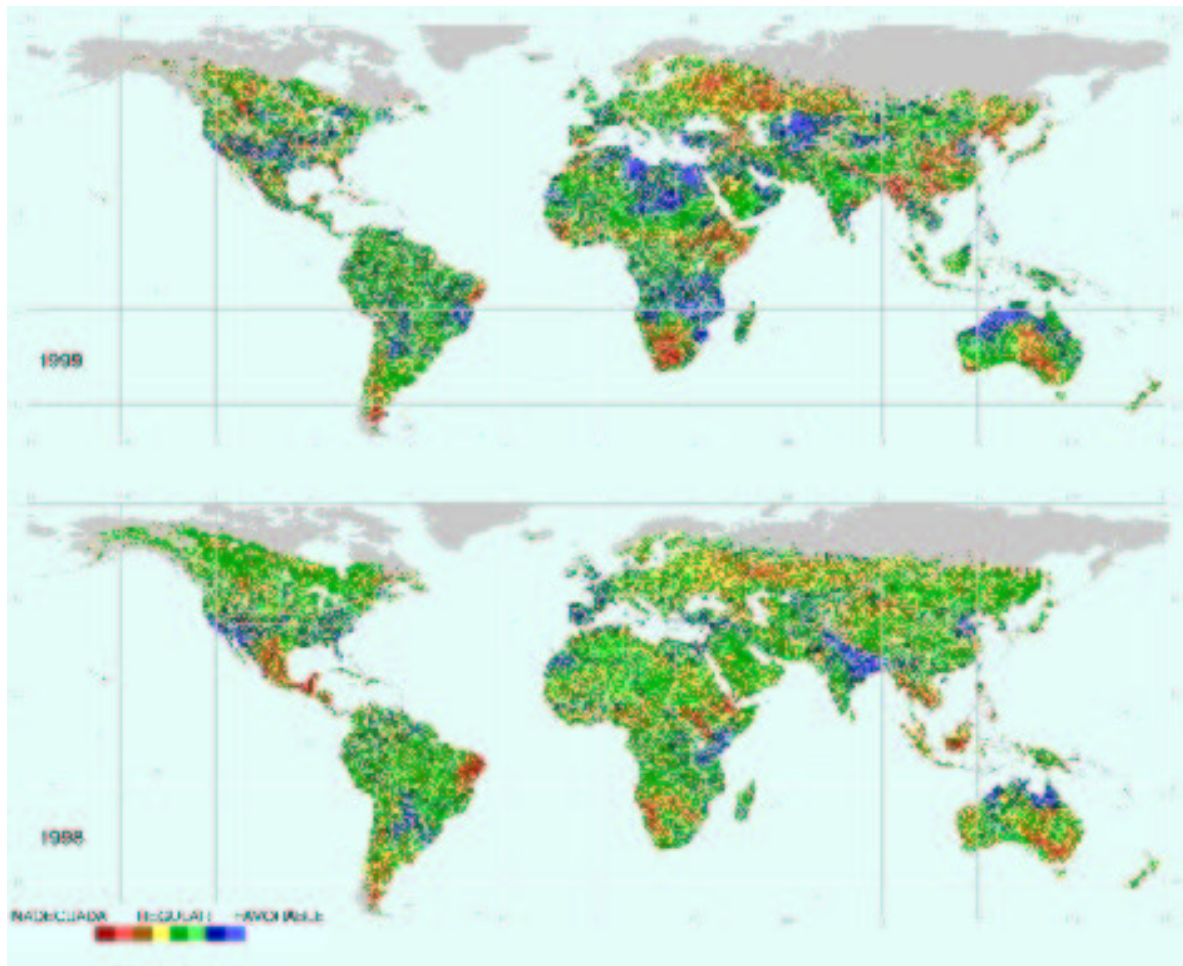


Fig. 4.16 Condición de la salud de la vegetación durante abril, a) de 1998 y b) de 1999 (tomado del National Geophysical Data Center, NOAA)

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).

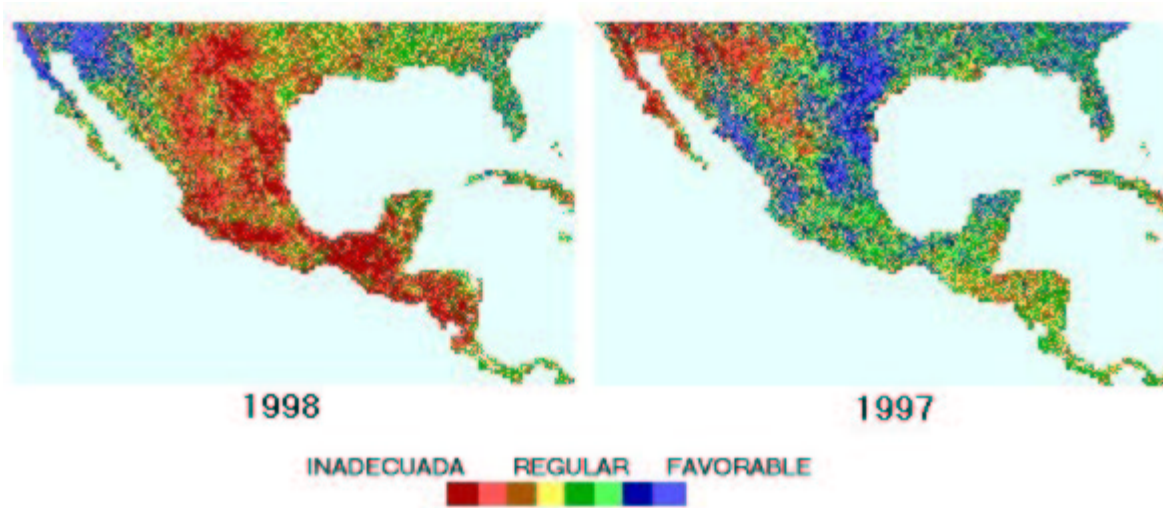


Fig. 4.17 Como en la Fig. 4.16 pero para mayo de 1998 y 1997.

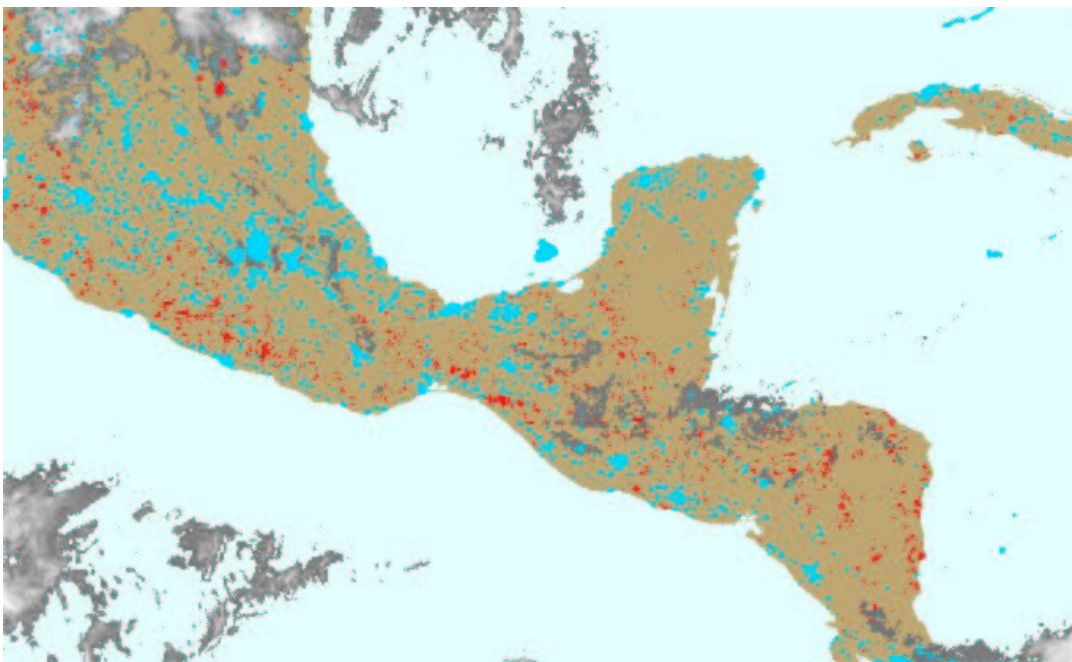


Fig. 4.18 Imágen de satélite del 17 de mayo de 1998 mostrando regiones de incendios forestales (puntos rojos), regiones iluminadas por luz eléctrica (manchas azules), nubes, continente y mares (tomado del National Geophysical Data Center, NOAA).

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).

5 Las Pesquerías y El Niño

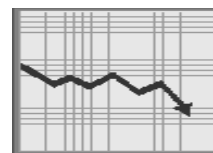
D. Lluch-Cota⁷, D. Lluch-Belda^{14, 7}, S. Lluch-Cota⁷, J. López-Martínez¹², M. Nevárez-Martínez¹³, G. Ponce-Díaz⁷, G. Salinas-Zavala⁷, A. Vega-Velazquez¹⁴, J.R. Lara Lara⁶, G. Hammann⁶ y J. Morales⁸.

El sector pesquero

Si bien el tema de la variabilidad climática ha llamado la atención del público en el mundo durante algún tiempo, El Niño 1997-98 ha sido el evento que más interés ha recibido en diversos sectores de la sociedad mexicana. A ello contribuyó la amplia cobertura que los medios de comunicación brindaron al tema. Sequías, incendios forestales, precipitaciones excesivas, la presencia de ciclones o tormentas fueron repetidamente señalados como catástrofes asociadas al Niño 97-98 que fue particularmente intenso. En algunos casos la relación entre El Niño y algunos de estos desastres naturales es inexistente o cuando menos discutible. Sin embargo, es claro que este evento hizo manifiesta la vulnerabilidad de algunos sectores y actividades ante la variabilidad climática.

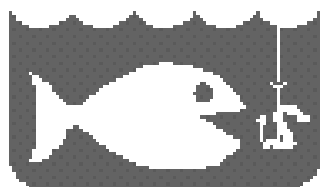
Entre las actividades económicas que resienten el impacto de El Niño, una de las más afectadas es sin duda la pesca. A nivel mundial las estimaciones preliminares de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) muestran que la producción mundial de alimentos registró un retroceso del 2 al 4% en 1997, esperándose un aumento para 1998. En realidad, fue en 1998 cuando se registraron las alteraciones biológicas más severas, tales como incrementos de la mortalidad natural, fallas de reclutamiento y crecimientos somáticos disminuidos.

Algunas estimaciones de la FAO indicaban que la pesca a nivel mundial sufriría una disminución en 1997 por causa de El Niño. Tal efecto negativo ocurrió y perduró durante 1998.



Aunque en cifras globales las pérdidas parecen grandes, para cada sector pesquero del mundo existe una gran cantidad de variables que influyen en los volúmenes totales de capturas. Además, debe reconocerse que los impactos de estos eventos son diferentes para cada rubro de la actividad. En el caso del fenómeno del Niño, las pesquerías del Pacífico este son impactadas significativamente por encontrarse en la zona de influencia directa. Así, para Perú el decremento en 1997 alcanzó casi el 60%, con cifras similares en 1998 (Duffy y Bryant 1998). Para el caso de México, aún no existen cifras oficiales, aunque se sabe que los impactos fueron severos, principalmente en el Pacífico, pues poco se sabe de cómo El Niño afecta al Golfo de México o al mar Caribe. Los cambios en el Pacífico significan graves pérdidas para nuestro país, por ser estos litorales los que aportan la mayor parte de la producción nacional en términos de volumen y de valor de producción. En 1996, la proporción de la producción total fue de alrededor del 70% (Zavala 1997).

El origen de la vulnerabilidad en la actividad pesquera ante fenómenos de variabilidad ambiental depende directamente de los patrones de producción y captura. Como en la pesca de organismos libres los recursos utilizados realizan permanentes desplazamientos horizontales y verticales, relativos a la ubicación de sus recursos de vida, las técnicas de captura son difíciles, a diferencia de la acuicultura, donde los recursos se tienen disponibles en ambientes controlados. La influencia de factores ambientales en la pesca, específicamente en la captura de organismos, hace necesario integrar en los esquemas de extracción y manejo, límites en tipos y periodos de captura, que no excedan la capacidad de recuperación o reproducción del recurso, la cual se define por el crecimiento poblacional.



La vulnerabilidad en la pesca ante fenómenos de variabilidad ambiental, como por ejemplo El Niño, depende de los patrones de producción y captura seguidos.

El problema se agrava debido a que la mayoría de los modelos pesqueros utilizados asumen que las poblaciones de organismos, crecen en función directa a su tamaño, y no consideran las múltiples variables que determinan el tamaño y tipo de los cardúmenes. Esta falta de modelos descriptivos de las poblaciones resulta en un manejo de los recursos con base en esquemas muchas veces inadecuados, ante variaciones ambientales como las que El Niño ocasiona en el Pacífico mexicano (Lluch-Cota et al. 1995, Lluch-Belda et al. 1998).

La administración pesquera en ambientes variables

El objetivo de la administración pesquera es la explotación de los recursos, obteniendo un rendimiento sostenido de los mismos es decir, la captura de organismos sin rebasar la tasa de crecimiento de la población, para así asegurar la permanencia de los mismos. De esta forma, se busca obtener una cantidad adecuada del recurso año tras año y en consecuencia, tener una actividad económica sustentable. Para alcanzar este objetivo, la biología pesquera recurre al conocimiento ecológico básico en la forma en la que crece una población, incorporando dicho conocimiento a modelos matemáticos que, bajo premisas correctas, permiten establecer la mejor forma de explotar el recurso.

El enunciado biológico más importante para la administración pesquera es el que define los esquemas básicos del crecimiento poblacional. En el universo de información existente se plantean 2 patrones: el primero, asume que la población crece en forma exponencial; mientras que el segundo establece que las poblaciones crecen dependiendo de los recursos disponibles, llamando a estos: factores limitantes. Con la presencia de agentes que condicionan el crecimiento, las poblaciones sólo pueden sostener un determinado número de organismos, siendo el máximo posible la capacidad de carga o capacidad portadora del medio (Odum 1953).

Si la capacidad de carga se considera constante, el crecimiento poblacional obedecerá reglas muy simples: en ausencia de explotación, la población crecerá hasta un nivel máximo que es constante, a una velocidad (tasa instantánea) que depende de su tamaño. Cuando una población se desarrolla bajo los parámetros descritos, se dice que ésta tiene un crecimiento sigmoideo, de acuerdo a la curva de crecimiento que muestre (Fig. 5.1). Si un recurso pesquero creciera con estos parámetros, la población llegaría a su nivel máximo constante y la captura de organismos se realizaría con toda la producción que se genere por arriba de dicho nivel. Sobre esta base se han desarrollado modelos donde se establece que el crecimiento poblacional es aproximadamente sigmoideo. En sus primeras versiones, investigadores como Graham (1935), Schaefer (1954) y Fox (1970), supusieron condiciones de equilibrio estático o permanente en donde, si la pesca extrae el volumen exedente del nivel máximo constante, la población se mantiene en un tamaño constante.

En investigaciones actuales, se trabaja con modelos dinámicos como el de biomasa de Hilborn (Hilborn y Walters 1992), donde se supone que la población no tiene un equilibrio estático. Este modelo considera al crecimiento anual como una función del tamaño de la población del año inmediato anterior y de las remociones o extracciones por pesca; se denomina a esta premisa condiciones de equilibrio dinámico.

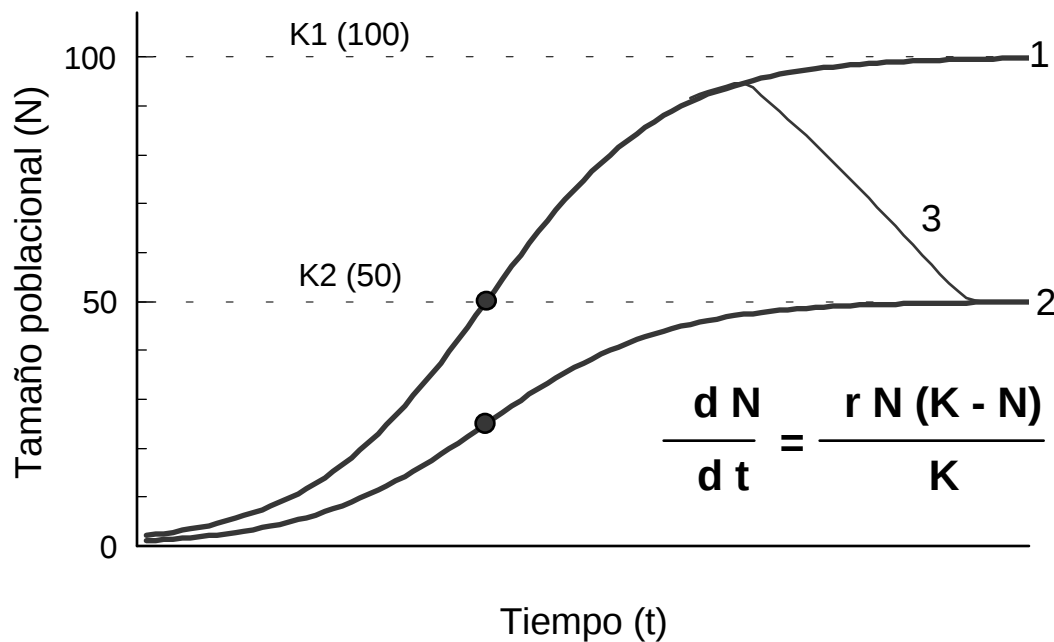


Fig. 5.1. Modelo sigmoideo de crecimiento poblacional

A pesar de que estos trabajos aportan información importante para el trabajo de los administradores, la pesca continúa su desarrollo bajo criterios de crecimiento sigmoideo, donde el único factor que determina el crecimiento es el tamaño mismo de la población, en otras palabras, el crecimiento es densodependiente.

En general, en pesca se continúa pensando que el único factor que determina el crecimiento de la población es su tamaño.



La Ecología reconoce que no todas las poblaciones crecen en forma densodependiente, aunque la tendencia general ha sido considerar a este crecimiento como el caso más general. Los trabajos en poblaciones de plantas (Harper *et al* 1965), invertebrados (Carpenter 1940) y aun en vertebrados superiores (Elton 1942), han sido la pauta para describir una forma de crecimiento diferente. En este crecimiento se describe el efecto limitante de los factores ambientales a los que está expuesta la población y que de manera repentina actúan sobre los organismos. Esta situación se ha observado ante variaciones repentinas y significativas de la capacidad de carga. A este crecimiento, ajeno a la densidad de población, se le llama *densoindependiente*, y hasta ahora se había reservado a casos particulares como el de las plagas o los florecimientos algales masivos.

El asumir un crecimiento densodependiente como válido, obedece a que para muchas poblaciones existe evidencia de que la tasa de crecimiento suele ser una función decreciente de la densidad (Tanner, 1966). Al respecto, Lluch-Belda *et al.* (1998) sugieren que con las evidencias resultantes de periodos de observación, más bien cortos, el sistema puede mantenerse relativamente constante. Así, un recurso pesquero podría crecer en forma aproximadamente sigmoidea durante un cierto tiempo. No obstante, una variación repentina y significativa de la capacidad de carga podría dar como resultado un crecimiento que tienda a ser densoindependiente.

La modificación en los patrones de crecimiento, ha permitido observar e inferir la estrecha relación que existe entre la medida de las desviaciones o variaciones de los factores ambientales y el tipo de crecimiento densoindependiente, haciéndose más evidente conforme aumentan los valores de las variaciones. Este cambio en los esquemas de crecimiento muestra las deficiencias de las estrategias de captura que no consideran al crecimiento densoindependiente como real. Existen razones para considerar que la capacidad de carga de la generalidad de los recursos marinos se modifica significativamente ante los efectos de El Niño, básicamente porque el ambiente físico sufre drásticas modificaciones que repercuten en la generalidad del ecosistema marino.

Efectos regionales: el ambiente físico

Las características generales de El Niño han sido previamente descritas. Basta señalar que, aunque El Niño se origina en el Pacífico tropical, existen mecanismos que transmiten sus efectos físicos y biológicos fuera de los trópicos, como en el Pacífico mexicano (Wooster y Fluharty 1985).

Uno de estos mecanismos es de naturaleza oceánica, y consiste en la generación de ondas costeras durante El Niño (ver Cap. 3). Por su naturaleza física, relacionada con la elevación del nivel del mar, la onda Kelvin costera genera divergencia en su extremo ecuatorial y convergencia en su extremo boreal, mientras se propaga hacia los polos (Bakun, 1996). Estas ondas viajan desde el Ecuador a los polos a lo largo de la costa, de manera que unos tres meses después de iniciado el evento podemos experimentar sus efectos en la región mexicana.

El medio de propagación de estas ondas costeras es la capa superficial del mar, cuyas características son determinadas por la acción combinada de la radiación solar, y las interacciones del mar y los vientos. Muchos de los procesos involucrados en la dinámica de la capa superficial del Pacífico mexicano son motivo de estudio (Trasviña 1991).

De manera general se puede pensar en la capa de mezcla como una capa homogénea, cálida y normalmente poco densa. El agua por debajo de esta capa es más fría y por lo general más densa. Entre la capa superior e inferior existe una interface denominada termoclina, en donde la temperatura cambia bruscamente de cálida a fría.

El contenido de nutrientes como fosfatos, nitratos o silicatos, esenciales para la producción de fotosíntesis en el fitoplancton, es bajo en la capa superficial en comparación con la capa más profunda. Por ello, los nutrientes tienden a acumularse en las capas más profundas, donde la luz no penetra o llega muy debilitada (Figura 5.2).

Por otro lado la actividad fotosintética es más activa en la capa de mezcla, debido a la penetración de la luz, lo que produce el agotamiento de los nutrientes en la columna de agua. Así, cuando la capa de mezcla es gruesa, y sin intercambios por efectos de viento entre niveles, la producción biológica queda severamente limitada (Mann y Lazier 1996).

En una capa del mar superficial, sin intercambios de agua por falta de mezclado vertical por el viento, la producción biológica es limitada.



La onda costera que caracteriza a El Niño se propaga en la capa mezclada, produciendo incrementos en el espesor de la capa al propagarse la onda hacia latitudes altas. Tal incremento se manifiesta a través de aumentos, tanto de temperatura como de espesor, ya que el agua se expande térmicamente.

Los efectos regionales de la onda costera se observan a partir de cambios en tres variables y consisten en:

- i) El aumento de varios centímetros en el nivel medio del mar.
- ii) Los incrementos de hasta 4 o 5 °C en la temperatura superficial.
- iii) Los descensos de decenas de metros en la profundidad de la termoclina.

La Figura 5.3 muestra las series regionales de temperatura superficial durante años recientes, donde puede apreciarse que el año de 1997-98 fue el que registro cambios extremos para varias localidades del Pacífico mexicano, .

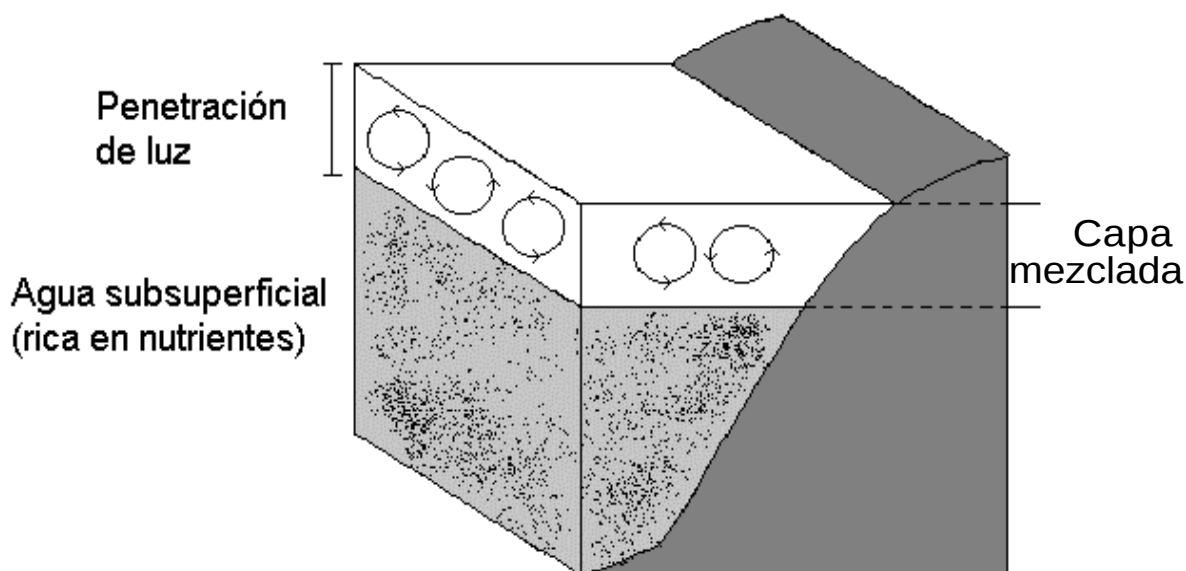


Fig. 5.2. Situación en la que el espesor de la capa mezclada es comparable al de la capa fótica (i.e. la capa hasta donde penetra la luz). Al no existir mezcla con el agua sub-superficial, los nutrientes no pueden ser utilizados. (Compárese esta situación con el esquema de la Figura 5.6)

La propagación de la señal El Niño a latitudes subtropicales se produce por efectos oceánicos, pero también a través de la atmósfera, mediante las llamadas teleconexiones. Las teleconexiones se definen como un fenómeno de propagación de una señal de un punto a otro por procesos de tipo ondulatorio que se identifican como patrones espaciales persistentes en variables como la presión atmosférica. En la Figura 5.4 se describe la naturaleza de estas teleconexiones, como un patrón de presiones altas y bajas, en la superficie de un fluido en movimiento generado a partir de una «fuente» (Wallace, 1985). Las zonas de alta presión corresponden a las altas en superficie y lo mismo para las bajas, lo que indica que el fenómeno ocurre en todo el fluido y no sólo en su superficie.

Otra característica de un patrón de ondas de una teleconexión es su carácter estacionario en relación a un obstáculo presente, porque sin éste, el patrón no se presentaría y al cambiar de posición el tren de ondas desaparecería la relación entre los puntos teleconectados.

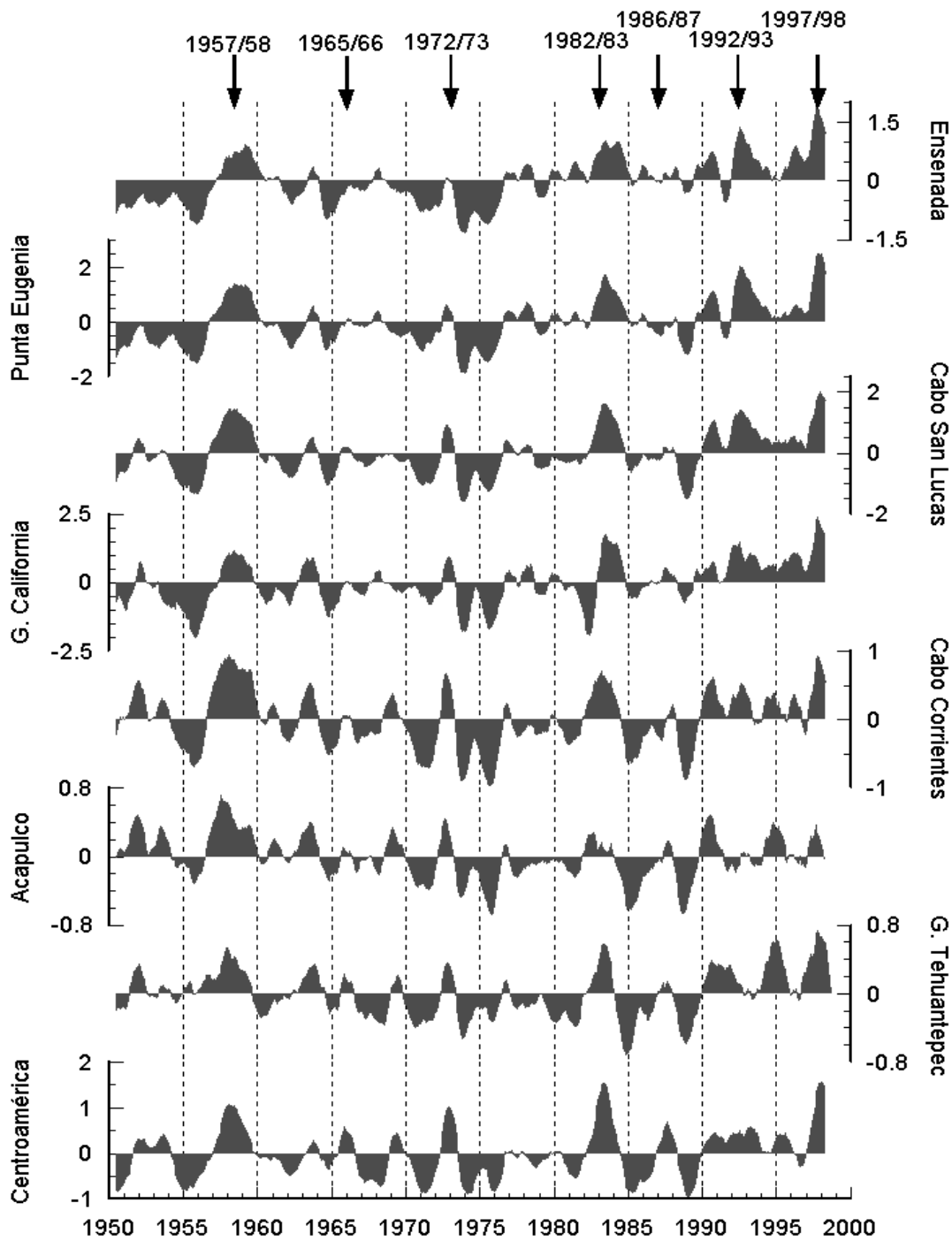


Fig. 5.3.- Series de anomalías de la temperatura superficial del mar para cuadrantes costeros aledaños a varias localidades. Las flechas indican los principales eventos El Niño registrados desde 1950. Nótese la intensidad de El Niño 1997-98, comparable a los eventos de 1957-58 y 1982-83. Fuente de datos: Reynolds y Smith (1994) y IRI-IGOSS (1998).

La atmósfera, es el fluido que tiende a desplazarse horizontalmente bajos los efectos de la rotación y contrastes térmicos. La fuente de la onda está asociado a la masa de agua cálida del Pacífico tropical, que a su vez fuerza convección anómalamente intensa, con movimientos verticales que originan ondas estacionarias presentes en varios niveles de la atmósfera (Wallace y Gutzler 1981).

Durante El Niño, el desplazamiento de una masa cálida de agua en el Pacífico tropical resulta en desplazamientos de la zona de convección tropical, lo que introduce cambios en los patrones de presión y circulación en la atmósfera de casi todo el planeta. Uno de los más claros es el que se presenta como onda de Rossby estacionaria denominada patrón del Pacífico Norte América (ver Cap. 2).

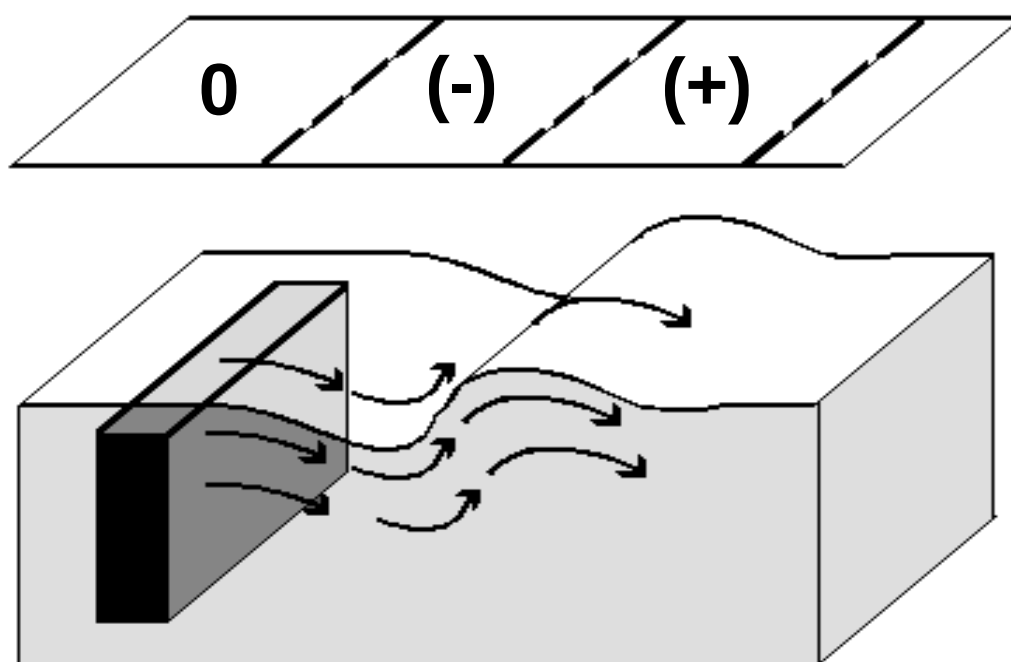


Fig. 5. 4. Esquema del modelo “intuitivo” de Wallace (1985), que representa un tren de ondas estacionarias generadas por un obstáculo o fuente de forzamiento en un fluido en movimiento. La proyección en la parte superior indica los cambios de presión en el seno del fluido correspondientes al patrón de altas y bajas observado en la superficie.

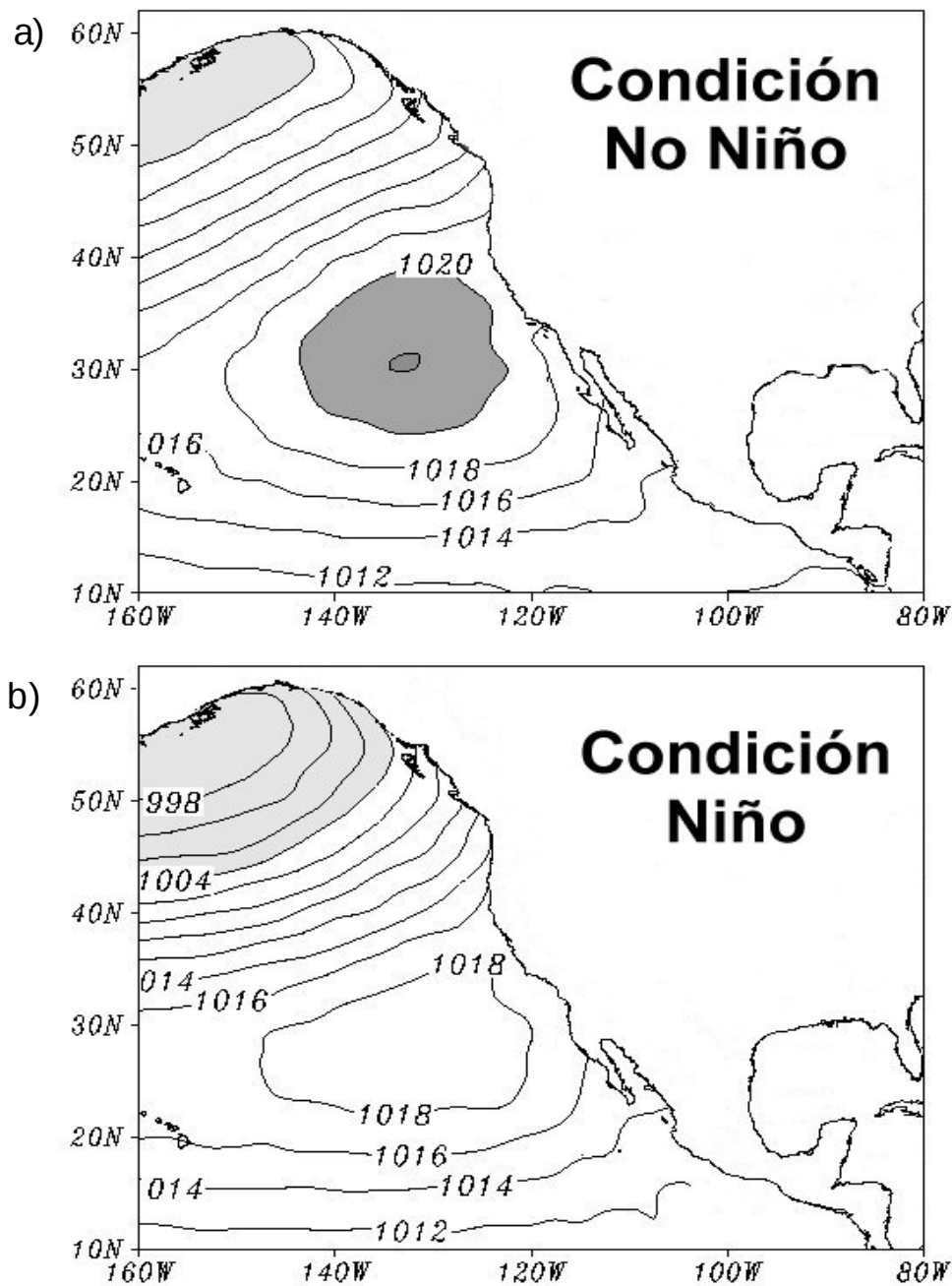


Fig. 5.5. Isobaras de presión superficial para el invierno del hemisferio norte en a) años normales y b) El Niño (1965, 1972, 1982, 1986, 1991, 1997).

Las áreas gris oscuro corresponden a alta presión del Pacífico norte (>1020 mb) y la gris claro a la baja de las Aleutianas (<1004).

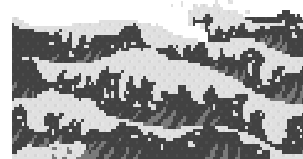
Durante años de El Niño la señal del patrón PNA es clara (Wallace y Gutzler 1981). La aparición de esta onda modifica la circulación atmosférica media con cambios en la actividad convectiva y de vientos de bajos y altos niveles (ver Cap.2). Aunque existe variabilidad en la fase y amplitud de las teleconexiones, éstas tienen un aspecto aproximadamente regular, que las hace aparecer durante los inviernos de Niño en el hemisferio norte (Tribbia 1991). Los principales efectos de teleconexiones sobre México, como los del patrón PNA, aparecen en cambios en la corriente en chorro subtropical durante el invierno, con lo cual se vuelve más frecuente la incursión de sistemas de latitudes medias sobre la República Mexicana (Fig. 2.4). Los efectos del patrón PNA son identificables también en la distribución de la presión en superficie, principalmente frente a las costas de la península de Baja California (Fig. 5.5).

Existe variabilidad en las características de las teleconexiones de un evento de Niño a otro, que tiene que ver básicamente con la intensidad y fase de la onda estacionaria asociada a la teleconexión.



Uno de los efectos de las teleconexiones durante años Niño está relacionado con la zona de alta presión del Pacífico norte, que durante El Niño tiende a debilitarse por la aparición de la anomalía ciclónica del patrón PNA. La modificación de esta circulación tiene efectos en los patrones de vientos, reflejándose en un debilitamiento de los del noroeste. Estos vientos confieren características muy particulares al ambiente marino del noroeste mexicano, ya que por efectos de transporte de Ekman y surgencias costeras, se producen zonas de alta productividad marina. La situación típica de estos sistemas se esquematiza en la Figura 5.6, donde se describe la disposición característica del viento que sopla paralelo a una costa ubicada a la izquierda respecto del sentido del flujo.

Los vientos del norte, asociados a la alta semipermanente del Pacífico, producen surgencias costeras en las costas de Baja California y consecuentemente, alta productividad marina.



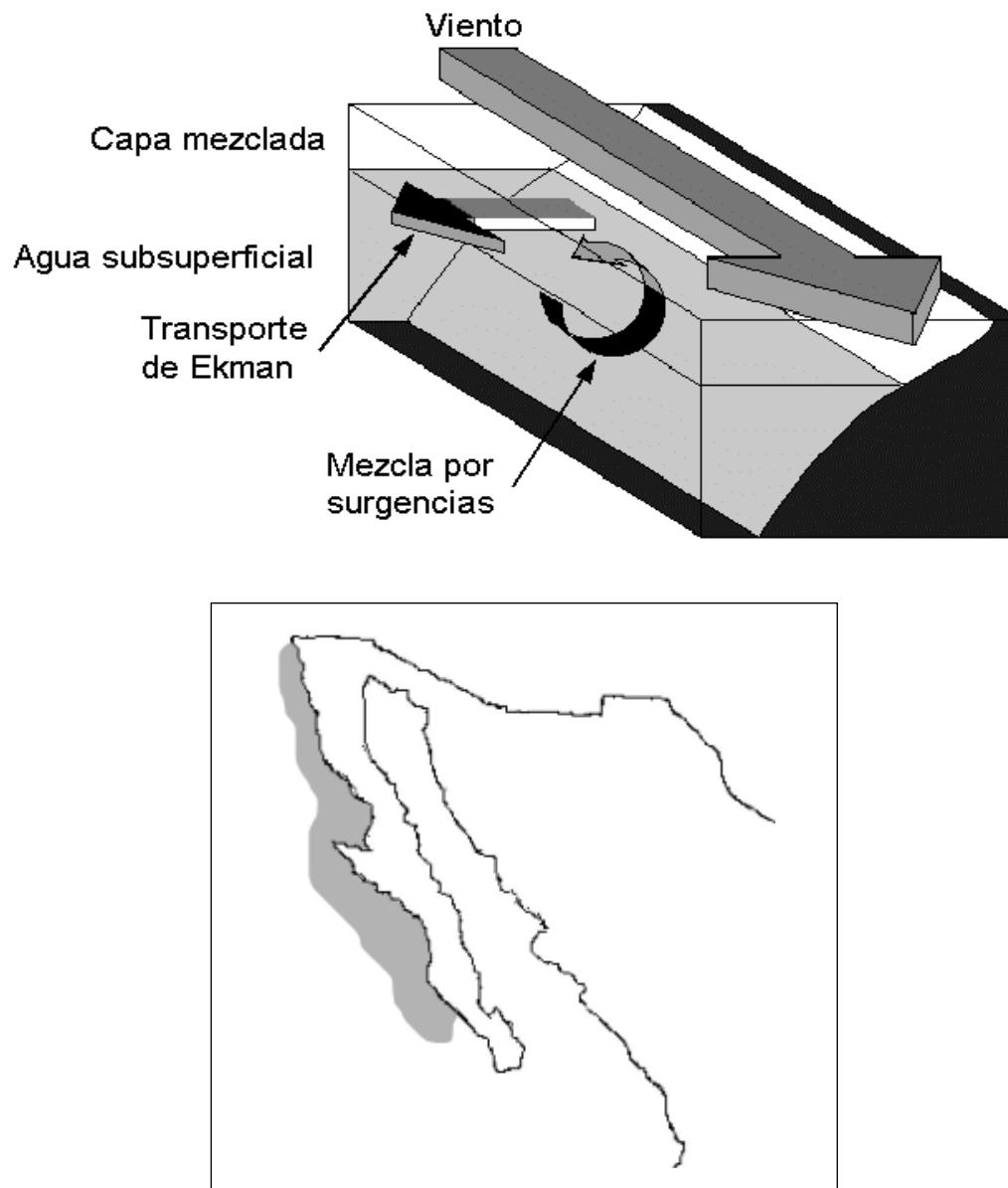


Fig. 5.6. Esquema general de un sistema de surgencias costeras y su localización aproximada en el noroeste mexicano. El remplazamiento del agua arrastrada por el transporte de Ekman permite el ascenso del agua sub-superficial hacia la zona fótica (mezcla por surgencias); compárese esta situación con la de la Figura 5. 2.

La capa superficial del océano tiende a desplazarse debido a los efectos del viento en la superficie del mar y al efecto de Coriolis. Este efecto produce que el movimiento de la capa superficial de agua sea hacia la derecha de la dirección de movimiento de los vientos en el hemisferio norte (Peixoto y Oort 1992). El desplazamiento de la capa superficial o capa de Ekman da lugar a que la capa superficial del mar sea transportada hacia fuera de la costa, con lo que las aguas transportadas son o serán remplazadas por el surgimiento de las capas inferiores. El resultado de este transporte es la zona de surgencia costera, con elevados niveles de productividad primaria y secundaria y que constituye el sostén de muchas de las principales pesquerías en el Pacífico mexicano.

La zona de surgencia costera frente a Baja California, tiene elevados niveles de productividad primaria y secundaria, lo que la hace una de las zonas de gran riqueza pesquera.



Durante El Niño, tanto el engrosamiento de la capa mezclada vía las ondas costeras, como el debilitamiento de los vientos noroestes, vía las teleconexiones del tipo patrón PNA, tienen repercusiones importantes sobre los sistemas de surgencias. En ambos casos, parecen producirse reducciones en el aporte de nutrientes hacia la superficie, y por lo tanto una disminución en la producción biológica en general, como se muestra en la Figura 5.7.

En las costas de Perú, se han observado reducciones de la concentración de pigmentos fotosintéticos del orden del 50% durante eventos El Niño, como el de 1982-83 (Feldman *et al.* 1984), mientras que en California la reducción llegó al 75% (Fiedler 1984). Para el caso del Pacífico mexicano no existen evaluaciones equivalentes, aunque la información disponible a partir de imágenes de satélite de color del mar, donde se relacionan los colores con la presencia de fitoplancton, sugiere que la disminución puede ser significativa frente a Baja California (Figura 5.8).



El debilitamiento del transporte de Ekman en años Niño, produce una disminución en la producción primaria frente a Baja California.

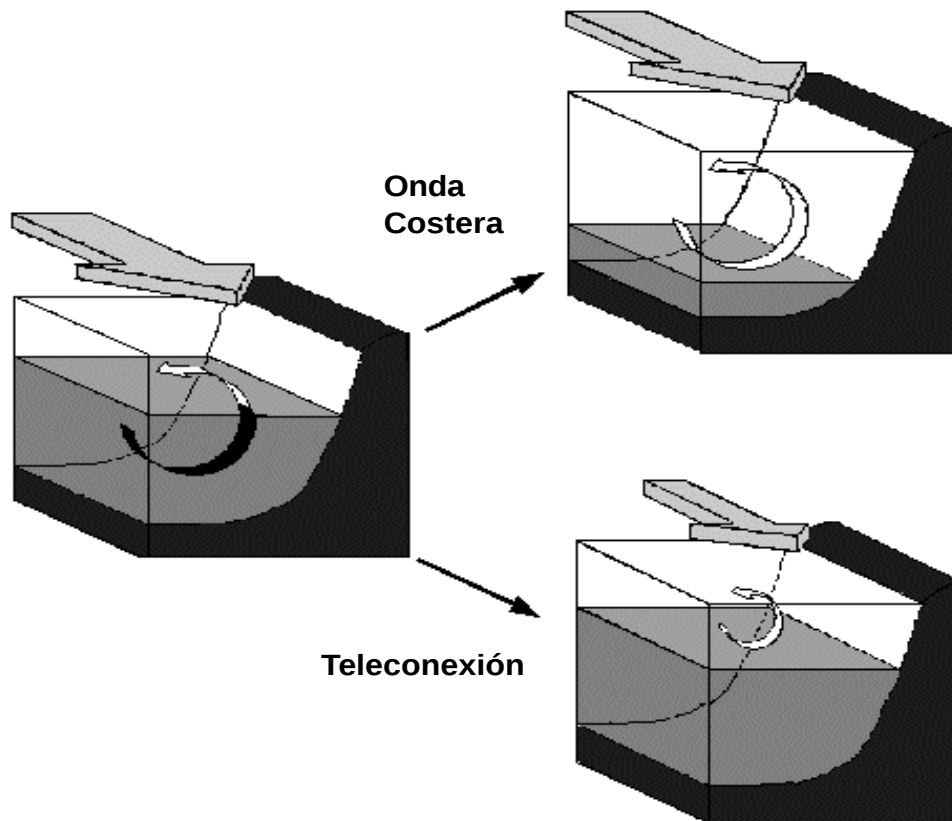


Fig. 5.7. Efectos de El Niño sobre los sistemas de surgencia por transporte de Ekman. Nótese como ambos mecanismos (onda costera y teleconexión) reducen el ascenso del agua sub-superficial hacia la zona fótica.

Imágenes por satélite de los pigmentos del Fitoplancton en el Pacífico mexicano

El fitoplancton es responsable de más del 95% de la fotosíntesis marina por lo que se convierte en el elemento esencial en la productividad ecológica de los océanos. Este incide significativamente en los procesos de producción alimenticia marina y en la regulación del dióxido de carbono en el mar. Actualmente, con los grandes avances en el entendimiento de los procesos oceánicos en escala global, se ha llegado a la conclusión que los ciclos biogeoquímicos están fuertemente ligados a los procesos de variabilidad y cambio climático. Pero a pesar de reconocer la importancia de estos ciclos, hasta ahora la magnitud y la variabilidad de la fertilidad oceánica permanece pobremente determinada. Salvo pequeñas excepciones, casi nada se conoce acerca de la variabilidad interanual de la productividad primaria y la biomasa del fitoplancton para los 332 millones de km² del océano abierto.

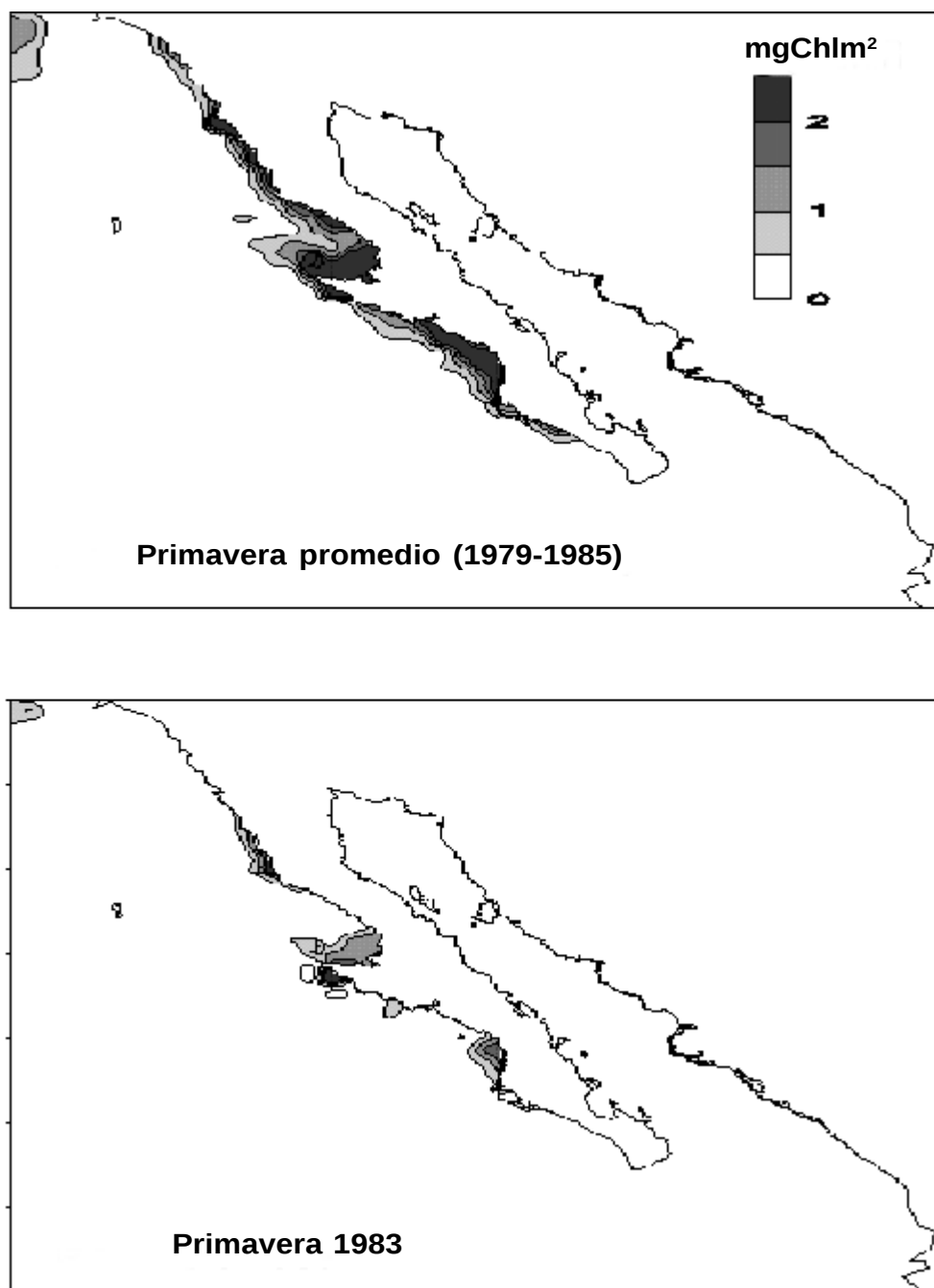


Fig. 5.8 Isolíneas de concentración de pigmentos fotosintéticos en la costa occidental de la península durante la primavera, promedio y durante El Niño 1982-83. La reducción de la biomasa fitoplanctónica media entre ambos casos es del 60%. Fuente de datos: Tran et. al (1993).

El uso de la información generada a través de sensores remotos (satélites) del color del océano, ha abierto las puertas para estudiar la variabilidad en la biomasa de los pigmentos fotosintéticos y aumentando el potencial para estimar la producción marina en escala global. Es también hoy en día, la única herramienta que ofrece a los oceanógrafos la capacidad de evaluar de manera sinóptica las distribuciones y variaciones del fitoplancton en regiones de alta variabilidad espacial y temporal (Gaxiola y Nájera 1996).

La información del océano generada por sensores remotos, ha permitido estudiar la variabilidad del mar y los pigmentos fotosintéticos que determinan la producción marina en escala global



El sensor *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS, por sus siglas en inglés) voló a bordo del satélite Nimbus-7 de la NASA, generando datos de pigmentos totales fotosintéticos del océano entre 1978 y 1986. Esta base de datos ha servido para desarrollar aplicaciones oceanográficas, como la cuantificación de la variabilidad biológica espacio-temporal, el análisis de la productividad oceánica y su papel en el ciclo global del carbono (Martín y Perry, 1994). En agosto de 1997 se puso en órbita un nuevo sensor: *SeaWiFS*, (*Sea-viewing Wide Field Scanner*) a bordo del satélite *OrbView-2* de *Orbital Imaging Corporation*, el cual fue diseñado con mejores características espectrales para determinar diversas formas bio-ópticas del océano.

Las áreas adyacentes a México que han sido estudiadas utilizando datos del CZCS son:

- i) El sistema de la Corriente de California (Peláez y McGowan, 1986);
- ii) El Golfo de México (Müller-Karger *et al.*, 1991; Biggs y Müller-Karger, 1994);
- iii) El Golfo de California (Santamaría del Angel, *et al.* 1994 a, b);
- iv) La zona del Pacífico adyacente a Baja California Sur,
- v) Cabo Corrientes y
- vi) El Golfo de Tehuantepec (Lluch *et al.*, 1997).

Con la información generada por el SeaWiFS, se abre toda una diversidad de oportunidades para avanzar el conocimiento sobre la magnitud de la variabilidad espacio-temporal de producción primaria y su relación con la fertilidad de las aguas patrimoniales mexicanas.

Con el propósito de conocer los impactos de El Niño 1997-1998 en la distribución espacio-temporal de los pigmentos totales fotosintéticos del fitoplancton marino en el Pacífico mexicano, se han descrito y comparado los impactos de la variabilidad climática, en la distribución de pigmentos fotosintéticos totales del fitoplancton como son la *Clorofila* y los *Feopigmentos*.

Para entender la relación Niño-productividad primaria se establecen las condiciones normales, a partir de una serie de imágenes estacionales promedio de pigmentos totales generadas con el sensor CZCS durante el periodo de 1978-1986, esta serie se compara con imágenes estacionales promedio, también de pigmentos generadas por el sensor *SeaWiFS*, que representan el ciclo estacional de pigmentos durante 1997-1998.

Aunque el sensor *SeaWiFS* provee datos que permiten la determinación de la concentración de *clorofila a*, los datos se procesan con un algoritmo de pigmentos tipo CZCS para facilitar la comparación. Tomándose en consideración la información generada por Gordon y Morel (1983), se dispone de referencias generales sobre la interpretación de imágenes por satélite para estudiar el color del océano.

Las imágenes de pigmentos totales tanto del CZCS como de *SeaWiFS*, fueron obtenidas de la NASA, específicamente del programa *Distributed Active Archive Center* (DAAC, por sus siglas en inglés). En el caso de CZCS se manejaron imágenes compuestas estacionales de los periodos comprendidos entre 1978 y 1986. Las imágenes del *SeaWiFS*, fueron esquemas compuestos mensuales entre octubre 1997 y octubre 1998, con las cuales se determinaron las imágenes compuestas de los promedios estacionales de los periodos otoño 1997, invierno 1998, primavera 1998, verano 1998, y finalmente otoño 1998. A pesar de realizarse validación de los datos, la comparación cuantitativa de estas series de imágenes debe tomarse con cierta cautela debido a las diferencias entre los sensores y el escalamiento de los mismos datos. Aun bajo tal consideración, se hacen evidentes las diferencias entre los patrones espaciales de distribución de biomasa del fitoplancton, durante periodos normales y años de Niño.

El área de estudio comprende las aguas entre 0-35° N de latitud y 85-130° W de longitud, la cual incluye al Pacífico mexicano (Fig. 5.9). En condiciones normales, esta región se encuentra influenciada por la Corriente de California, la corriente costera de Costa Rica, y el efecto de los vientos que producen surgencias costeras (ver Cap. 3).

Distribución espacial promedio (1978-1986) de los pigmentos totales (CZCS)

En general, la variabilidad espacial de los pigmentos totales de las aguas del Pacífico mexicano, se puede separar en grandes regiones:

- i) La región del Golfo de California, que se encuentra entre 24-32° N, donde generalmente se presentan los valores máximos de pigmentos totales ($> 0.6 \text{ mg m}^{-3}$) de todo el Pacífico mexicano.
- ii) La costa adyacente al norte de Cabo Corriente a 20°N, es otra región de alta fertilidad, la cual es un área reducida en comparación con el Golfo de California.



Fig. 5.9 Área donde se estudiaron los pigmentos fotosintéticos del Pacífico mexicano.

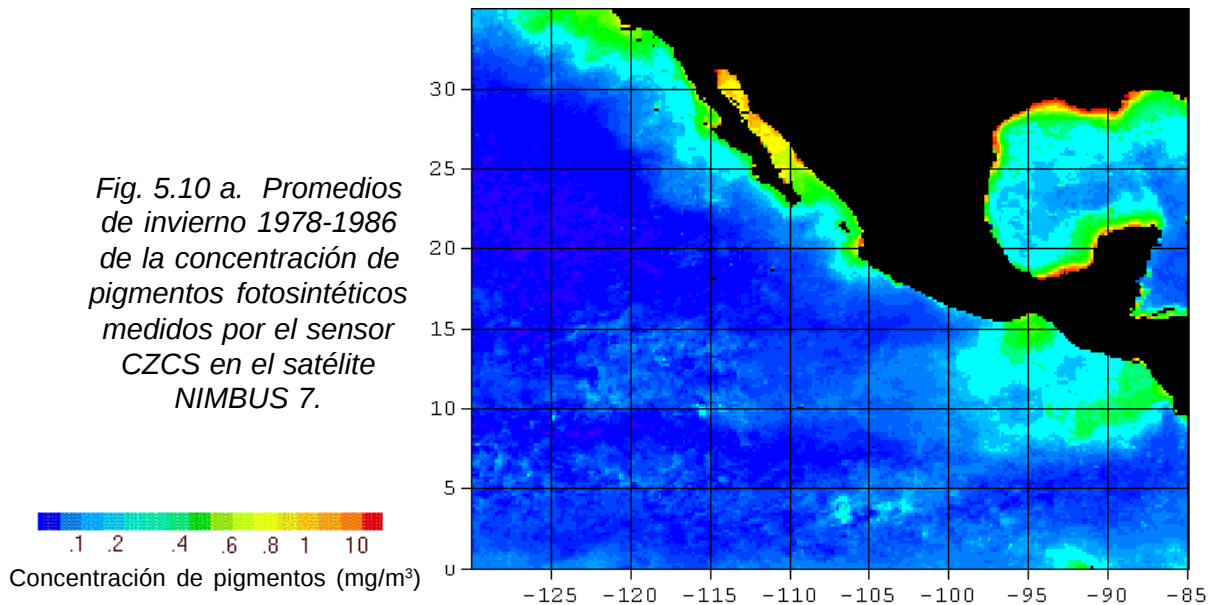
- iii) La región frente a las aguas adyacentes a la Península de Baja California, ubicada a los 23–32° N, la región del Golfo de Tehuantepec en los 15° N, que presentan concentraciones entre 0.3-0.6 mg m⁻³.
- iv) Existe entre las regiones de menor biomasa fitoplanctónica, una franja entre la región costera y la oceánica con valores entre 0.05-0.3 mg m⁻³.
- v) Finalmente la zona de mar adentro tiene una muy baja concentración de biomasa fitoplanctónica < 0.05 mg m⁻³ en las aguas propiamente oceánicas frente a México (Fig. 5.10 a-d).

Ciclo estacional (1978-1986) de los pigmentos totales (datos CZCS)

El ciclo estacional de concentración de pigmentos en el Pacífico mexicano (Fig. 5.10) muestra que en invierno los máximos de pigmentos totales son mayores a 0.6 mg m⁻³ y ocurren en casi toda la región del Golfo de California. Otra región de altas concentraciones la Bahía de Banderas, al norte de Cabo Corrientes y al sur de una región de concentraciones medianas frente a la costa de Nayarit. La alta concentración en Bahía Banderas se encuentra todo el año. Próxima a esta área se presentan altas concentraciones en las principales bahías adyacentes a la Península como son: Bahía de Todos los Santos, Bahía de San Quintín, Bahía de Sebastián Vizcaíno y Bahía Magdalena.

En la región del Golfo de Tehuantepec se observan concentraciones intermedias, entre 0.2 a 0.6 mg m^{-3} . Le sigue, al norte una franja relativamente ancha en la región adyacente a la Península de Baja California, adelgazándose entre Cabo San Lucas y Cabo Corrientes. En esta misma línea se encuentra un estrecho filamento a lo largo de las costas de Jalisco, Colima, Guerrero, que se ensancha en las aguas oceánicas frente al Golfo de Tehuantepec. Las aguas más pobres tienen concentración $<0.05 \text{ mg m}^{-3}$, y se localizan en la región oceánica frente a Michoacán. Esta última es casi igual durante todo el año.

En primavera (Fig. 5.10b), a diferencia del invierno, la región de alta concentración tiene más de 0.6 mg m^{-3} en el Golfo de California, y se encuentra comprendida en la región al norte de las grandes islas, es decir al norte de la latitud 28° N . Existe un nivel intermedio en el resto del Golfo, hasta llegar a la boca, con una región de menor fertilidad. Comparada con la estación de invierno, la península de Baja California presenta una franja de intensa concentración de pigmentos cerca de la costa, que disminuye rápidamente mar adentro. En el Golfo de Tehuantepec la concentración es menor en comparación con el invierno en la extensión mar abierto del golfo.



El verano (Fig. 5.10c), en comparación con el resto de las estaciones, presenta las concentraciones más bajas de los pigmentos. El Golfo de California tiene una concentración de entre 0.4 mg m^{-3} a más de 0.05 mg m^{-3} desde el sur hasta cerca de la Bahía de Guaymas. Frente a la Península de Baja California existe una franja de mediana concentración en pigmentos, desde Ensenada hasta Bahía Vizcaíno. Después se encuentra una región más ancha de concentraciones medianas, frente a Punta Baja, que se reducen hacia el final de la Península en Cabo San Lucas. En verano, el Golfo de Tehuantepec presenta una distribución de pigmentos en parches, que se encuentra puntualmente localizado al sur del Golfo.

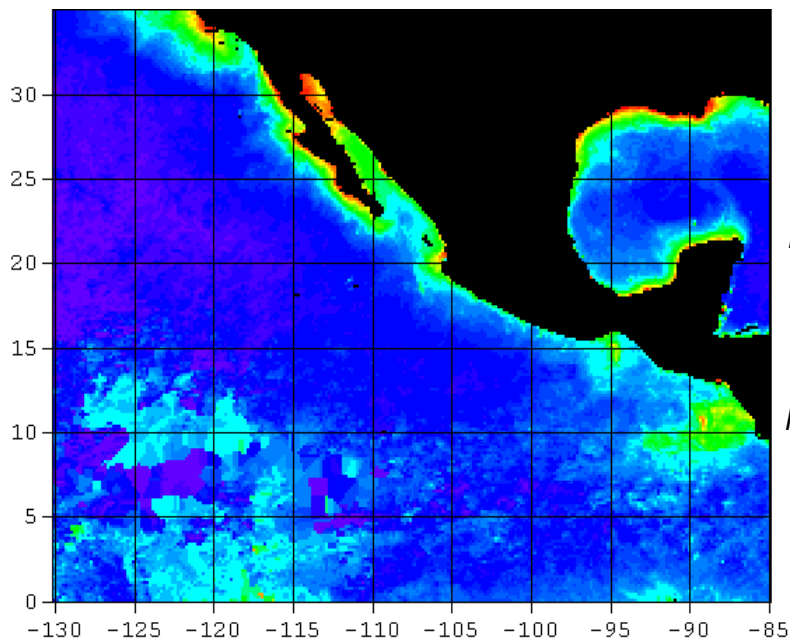


Fig. 5.10b. Promedios de primavera 1978-1986 de la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por el sensor CZCS en el satélite NIMBUS 7.

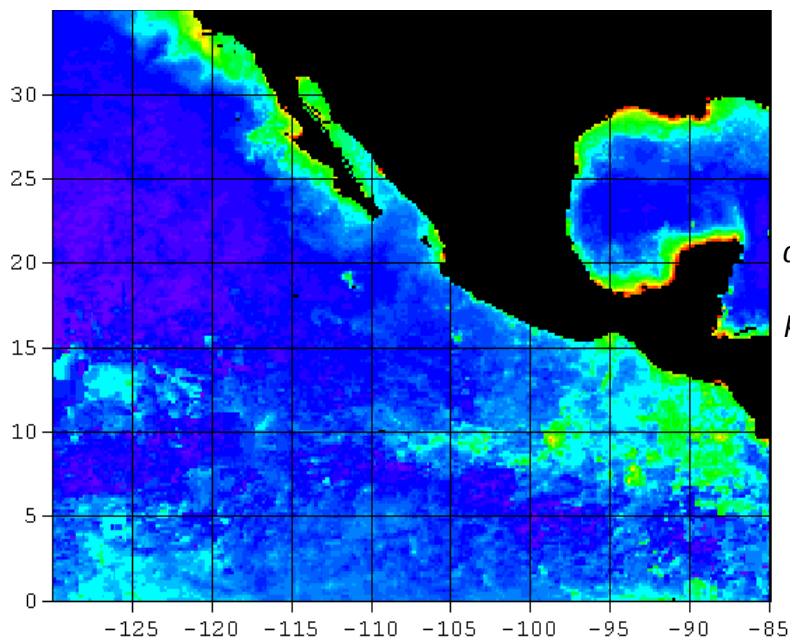
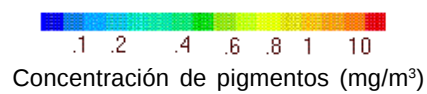
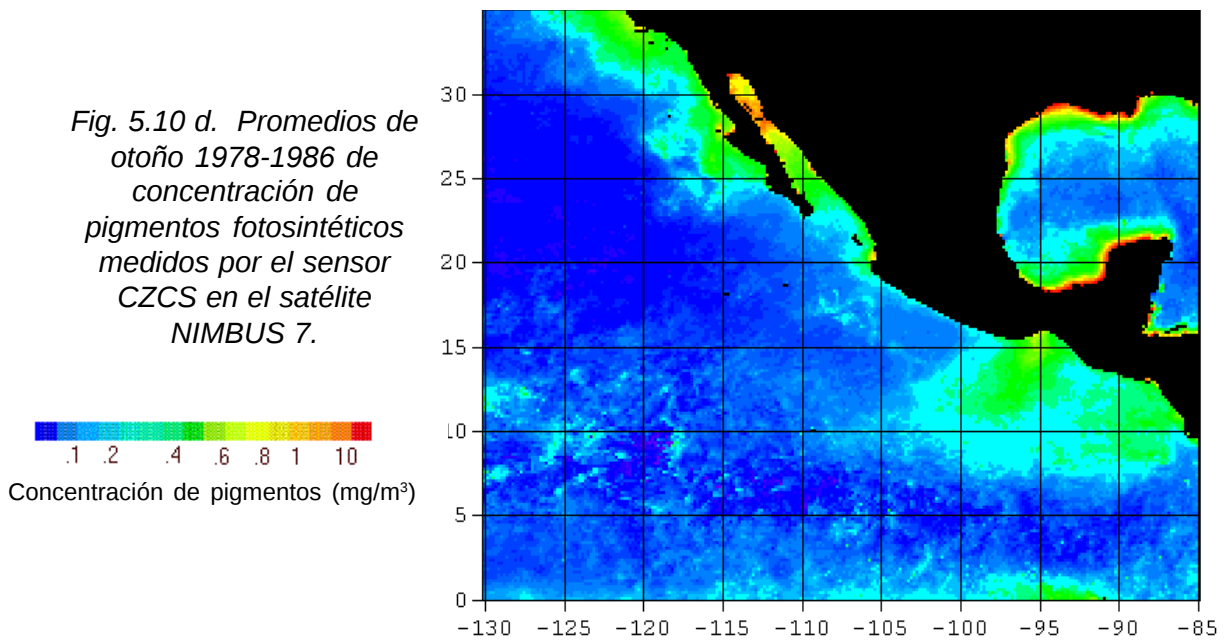


Fig. 5.10c. Promedios de verano 1978-1986 de concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por el sensor CZCS en el satélite NIMBUS 7.



Durante el otoño (Fig. 5.10d), se observa un incremento en áreas con concentraciones medias de pigmentos entre 0.3 y 0.8 mg m⁻³. La alta concentración de biomasa del Golfo de California, se encuentran desde Alto Golfo hasta la zona central, al norte del paralelo 28° N. Existe una banda muy estrecha de baja concentración que une al Golfo de California con el de Tehuantepec, donde se localiza la más amplia distribución de pigmentos en concentraciones medianas durante todo el año. En este periodo se define una gran región, que incluye el Golfo de Papagayo y el Domo de Costa Rica. Las aguas adyacentes a la Península, presentan nuevamente regiones con gran cantidad de pigmentos cercanos a la costa, desde Ensenada hasta Bahía Vizcaíno, y una gran región de concentración media, desde la frontera con Estados Unidos hasta Bahía Magdalena. Por último, las aguas pobres del océano se ubican lejos de la región costera. Es así como se cierra el ciclo anual, observándose la máxima fertilidad del año durante el otoño, en función de la cantidad de áreas y las mínimas concentraciones durante el verano.



Distribución de pigmentos durante El Niño 1997-1998 (datos de SeaWiFS)

Al comparar el ciclo estacional de la distribución de pigmentos totales desde invierno 1997-1998 hasta otoño 1998, durante la máxima influencia del evento El Niño 1997-1998, con la referencia anteriormente descrita (1978-1986), se encuentra una fuerte disminución de los pigmentos en todas las regiones descritas, a lo largo del Pacífico mexicano (Fig. 5.11 a-e).

En el otoño de 1997 (Fig. 5.11a) se aprecia un frente de pigmentos extendiéndose al suroeste de la región de Ensenada. La región de Isla Socorro, cuenta con una concentración baja de pigmentos, y en casi todo el Golfo de California se detecta una mediana concentración. Finalmente, la zona de 10°N hacia el Golfo de Tehuantepec presenta una franja de pigmentos muy reducida.

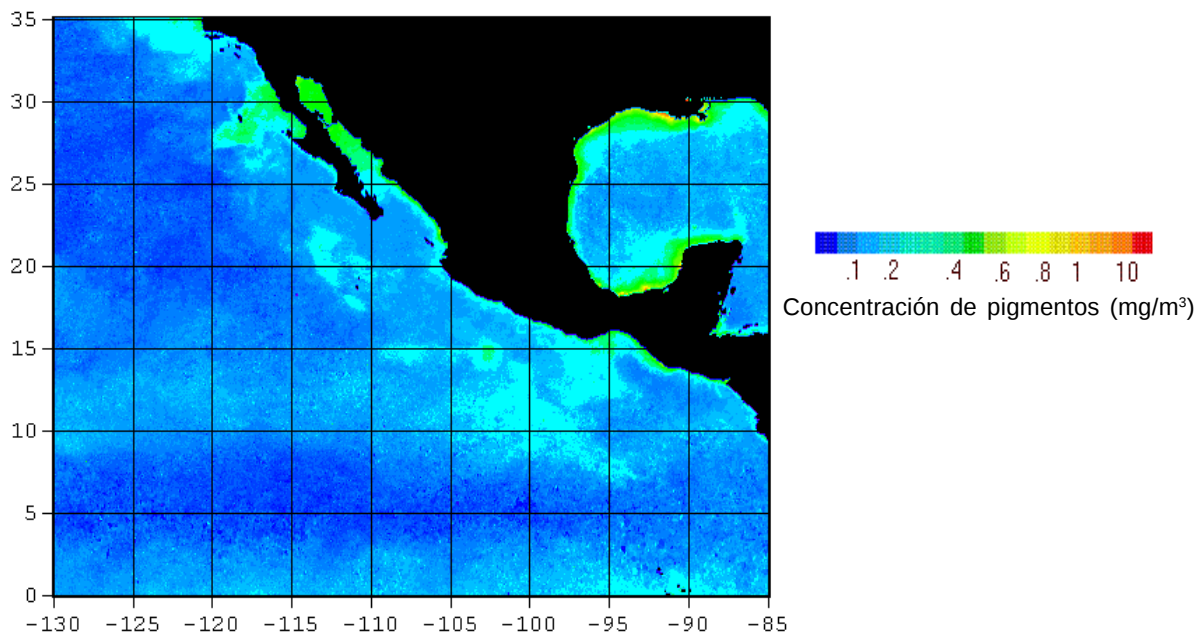


Fig. 5.11a . Promedio de otoño 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

En invierno de 1997-98 (Fig. 5.11b), los valores medianos de pigmentos se presentaron en la costa adyacente a la Península, en una extensión mayor a la del otoño promedio. El Golfo de California, tuvo una lengüeta de pigmentos angosta que se extendió al sur hasta Bahía Banderas. El Golfo de Tehuantepec tuvo una reducida concentración de pigmentos, aunque persistió la presencia de dos franjas bajas, sobre 10°N y el Ecuador. La distribución de pigmentos en el invierno fue muy similar a la observada con CZCS, pero con concentraciones menores y frentes menos marcados.

Las condiciones de primavera durante 1998 (Fig. 5.11c) fueron similares a las de invierno. En particular, en el Golfo de California se mantuvieron los niveles de concentración de pigmentos. La presencia de estas concentraciones en las aguas costeras adyacentes a la Península, sufrieron una retracción hacia la costa en contraste con el invierno. La alta concentración en la banda costera entre la boca del Golfo y el sur de Cabo Corrientes, también se incrementó ligeramente. Finalmente el Golfo de Tehuantepec presentó una región de mayor concentración en comparación con las condiciones de invierno.

Fig. 5.11 b . Promedio de invierno 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

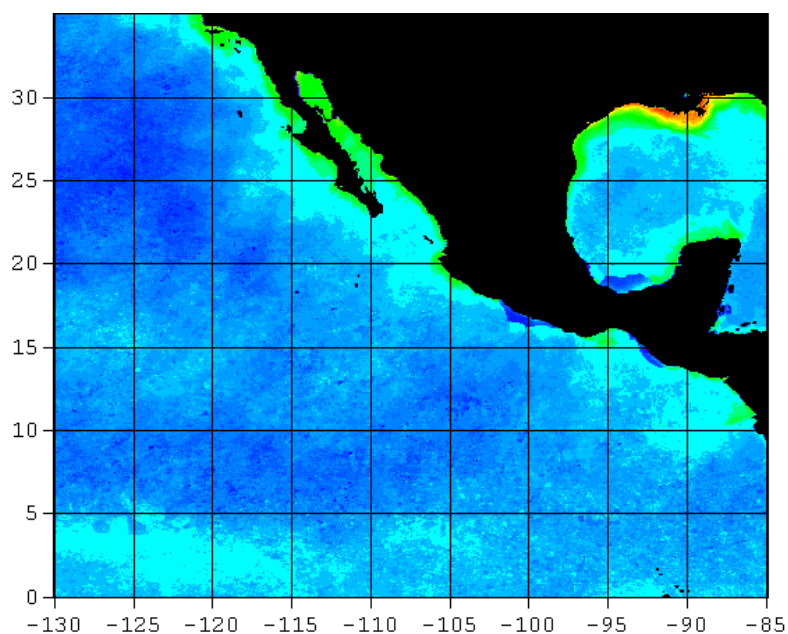
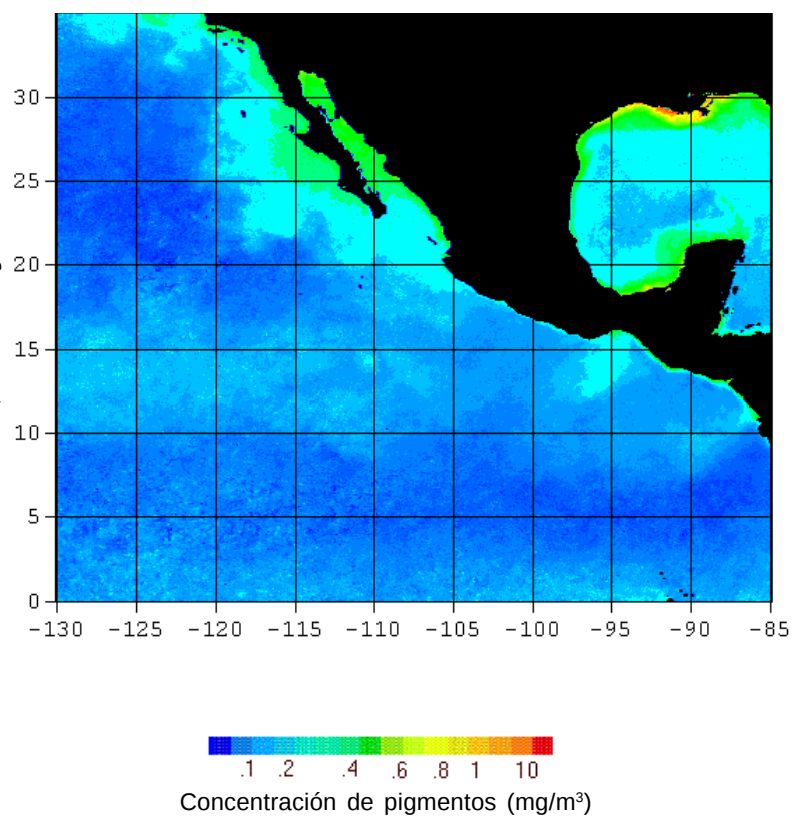


Fig. 5.11 c . Promedio de primavera 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

Durante el verano de 1998 (Fig. 5.11d) se observaron las mínimas concentraciones a lo largo de todo el Pacífico mexicano. Sólo la parte al norte de las grandes islas en el interior del Golfo de California, presentó una franja costera a lo largo de toda la península y una angosta que se extendió desde Mazatlán hasta Cabo Corrientes, con una concentración de alrededor de 0.4 mg m^{-3} . La formación de la franja angosta de concentración total de 0.2 mg m^{-3} o menos, se vió a lo largo de toda la península y en el interior del Golfo, al sur de las Grandes Islas hacia Cabo Corrientes, asociada a un filamento costero que conectó al Golfo de Tehuantepec. Las aguas pobres en pigmentos, con menos de 0.05 mg m^{-3} , se encontraron en toda la región costera del Pacífico mexicano.

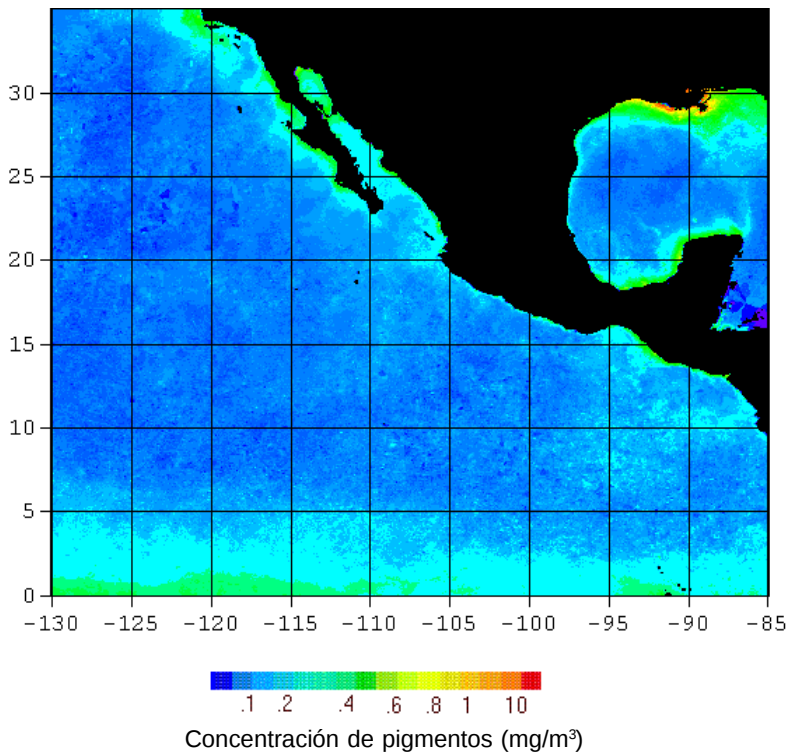


Fig. 5.11 d. Promedios de verano 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

Durante otoño de 1998 (Fig. 5.11e), la región al norte de 28° N mostró un aumento en los pigmentos en contraste con las condiciones de verano. Asimismo, se observó una franja de mayor concentración de pigmentos que en la región costera de la latitud 26° N en el Golfo de Tehuantepec. El Golfo mostró las mayores concentraciones de pigmentos durante todo este ciclo anual, indicando probablemente una recuperación hacia las condiciones normales. Sin embargo, no se pudieron apreciar las dos grandes extensiones de altas concentraciones que se observaron en las imágenes del CZCS. Finalmente, las aguas costeras adyacentes a la Península de Baja California, tuvieron una disminución en la concentración de pigmentos.

En general, se reconoce que los eventos El Niño reducen significativamente los pigmentos fotosintéticos totales en la mayor parte de las regiones costeras del Pacífico Oriental, desde Perú hasta Alaska (Barber y Chávez, 1983; Gaxiola Castro y Nájera Martínez, 1996), disminuyendo por consiguiente la fertilidad de los ecosistemas marinos. Esta reducción de fertilidad se presenta principalmente, por el debilitamien-

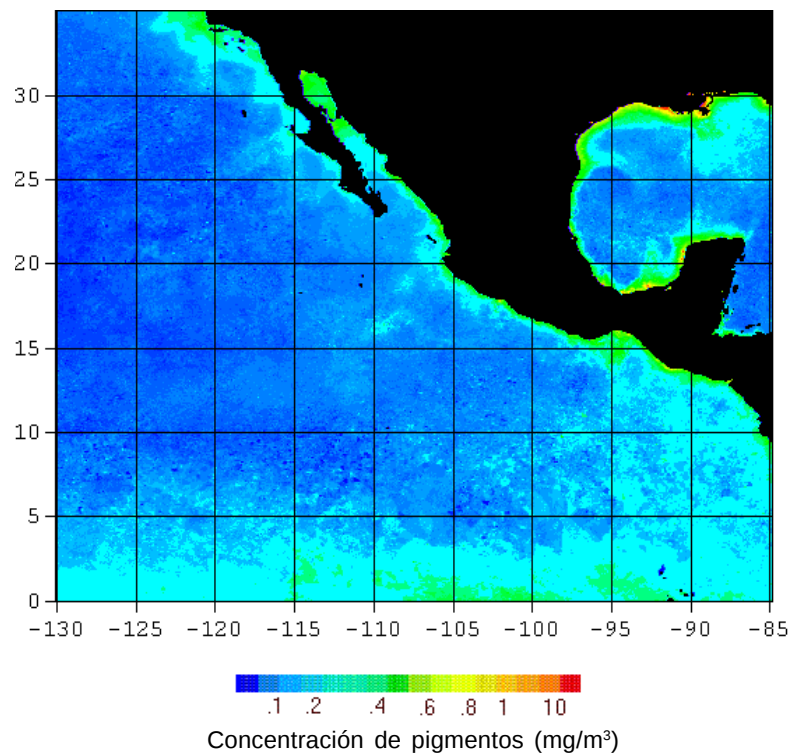


Fig. 5.11 e. Promedios de otoño 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

to de los sistemas de surgencias y el hundimiento de la termoclina; situaciones que reducen el aporte de nutrientes a la zona eufótica, causando una disminución en la productividad biológica del océano (Barber *et al.*, 1985).

Durante años de Niño disminuye la productividad primaria del Pacífico oriental. McGowan (1983) indicó que la producción primaria y secundaria en la Corriente de California es alta cuando el transporte de agua fría de baja salinidad es del norte, y baja cuando el transporte es débil; así los períodos de calentamiento y baja producción en la Corriente de California tienden a coincidir con los eventos de El Niño en el Pacífico Ecuatorial Tropical.

Los eventos El Niño tienen efectos marcados en el Golfo de California. Se ha documentado una fuerte invasión al Golfo de las masas de agua del Pacífico Tropical Oriental y del agua subtropical subsuperficial durante el evento El Niño de 1957, en comparación con 1974, un año normal. Durante 1985 se concluyó, con base a muestras discretas, que los eventos de El Niño reducen la biomasa del fitoplancton al sur del Golfo de California, donde las condiciones hidrográficas son similares a las de las aguas oceánicas del Pacífico. Valdéz Holguín y Lara Lara (1987) reportaron los efectos de El Niño 1982-1983 en productividad primaria del Golfo de California, confirmando que la zona mas afectada fue el sur.

Por el contrario, la productividad en la región central y el alto golfo no fue afectada, ya que el proceso de afloramiento y surgencia en la mezcla vertical y el efecto de las mareas, continuaron aportando los nutrientes requeridos para el proceso de fotosíntesis.

Durante el evento de El Niño 1982-1983, las especies tropicales marinas se desplazaron hacia el norte del Pacífico mexicano.



Los análisis con imágenes mensuales de los pigmentos totales generadas por el CZCS, mostraron que durante 1978-1986, la variabilidad de la biomasa de fitoplancton en el Golfo de California no estuvo dominada por la presencia de El Niño. El intenso proceso de afloramiento y la surgencia en el interior del golfo enmascararon los efectos del evento 1982-1983, el cual en otras regiones del Pacífico provocó impactos en la fertilidad de ecosistemas costeros.

El Pacífico Oriental Tropical, en comparación con el resto del Océano Pacífico presenta una intensa actividad biológica, debido a: una termoclina somera, los eventos de surgencia, afloramiento y mezcla vertical, que permiten una aportación significativa de nutrientes de aguas profundas a la zona eufótica (Vinogradov, 1981; Picaut, 1985). En el Golfo de Tehuantepec los vientos se combinan con la dinámica oceanográfica para generar dos condiciones ambientales propicias de alta productividad: la primera, en verano cuando dominan las condiciones tropicales por la corriente costera de Costa Rica, y la segunda en invierno, cuando esta misma corriente se debilita.

**Los vientos
invernales en el Golfo
de Tehuantepec se
combinan con la diná-
mica del océano para
producir afloramientos
y alta productividad
marina**



El Golfo de Tehuantepec ha sido descrito como una región de alta productividad primaria, principalmente por efecto de los Nortes, los cuales actúan como bombas de nutrientes y de carbono fitoplanctónico, enriqueciendo parte de las aguas oceánicas del Pacífico Oriental Tropical (Robles Jarero y Lara Lara, 1993). Lluch y colaboradores han descrito la variación espacio-temporal de los pigmentos fotosintéticos del Golfo de Tehuantepec y las áreas adyacentes, utilizando la serie de datos del CZCS, reportando que en 1997:

- i) Las surgencias ocurrieron entre octubre y abril.
- ii) En el Domo de Costa Rica la surgencia se presentó en el verano, y
- iii) Los efectos episódicos de la mezcla por tormentas tropicales se dieron de julio a octubre.

En concordancia con estos trabajos, los resultados de estudio de distribución y abundancia de la clorofila durante 1997 y 1998, muestran un decremento completo en las concentraciones de pigmentos, así como un fuerte debilitamiento del ciclo temporal, en comparación con los reportes anteriormente descritos.

Otros de los cambios oceanográficos importantes observados durante un evento de El Niño son: la elevación de la temperatura superficial del océano, la elevación del nivel del mar, la intensificación de las corrientes costeras hacia los polos, la intensificación de los patrones de precipitación o, en caso contrario, de sequía afectando la estabilidad oceanográfica, la invasión de organismos tropicales y la mortalidad masiva de varios organismos locales.



Entre los fenómenos observados en años Niño está el aumento en la mortalidad de organismos locales en el Pacífico Mexicano

Los impactos de El Niño 1997-1998 en la actividad pesquera mexicana comienzan a ser cuantificados (ver Cap. 6). En las costas adyacentes a la Península de Baja California, se reportan reducciones importantes en la pesca del erizo, langosta, abulón, caracol, pepino de mar y el camarón. La producción en los bancos de macroalgas se redujo un 70%. Se estima que la producción pesquera en la región disminuyó alrededor de 30%, debido a las fuertes reducciones en la fertilidad del fitoplancton y por lo tanto en toda la cadena trófica.

Las reducciones de concentración de pigmentos en los ciclos estacionales se presentan, aun en épocas de no Niño.

Consecuencias inmediatas

Los mecanismos asociados a El Niño resultan directamente en un calentamiento anómalo de la capa superficial a todo lo largo del Pacífico mexicano, por una modificación en los patrones de circulación de los vientos dominantes de la zona. Tales cambios provocaron una disminución de los nutrientes disponibles para la producción primaria en el océano. Estas alteraciones ambientales tienen efectos inmediatos sobre los recursos pesqueros, directos y evidentes en ocasiones, pero en general, complejos y poco entendidos.

Las alteraciones inmediatas, se presentan principalmente por cambios en la distribución de los organismos. La explotación pesquera hasta ahora se ha ejercido sobre especies con capacidad de desplazamiento que, ante condiciones ambientales desfavorables, modifican su distribución vertical y horizontal, abandonando parcial o totalmente las áreas de pesca tradicionales. Algunas veces estos cambios han resultado en incrementos de la disponibilidad de algunos recursos no accesibles en determinadas zonas bajo condiciones normales.

Un caso notable se observó en la costa occidental de la península de Baja California, donde se dio un máximo histórico de las capturas de camarón, que en esta región consisten básicamente de camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*). En Baja California Sur se alcanzaron 1,900 toneladas en 1997, en contraste con las 697 toneladas capturadas el año anterior. En tanto la captura en Baja California registró un incremento similar, al pasar de 397 toneladas en 1996 a 547 en 1997 y 900 en 1998. Si bien la costa occidental de la península es una área de pesca tradicional del crustáceo, durante El Niño la captura fue muy superior a la acostumbrada en esta región que constituye el límite boreal de distribución de la especie. Esto permitió que las pesquerías de los estados de la península incrementaran sus ingresos por este concepto, en más de nueve millones de dólares durante 1997 y 1998 (Tabla 5.1).



En la costa occidental de la península de Baja California, se tuvo un máximo histórico de las capturas de camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*), resultado de los cambios asociados al Niño 97-98.

Otro ejemplo de cambios en la distribución a lo largo de la costa occidental de la península se registró para el caso de la sardina (*Sardinops sagax*). Esta pesquería, en la península había presentado patrones de captura normales durante el año de 1996, situación que se modificó para 1997, en presencia de El Niño, cuando se registró un incremento en la captura para las áreas norteñas de Baja California, al duplicarse la captura media, de poco más de 50 mil toneladas en 1996, al doble en

1998. En contraste, las capturas de Baja California Sur cayeron alrededor del 50% entre los años de 1997 y 1998. En el caso de esta actividad, el balance total resultó positivo en alrededor de 65 mil toneladas que, a precios de playa de 1997, significaron casi dos millones de dólares adicionales durante El Niño 1997-98 (Tabla 5.1)

No siempre los cambios en la distribución de los organismos, resultan positivos. En general, se han registrado pérdidas en los diferentes espacios y rubros de la actividad. Esta situación se debe principalmente al desconocimiento casi total que sobre la ubicación real del recurso, ya que la mayoría de las veces se actúa siguiendo el conocimiento empírico del que se dispone. Este problema se ve acentuado en años de El Niño, cuando se modifican las condiciones de pesca normales.

Una actividad pesquera, que ejemplifica muy bien esta situación es la captura de sardinas del Golfo de California, que es la más importante del país por los volúmenes de extracción. La especie principal es la sardina monterrey (*Sardinops sagax*), que es un organismo de ambientes templados. En años normales, la pesquería de sardina monterrey ocurre con estrategias de captura donde se aprovechaba su migración al sur para la reproducción, desde la región de las Grandes Islas hasta las costas de Sonora y Sinaloa, durante la temporada de surgencias. Pero en presencia de El Niño, este movimiento se reduce significativamente, permaneciendo la mayor parte de la población en la región de las Grandes Islas, donde la temperatura se mantiene comparativamente fría gracias a condiciones topográficas locales (Badán *et al.* 1985, Lavín *et al.* 1997).

En contraste, la sardina crinuda (*Ophistonema spp*), especie de ambiente tropical, extiende su distribución hacia el norte incrementando su presencia en las zonas de pesca, lo que se refleja en las capturas y en los rendimientos (Lluch-Belda *et al.* 1986, Ruiz-Luna 1995). A pesar de su relativa disponibilidad de captura, esta especie ha presentado problemas en su comercialización debido a la dificultad para ser enlatada.

Ante la recurrencia de El Niño, la industria ha venido flexibilizándose a fin de utilizar especies no tan comerciales como la crinuda, con el fin de compensar de esta forma los cambios en la disponibilidad de cualquiera de sus especies objeto o más rentables. Por ello, la captura de sardina crinura en Sinaloa, aumentó de 36 mil toneladas en 1996, a 68 mil en 1997 y a 47 mil en 1998. Estos incrementos son el resultado de una mayor disponibilidad del recurso para la captura y sobre todo, de la aceptación de esta sardina por parte de la industria empacadora. Desafortunadamente estos incrementos no alcanzaron a compensar la importante caída de la producción en Sonora, debido a la baja en las capturas de sardina monterrey, que se cuantificaron en casi 300 mil toneladas en 1996, cayendo en 1997 a 257 mil y a 174 mil para 1998. En el balance global de volúmenes obtenidos en 1996, la pesquería de sardina monterrey del Golfo de California dejó de capturar unas 122 mil toneladas de sardina en 1997 y 1998, equivalentes a unos 5.6 millones de dólares (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Variaciones de la producción de las principales pesquerías del Pacífico mexicano, 1996-98 (peso vivo)

[illegible]

Otra pesquería que ha registrado pérdidas a causa de El Niño es la de atún, la segunda en importancia por los volúmenes. La captura de las diferentes especies que integran este recurso se realiza en casi todo el Pacífico mexicano, desde las áreas netamente tropicales del Golfo de Tehuantepec, hasta las costas templadas del occidente de Baja California. Considerando toda la extensión del Pacífico mexicano, El Niño de 1997-98 no parece haber tenido efectos mayores sobre la producción atunera en relación a 1996, cuando se capturaron casi 146 mil toneladas. Fue incluso observado un incremento moderado del 13% en 1997, seguido de un decremento menor al 8% en 1998 en los volúmenes de captura. Con estos datos se infiere que el balance es positivo en más de ocho mil toneladas, equivalentes a 5.7 millones de dólares. No obstante, debe considerarse que estos incrementos globales no significan ganancias para todos los que participan de la actividad. En este caso, el aumento obedeció a incrementos de la disponibilidad del recurso en las zonas de pesca del Pacífico tropical mexicano. En contraste, esta disponibilidad disminuyó notoriamente en algunas regiones, en especial a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California. El desplazamiento de los organismos hacia latitudes más norteñas (Karinen et al. 1985) parece ser la explicación de reducciones que llegaron a alcanzar más del 30% de la captura de ambos estados, lo que les significó a la región dejar de ingresar alrededor de 20 millones de dólares.

Los casos del atún y la sardina son los de una flota mayor, con capacidad para movilizarse ante los cambios de distribución de sus recursos objeto. Para las pesquerías artesanales, que se realizan en embarcaciones menores con poca autonomía, los efectos de los cambios de distribución suelen ser más drásticos. En casos extremos, pueden implicar incluso la suspensión temporal de la actividad pesquera, particularmente cuando por cualquier razón no existe capacidad para reubicar el esfuerzo de pesca. Un ejemplo de este problema se tiene para el periodo 1997-98, en los campos tiburoneros de la costa occidental de Baja California Sur, donde el tiburón disminuyó su presencia en la zona hasta el punto de hacer incosteable la actividad, ocasionando el cierre temporal de algunos campos pesqueros.

Para los pescadores con embarcaciones pequeñas, el desplazamiento del recurso pesquero por causa de El Niño, puede significar la paralización total de sus actividades.



Otra especie que experimentó cambios radicales en su distribución fue el calamar (*Dosidiscus gigas*), que desde los setenta es explotado en el Golfo de California aunque con marcadas variaciones en la captura (Klett 1981; Ehrhardt et al. 1982, 1986; Morales-Azpeita et al. 1997). El último periodo de alta producción se observó en los inicios de 1992, con volúmenes que alcanzaron más de

120 mil toneladas, equivalentes a unos 23 millones de dólares en 1997. La elevada disponibilidad en estos años motivó el desarrollo de toda una infraestructura alrededor del recurso, que llegó a significar unos 4,000 empleos directos entre extracción y procesamiento. Pero durante 1998, en presencia de El Niño se dio un cambio radical en la distribución de la población, que resultó en capturas prácticamente nulas dentro del Golfo, ocasionando la pérdida de unos 3,200 empleos directos. En contraste, empezaron a detectarse concentraciones elevadas en la costa occidental de la península de Baja California, donde llegaron a capturarse poco más de 20,000 toneladas. Pese a ello, el balance inmediato arroja una reducción de la producción nacional del orden del 75% durante 1998, lo que supone una pérdida cercana a los 16 millones de dólares (Tabla 5.1).

Finalmente, cabe destacar un caso especial de efectos de El Niño 1997-98 en la distribución de recursos con alta capacidad de desplazamiento, que corresponde a la pesca deportiva en el sur de la península de Baja California y en áreas del Golfo de California, como las aledañas a Mazatlán y Puerto Vallarta, eje de la importante actividad turística. Entre 1997 y 1998 la disponibilidad de las especies de pico (marlines) fue baja en la zona, mientras que se incrementó notablemente en el sur de California. Esta situación se dio a conocer rápidamente en diversos medios de comunicación, por lo que el atractivo de los destinos turísticos mexicanos disminuyó en la medida en la que las expectativas de buena pesca se orientaron hacia destinos en Estados Unidos. Aunque no existen estimados a este respecto, puede afirmarse que la afluencia de visitantes a la región, muchos de ellos residentes en California, disminuyó en forma significativa.



La pesca deportiva en Mazatlán y Puerto Vallarta disminuyó durante El Niño 1997-98, provocando un descenso en la actividad turística interesada en esta actividad.

Por otro lado, son los organismos sésiles o de baja movilidad los que presentan una mayor vulnerabilidad a los cambios físicos que origina la presencia de El Niño. Ante la imposibilidad para modificar su distribución, los organismos pueden verse sometidos a condiciones de temperatura, salinidad y abundancia de alimentos que pongan en riesgo su supervivencia, ya sea por encontrarse en ambientes poco favorables o en los márgenes de sus límites de tolerancia. Los cambios ambientales resultan en estrés fisiológico, que a su vez puede determinar pérdida de peso, mayor susceptibilidad a las enfermedades y en casos extremos, incrementos importantes en la mortalidad natural.

Para el caso de El Niño 1997-98, los organismos de comunidades bentónicas como las algas, fueron especialmente afectados, teniendo el ejemplo de los sargazos gigantes (*Macrocystis pirifera*), en la región central de la costa occidental de la península de Baja California. Esta población es de gran relevancia, no sólo desde el punto de vista ecológico, sino pesquero, ya que alberga especies de muy elevado valor comercial, como la langosta y el abulón, que son la base casi exclusiva del desarrollo de muchas comunidades en la entidad. Los efectos de El Niño fueron evidentes desde mayo de 1997, cuando se inició un rápido calentamiento del mar, ubicando la temperatura 2 a 3°C por arriba de la normalmente observada en esta región.

En 1998, el calentamiento del mar frente a Baja California provocó la disminución de la población de sargazos, que alberga especies de muy elevado valor comercial, como la langosta y el abulón, base del desarrollo económico de la región.



Los cambios en la temperatura tuvieron efectos casi inmediatos en diversos recursos marinos, entre los que destacó la pérdida casi total de las poblaciones de macroalgas: *Gelidium robustum*, *Macrocystis pirifera* y *Eisenia arborea* principalmente. Tal pérdida, se extendió desde el límite sur en Bahía Asunción, B.C.S, hasta las inmediaciones de Ensenada, B.C. Las dos primeras algas son cosechadas y exportadas para la elaboración de diversos productos derivados de los alginatos. En 1998 la producción de estos organismos alcanzó las 5,673 toneladas, representando apenas el 17% de lo cosechado en 1997. Hay que hacer notar que la cosecha inicia en primavera, por lo que la mayor parte de ella se había realizado ya antes de los primeros efectos de El Niño en el área en 1997. El problema resultó en dejar de exportar alrededor de 700 mil dólares en 1998 (Tabla 5.2). Según diversos autores, los daños que presentan los mantos de macroalgas durante El Niño son efecto de factores como: las elevadas temperaturas, la baja concentración de los nutrientes disponibles y el efecto mecánico del oleaje sobre las algas fisiológicamente debilitadas, particularmente durante tormentas y ciclones (Tegner y Dayton, 1987). En todo caso, los efectos de El Niño sobre estas macroalgas son tales, que incluso se les ha señalado como una posible limitante para el aprovechamiento económico de estos organismos (Casas-Valdez *et al.*, 1996).

El principal recurso pesquero asociado a las macroalgas es el abulón (*Haliotis spp.*), el cual depende directamente de la disponibilidad y calidad de las algas, su dieta principal. Por esta razón, los efectos de El Niño sobre dicha comunidad vegetal se han señalado como una causa de deterioro para las poblaciones de abulón, lo que representa una limitante para su aprovechamiento (León-Carballo y Muciño-Díaz, 1995). La escasez de sargazo en 1997-98 tuvo gran impacto sobre los bivalvos. Las observaciones directas evidenciaron animales adelgazados con un músculo reducido, lo que se tradujo en una baja producción, debido a la mala calidad del producto, los bajos precios y las pérdidas económicas para los pescadores. Con la mala salud de la población de abulón, se observó también una alta mortandad natural, debida a una mayor frecuencia de enfermedades como el síndrome de deshidratación (Altstatt *et al.*, 1996). Ante este panorama, podemos observar que aun y cuando no hay estimaciones definidas sobre la reducción en la producción del abulón, se puede afirmar que su baja producción ha contribuido al decremento en las exportaciones nacionales de crustáceos y moluscos enlatados. La producción estimada en más de 22 mil toneladas en 1996, se redujo a menos de 4 mil en 1998, por lo que se dejaron de generar unos 34 millones de dólares durante 1997 y 1998 (Tabla 5.2).

Otro recurso pesquero directamente asociado a los mantos de algas es la langosta (*Panulirus interruptus*). Esta comunidad, registró también un retroceso significativo en su producción, cuantificándose en 2,037 toneladas para 1996 se redujo a 1,184 toneladas en 1998, con una reducción en las exportaciones de más de 24 millones de dólares en 1997 y 1998 (Tabla 5.2). Los problemas que este rubro pesquero ha enfrentado son: las reducciones en la accesibilidad y disponibilidad del recurso, derivadas de una migración hacia el fondo de los organismos. Adicionalmente, la langosta y el abulón en el mismo periodo estuvieron sujetos a una mayor mortandad natural vía predación, al observarse un incremento importante del pulpo en la región, uno de los principales predadores tanto de abulones juveniles como de langostas. Este predador es capturado generalmente en pequeñas cantidades, las cuales se han destinado al consumo doméstico. Esta situación cambió durante El Niño, cuando al aumentar la población de pulpo, algunas cooperativas lo explotaron comercialmente, obteniendo capturas de varias toneladas.

A pesar de que para el mayor número de poblaciones asociadas a los mantos de macroalgas presentaron pérdidas en sus volúmenes poblacionales, existen casos en donde las poblaciones aumentaron. Por ejemplo, las comunidades asociadas a *Macrocystis* parecen encontrar mejores condiciones para su desarrollo durante El Niño, teniendo el caso más importante en el camarón. A nivel mundial, estas pesquerías tropicales suelen registrar incrementos en las capturas y en los rendimientos. Para el caso del Pacífico, esta pesquería es la más importante del país en términos de generación de divisas, por lo que las variaciones que conlleva el evento El Niño tienen un efecto determinante en el valor de la producción pesquera nacional.

La pesquería de camarón se basa en la explotación de dos especies principales: el café (*Farfantepenaeus californiensis*), que aporta alrededor del 65%, y el azul (*Litopenaeus stylirostris*), que genera aproximadamente el 30%. En diversas ocasiones, los efectos de El Niño han resultado en incrementos de la producción sobre la base de un cambio en la proporción de estas especies, con aumentos del camarón azul y disminuciones del café. Ahora se sabe que esta modificación en la captura es debida a que el camarón azul desarrolla sus estadios larvarios en el interior de las lagunas costeras, las cuales durante El Niño se incrementan en extensión y en productividad. El aumento de estas regiones parece estar asociado a la mayor presencia de las aguas dulces, producto de las fuertes lluvias en las costas de Baja California durante años Niño (Lluch-Belda *et al.* 1991) (ver Figs. 2.5 y 2.13). Estos cambios en la disponibilidad del recurso camaronero son entonces resultado de los balances entre aumento en la pesca del camarón azul y reducción en el camarón café.

Los aumentos en la temperatura del mar y en las precipitaciones en Baja California durante años Niño parecen favorecer el desarrollo de algunas especies de camarón.



Aun cuando se vio un incremento en las capturas de dichos crustáceos entre 1997 y 1998, la proporción promedio de ambas especies se mantuvo. Para el caso del camarón café, el incremento en su población parece ser resultado del aumento en la temperatura del océano, ya que puede favorecer la presencia de las etapas poslarvarias y por lo tanto incrementar el porcentaje de sobrevivencia en las etapas tempranas. Este enunciado se basa en el incremento relativo de poslarvas de este camarón en la zona litoral de Sinaloa, presentes a algunos eventos El Niño. Algunos investigadores proponen que el incremento en la temperatura del mar tiene una resonancia mayor en el aumento de espacios habitables por el camarón en la plataforma continental del Pacífico. Cualquiera que sea la razón, a nivel del Pacífico mexicano, El Niño de 1997-98 estuvo acompañado de una buena temporada camaronera, con incrementos en la captura del orden de 15-16% en 1997 y 1998 respecto de 1996. Para las flotas, esto representó ingresos adicionales por casi 90 millones de dólares (Tabla 5.1). A nivel nacional, este hecho permitió que las exportaciones de camarón se incrementaran en 68 millones de dólares en el periodo 1997-1998, lo que afortunadamente contribuyó a compensar las pérdidas observadas en la generalidad de los recursos pesqueros de exportación (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Variaciones en la exportación de productos pesqueros de México, 1996-98

	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Variación 1997-1996		Variación 1998-1996	
	1996	1996	1997	1997	1998	1998	Volumen	Valor	Volumen	Valor
Algas y sargazos	24,386	10490	32,665	12140	5,673	3140	8,279	1650	-18,713	-7350
Atunes y similares /1	65,770	660960	45,905	605680	33,550	567330	-19,865	-55280	-32,220	-93630
Calamar	19,957	184210	24,957	254190	7,780	105600	5,000	69980	-12,177	-78610
Camarón	38,251	4071770	36,898	4456820	38,221	4368110	-1,353	385050	-30	296340
Langosta	2,037	335070	1,697	257060	1,184	172590	-340	-78010	-853	-162480
Crustáceos y moluscos en conserva /2	22,646	737620	18,617	714320	3,774	421680	-4,029	-23300	-18,872	-315940
Total	173,047	6000120	160,739	6300210	90,182	5638450	-12,308	300090	-82,865	-361670
Valores en toneladas y miles de dólares (U.S.).										
Fuente: SEMARNAP, Subsecretaría de Pesca. Anuarios Estadísticos de Pesca 1996, 1997 y 1998.										
Página electrónica www.semarnap.gob.mx/sspesca/										
P/ Cifras preliminares. 1/ Incluye descargas en puertos extranjeros. 2/ Incluye volumen y valor de abulón enlatado.										

Efectos a mediano plazo

Es evidente que además de los efectos directos, los cambios ambientales por causa de El Niño pueden tener consecuencias en la alimentación, crecimiento, sobrevivencia y éxito reproductivo de los organismos. Desafortunadamente, para la generalidad de los recursos pesqueros los efectos a mediano plazo han sido poco evaluados y desde luego, aún no es posible establecer las consecuencias de El Niño 1997-98.

La buena temporada de captura del camarón en 1997 y 1998 compensó en cierta medida, las pérdidas en pesca de otras variedades.



Una razón es que, a diferencia de los efectos inmediatos, los de mediano plazo no son fácilmente relacionados con El Niño, pues la señal de éste puede encontrarse enmascarada en otras fuentes de variación, particularmente en los cambios en las técnicas pesqueras.

Con frecuencia ocurre que las áreas a las que los organismos se desplazan o son desplazados no reúnen las condiciones adecuadas u óptimas requeridas para los procesos biológicos, particularmente cuando los efectos de El Niño desaparecen y los ambientes naturales recuperan sus patrones medios. Esta situación se dio en el caso de la langostilla (*Pleuroncodes planipes*), crustáceo abundante en la costa occidental de la península de Baja California, que durante El Niño desplazó sus fases pelágicas hacia el norte hasta las costas de San Francisco, donde después del evento se observaron muertes masivas una vez que se restablecieron las condiciones frías del área (Lluch-Belda *et al.*, 1998).

Los efectos de estas migraciones sobre el ecosistema, así como las muertes que ocasionan, no han sido evaluadas a profundidad. Sin embargo, con los datos disponibles es posible inferir que la desaparición de estos organismos tiene repercusiones significativas en las cadenas alimenticias, por ser este crustáceo el alimento de muchos consumidores en la corriente de California, incluyendo algunos de interés comercial como la merluza (*Merluccius angustimanus*), para la cual la langostilla representa hasta el 99% de su dieta (Balart y Castro-Aguirre, 1995).

La desaparición de organismos pelágicos de zonas costeras en Baja California, repercute en la cadena alimenticia.



Otros efectos de El Niño a mediano plazo se dan en los ciclos reproductivos de varias especies. Frecuentemente, los desoves pueden registrarse fuera de temporada. Debido a que el éxito reproductivo depende de la sincronización entre el proceso y el ambiente, cualquier alteración de estos factores da lugar a organismos inmaduros o enfermos, que conllevan a mediano plazo a poblaciones con reclutamientos pobres. Para el caso de El Niño 1997-98, tanto el abulón como la langosta registraron este tipo de efectos, presentándose en el primero un retraso en el desarrollo gonádico y para la langosta un adelanto del periodo de desove.



Condiciones inapropiadas para la reproducción de las especies marinas puede resultar en generaciones débiles. El Niño puede tener así, consecuencias a mediano plazo en las pesquerías.

Otro efecto involucra a las fases tempranas planctónicas, comunes a la gran mayoría de las especies, que suelen ser transportadas hacia latitudes más boreales de las que normalmente ocupan. En esta nueva ubicación puede suceder el enfrentamiento a condiciones adversas del medio no necesariamente relacionadas con la temperatura (e.g. Larkin *et al.* 1990; Wooster, 1992). No obstante, para algunas especies como la macarela (*Scomber japonicus*), las modificaciones en los patrones de circulación durante El Niño permiten a sus larvas ser suspendidas en los niveles de condiciones favorables, lo que da como resultado una abundancia en organismos sanos para la población (Sinclair *et al.*, 1985).

Finalmente, debe considerarse que los efectos de la variabilidad ambiental no se restringen a determinadas poblaciones, sino que se extienden a la generalidad de los componentes bióticos del ecosistema marino. Las modificaciones ecológicas en este sentido pueden nuevamente tener efectos a corto y mediano plazo sobre la explotación pesquera, cuyos recursos objeto pueden enfrentar escasez de alimento, mayor competencia inter e intraespecífica, o mayores tasas de predación, especialmente cuando la productividad primaria se ve reducida en forma significativa. Así, son motivo de preocupación las bajas del sargazo gigante en la costa occidental de la península, que hasta agosto de 1998 sólo se habían recuperado en un 50%. Por otro lado, los volúmenes fitoplactónicos en los principales sistemas de surgencias, posiblemente haya disminuido durante el evento El Niño, debido a las anomalías térmicas observadas (Fig. 5.3). Es por tanto de esperarse que dichas reducciones sean comparables a las registradas en el intenso El Niño de 1982-83 (Fig. 5.8). En ambos eventos, los cambios necesariamente tuvieron implicaciones mayores en la capacidad de carga de un gran número de recursos pesqueros, con consecuencias al momento desconocidas, pero que probablemente se registrarán durante las próximas temporadas de pesca.

El Niño 1997-98: Una evaluación preliminar

En las Tablas 5.1 y 5.2 se describe la información hasta ahora recabada, sobre los efectos de El Niño 1997-98 que reportó la actividad pesquera. Dos de las cuatro pesquerías más grandes del Pacífico mexicano, sardina y calamar, experimentaron decrementos muy significativos en sus niveles de producción. El total del volumen de captura para ambas pesquerías en los años 97 y 98 tuvo una reducción de 126 mil toneladas, equivalentes a unos 16 millones de dólares, considerando únicamente el valor de la captura como materia prima (Tabla 5.1). Más significativo aún, entre ambos años se dejaron de exportar alrededor de 74 millones de dólares por disminuciones en la producción de organismos como calamar, algas marinas, atún, langosta y mariscos enlatados, principalmente abulón (Tabla 5.2).

Afortunadamente no todo fueron pérdidas. El incremento en los precios del camarón en el mercado, asociado a la capturas de 18 mil toneladas en 1997 y 1998, permitió compensar sobradamente el valor de la producción regional en más de 89 millones de dólares. Con esta situación, el balance y el valor de la producción a nivel del Pacífico mexicano se incrementó en más de 78 millones de dólares durante 1997 y 1998 (Tabla 5.1). El aumento de los costos del camarón propició un avance en las exportaciones pesqueras nacionales de este crustáceo (Tabla 5.2). Este margen de ganancias se mantuvo a pesar de tener una reducción en el volumen de pesca mayor al 50% del total de 1996, con sólo 95 mil toneladas. Los ingresos en el periodo 97 y 98 descendieron sólo 6 millones de dólares, representando el 1% de los ingresos por este mercado en 1996.



Aunque hubo disminución en la captura de calamar y sardina, las ganancias con mayores capturas de camarón aliviaron las potenciales pérdidas en el sector pesquero mexicano.

Con el ejemplo anterior, se puede decir que los impactos de El Niño fueron minimizados, porque en algunas pesquerías se tuvieron temporadas afortunadas que compensaron las pérdidas de otras. Es claro que el balance no puede ser tan simple y directo. Los beneficios obtenidos en una pesquería generalmente no compensan las pérdidas de otras, ya que la flota y la industria son diferentes, especialmente respecto de las personas que dependen de estas actividades.

Para el caso del calamar por ejemplo, es difícil considerar que el auge camaronero haya compensado la pérdida de unos 3,200 empleos directos, correspondiendo algunos de estos, a personas que vendieron su patrimonio para hacerse de una embarcación ante la expectativa de lograr ganancias atractivas en poco tiempo. Otro tanto puede decirse de las plantas procesadoras que se crearon para la industrialización del calamar, y que después de El Niño registran niveles elevados de subutilización. Lo anterior, sin contar los costos que implica la reubicación de parte de la flota, así como el transporte de la materia prima desde las nuevas zonas de pesca en la costa occidental de Baja California hasta las plantas procesadoras ubicadas en la costa oriental.

Otra de las pesquerías que registró importantes pérdidas socio-económicas derivadas de El Niño 97-98 fue la de captura y procesamiento de sardina en la región del Golfo de California. En esta actividad el potencial de empleos directos es de unos 3 mil, pero las malas temporadas pueden reducir esta cifra hasta en un 50%. En particular, la substitución en las capturas de sardina monterrey por crinuda tiene efectos negativos; mientras que la primera suele destinarse al empaque esto es, a la producción de sardina enlatada, la segunda es más utilizada en la producción de harina de pescado. El empaque es una actividad que demanda gran cantidad de mano de obra para el lavado y eviscerado de los organismos. Por el contrario, la elaboración de harina o "quemado" es un proceso casi totalmente automático. Así, la relación de empleos es de 10:1 a favor del empaque. Adicionalmente, debe considerarse que el empaque ocupa tradicionalmente a las mujeres, que no tienen acceso a la fase extractiva de la actividad.

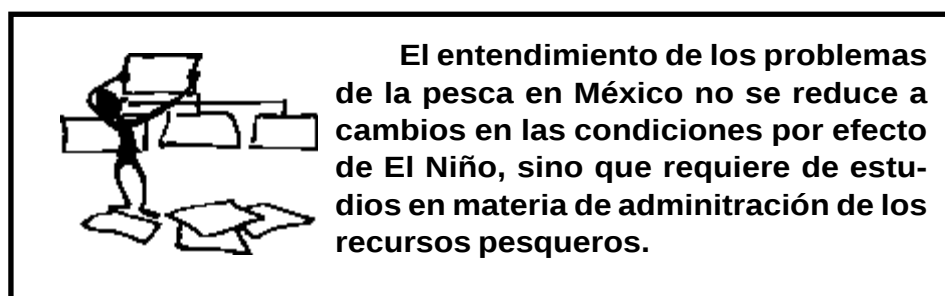
Un ejemplo de los impactos que El Niño 1997-98 tuvo en la sociedad se refleja en la disminución de fuentes de empleo al cambiar la variedad de especie pescada, de sardina para enlatados, a sardina para harina.



En otro rubro, las cooperativas langosteras y abuloneras de la península experimentaron marcados descensos en producción. La inflexibilidad para adaptarse a los cambios en la disponibilidad del recurso pesquero se debe a que las zonas de pesca son muy específicas y bajo condiciones El Niño sufren importantes transformaciones.

El camarón tampoco compensó las pérdidas, aún no cuantificadas pero considerables, que significó para la industria turística la distribución anómala de las especies de pesca deportiva, y menos aún las experimentadas por numerosos pescadores artesanales que, al menos en algunos casos, tuvieron que suspender su actividad.

Falta aun incorporar a estos elementos el problema de la administración pesquera, que va más allá del seguimiento y pronóstico del clima oceánico. Al menos para los principales recursos pesqueros como el camarón, la sardina, la anchoveta, el abulón y la langosta debe pasarse de las hipótesis a la determinación del efecto de El Niño y otros cambios climáticos. Al respecto, la investigación necesariamente tendrá que ser multidisciplinaria, desarrollada por diferentes grupos de trabajo que requerirán acceso oportuno a los resultados y a la información de los demás.



El pronóstico del evento Niño y sus efectos, requieren acciones coordinadas que involucren tanto al sector pesquero como al gubernamental y al académico. Con esta idea, la administración pesquera debe revisar las premisas en las que se basan los esquemas de regulación y manejo. El suponer una capacidad de carga constante, aun en términos de pocos años, puede implicar un riesgo alto en sistemas sujetos a variaciones climáticas. Los esquemas regulatorios tradicionales como las vedas, tallas mínimas de captura, zonas, etc. suelen en ocasiones ser rígidos, al punto de requerir procesos legislativos antes de poder modificarse, lo que deja poco margen de maniobra ante eventos de variabilidad interanual pronunciada.

Problemas y perspectivas

La idea de integrar los estudios del fenómeno El Niño a la planeación pesquera, no es fácil ni inmediata. El manejo adecuado de recursos demanda información veraz en un corto plazo que en la mayoría de las veces, simplemente no existe. El Niño es monitoreado rutinariamente por grupos internacionales, cuyos diagnósticos y pronósticos generalmente están disponibles. Desafortunadamente, es muy poco lo que estos sistemas dicen sobre las condiciones del clima oceánico en México y menos aún, sobre sus efectos en ecosistemas marinos.

Existen condiciones para llevar a cabo programas de formación de recursos humanos, técnicos, científicos, así como de investigación en los diferentes aspectos involucrados en pesca como son la oceanografía, la biología y la meteorología. No parece exagerado pensar que en el futuro cercano puedan implementarse sistemas de pronóstico y alerta, básicos en un principio y mejorados conforme se madure en términos de experiencia. Ello, a condición de que se destinen los recursos económicos, se diseñen las políticas de investigación y se logre la coordinación entre los sectores involucrados en el uso y manejo de los recursos pesqueros.



No es exagerado pensar que en el futuro puedan implementarse métodos científicos de diagnóstico, pronóstico y alerta para el sector pesquero.

6 Los aspectos económicos y sociales de El Niño

Javier Delgadillo Macías¹⁵, Teodoro Aguilar Ortega¹⁵ y Daniel Rodríguez Velázquez¹⁵.

Impactos económicos de El Niño en México

Los cambios en las condiciones del clima que afectan las distintas actividades económicas regionales y globales, acentúan su presencia e impacto en función de las condiciones geográficas propias de cada lugar. Tales son los casos de las fuertes sequías en el norte y centro de México, de la ocurrencia de intensas lluvias que ocasionan inundaciones en el sureste, o de las poderosas tormentas tropicales y huracanes que año con año tocan las costas del Pacífico y el Golfo de México. Así, en los años recientes se ha puesto especial atención al fenómeno El Niño. A su presencia se le asocia una serie de variaciones hidrometeorológicas que hoy afectan a una gran parte del planeta. En México, tal fenómeno climático impacta en mayor medida las precipitaciones regionales (dependiendo de la época del año) y consecuentemente, al país en su conjunto sobre sus potencialidades productivas. La sequías son algunos de los efectos atribuidos al Niño aunque no se tiene certeza sobre la magnitud de los impactos.

México es un país poco apto para la producción de granos básicos por la escasez del recurso agua en algunas regiones y por las condiciones extremas del clima, relieve y altitud entre otras. Más de la mitad del territorio mexicano se considera árido o semiárido. La mayor disponibilidad del agua se concentra en el sureste del país. Más del 60 % del escurrimiento se produce en el 20 % del territorio principalmente en el centro y sur, mientras que el norte, correspondiente al 34 % del territorio, cuenta con un escurrimiento que alcanza sólo el 2 % del total nacional (CNA, Plan Hidráulico 1995-2000).

La mayor cantidad de agua disponible se encuentra en 20% del territorio. México es por tanto árido o semiárido y poco apto para la agricultura.



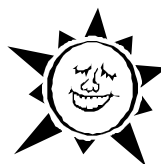
En México, la sequía acumulada de los últimos cinco años, ha causado incremento en el número de incendios forestales, pérdidas en la producción agrícola y daños en la actividad ganadera. Por otra parte, los huracanes que afectan en escala de tiempo menor, dejan también pérdidas tanto humanas como económicas, así como daños ecológicos incalculables. No se piense sin embargo que todo lo relacionado con huracanes es malo. Estos sistemas producen importantes precipitaciones, que elevan los niveles de agua de las presas, sobre todo las ubicadas en el norte del país. Es por ello que hoy se hace necesario emprender programas de carácter preventivo, que superen el sentido de emergencia y permitan revalorar el papel benéfico que tienen los cambios climáticos naturales.

Las pérdidas económicas por fenómenos climáticos extremos son difíciles de estimar debido a factores como son la diversidad productiva del territorio mexicano y la insuficiente información con que se cuenta. A esto hay que añadir ciertas incertidumbres sobre los desastres naturales, para distinguir cuáles son resultados del fenómeno y cuáles no. Por ejemplo, existe la posibilidad de que los efectos negativos de los huracanes en el Pacífico no sean consecuencia directa de El Niño. Tal es el caso del huracán Paulina en 1997. Aunque se puede pensar que su intensidad fue aumentada por causa de El Niño, su trayectoria parece ser independiente de este fenómeno.

Economía y la pesca mexicana

La pesca es una actividad importante para México, debido principalmente a que el país cuenta con más de 10 mil kilómetros de costa o litoral, repartidos entre el Golfo de México, el Océano Pacífico y el Mar Caribe. Esta gran dimensión del litoral favorece una actividad de captura que en condiciones normales, satisface el mercado interno y permite tener excedentes para exportación, principalmente a los mercados de Estados Unidos y Canadá.

No es fácil estimar los costos asociados a El Niño, pues es necesario determinar hasta que punto los fenómenos meteorológicos extremos son consecuencia directa de este fenómeno.



Sin embargo, la presencia de corrientes de agua más caliente de lo normal durante El Niño (ver cap 3 y 5) provocan la migración de especies regionales, como las de origen tropical que pueden encontrarse en mares de América del Norte. En el Golfo de California, El Niño provoca el rompimiento de la cadena alimentaria y una drástica disminución de la población de especies de alto valor comercial. Por ejemplo, se produce una baja en la captura de sardina y calamar gigante. Asimismo, aumenta la mortandad entre mamíferos marinos como lobos marinos y focas, mientras que la ballena gris migra debido a la falta de alimentos y regresa hasta el invierno siguiente.

Se cuenta ya con algunos indicios de los efectos debidos a la variabilidad climática en el mar (Cap 5). A mediados del año 1997, los volúmenes de pesca en las costas del Pacífico disminuyeron por el alejamiento de especies mar adentro, buscando mejores condiciones climáticas y de alimentos, por lo que solamente las grandes embarcaciones con capacidad de captura realizaron sus actividades en condiciones favorables (Tablas 6.1 y 6.2), en detrimento de los propietarios de pequeñas embarcaciones, que no cuentan con capacidad técnica para seguir a los peces. La disminución en la pesca mexicana de 1996 a 1997 (año Niño), se observó principalmente en aguas del Golfo de California y a través de las costas de la península de Baja California.

*Tabla 6.1. Captura pesquera en peso vivo por principales especies.
Litoral del Pacífico mexicano (1996-1997).*

Entidad Federativa	Cazón y tiburón			Atún y similares		
	1996	1997	variación	1996	1997*	variación
Baja California	1 825	1 412	-22.6	38 323	33 233	-13.3
Baja California Sur	3 621	3 545	-2.1	15 843	9 110	-42.5
Sonora	2 664	2 825	6.0	1 167	1 404	20.3
Sinaloa	2 282	2 252	-1.3	54 217	58 012	7.0
Otros	6 072	5 790	-4.64	10 570	18 489	74.9
Total nacional	25 813	25 260	-2.1	120 120	120 248	0.1

* Enero a septiembre. (toneladas)

Fuente: SEMARNAP

Tabla 6.2. Captura pesquera en peso vivo según entidad federativa (1996-1997)

Entidad federativa	1996	1997	Variación %
Litoral del Pacífico	842 622	905 504	7.5
Baja California	127 303	142 553	12
Baja California Sur	164 532	162 849	-1.0
Sonora	305 563	332 832	8.9
Sinaloa	137 350	159 499	16.1
Nayarit	9 375	10 602	13.1
Jalisco	12 361	12 039	-2.6
Colima	22 132	31 570	42.6
Michoacán	24 360	17 390	-28.6
Guerrero	13 951	15 054	7.9
Oaxaca	10 263	7 191	-29.9
Chiapas	15 432	13 923	-9.8
Total nacional	1 147 365	1 210 608	5.5

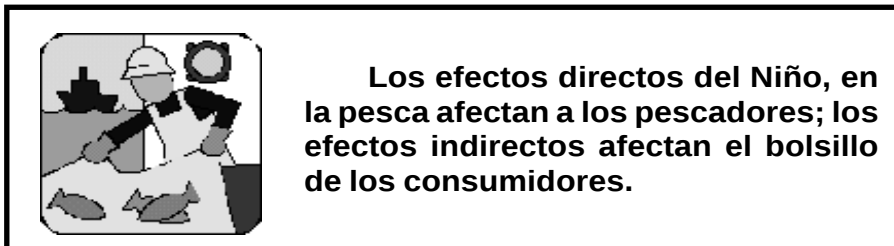
Enero a septiembre (toneladas)

Fuente: SEMARNAP

Para finales de 1997 y parte de 1998 existió una tendencia hacia la disminución de la pesca (ver Cap. 5), afectando la captura en el litoral del Pacífico, mientras que los niveles nacionales totales de pesca sufrieron poca alteración, en cuanto a volumen global de captura, debido principalmente a que la pesca en el Golfo de México se incrementó con respecto al año anterior. Tal situación muestra que los efectos derivados de extremos en el clima, no pueden ser generalizados para el conjunto del país, sino que exhiben una distribución regional.

Tomando en cuenta el total de la pesca nacional, los efectos económicos se dividen entre directos e indirectos. Los primeros se asocian con las pérdidas en volumen de pesca por causa de las corrientes de agua caliente, que ahuyentan a las especies marinas mar adentro. Los segundos son por ejemplo, los incrementos en el precio final del bien, que afecta a quien adquiere estos productos. Los efectos directos son entonces, los que afectarán los ingresos de los pescadores del Pacífico mexicano, y los indirectos, los que afectarán a los consumidores del producto.

Los efectos directos de El Niño, en términos monetarios, significaron una pérdida de aproximadamente 700 millones de pesos durante parte de 1998, cifra que representa los volúmenes de pesca que dejaron de capturar las embarcaciones costeras. Dentro de este cálculo económico se excluye a aquellas embarcaciones de tamaño y capacidad mayor que tienen posibilidad de internarse mar adentro, partiendo del supuesto que en el periodo analizado, mantuvieron sus promedios de pesca.



Deforestación e incendios forestales

Los incendios forestales son un grave problema para el país por las pérdidas de riqueza natural y económica. Sus efectos perduran en la reserva biótica al activarse un proceso de cambios en el uso del suelo, que se expresa en distintos grados de aridez. Los daños dependen de los tipos de suelo y de la intensidad del incendio. Los efectos ecológicos de la quema del bosque son graves, debido a: 1) disminución de la porosidad del suelo, 2) descenso en la infiltración de agua, 3) incremento variable de la erosión de los suelos, 4) incremento en la temperatura en capas superiores del suelo, en corrientes y lagos, 5) mortalidad de la microfauna, 6) desplazamiento físico de la fauna, 7) extinción de especies y 8) contaminación del aire por los subproductos de la contaminación.

En México, la cobertura forestal abarca aproximadamente 56 millones de hectáreas (SEMARNAP. Programa para el desarrollo forestal, México 1996), de las cuales sólo unos 20 millones son bosques compactos y el resto son áreas segmentadas, perturbadas o bosques muy abiertos. La mitad de la superficie forestal se distribuye en zonas templadas y la otra mitad en áreas tropicales (SEMARNAP, Defensa de la frontera silvícola y lucha contra la desertificación, México, 1997). De esta superficie arbolada, actualmente se cuenta con menos de 800 mil hectáreas de selvas húmedas o bosques tropicales perenifolios, que son los ecosistemas terrestres de mayor diversidad y productividad biológica dispersas en la región Lacandona, en los Chimalapas y en algunos manchones aislados e inaccesibles en Veracruz y de algunas regiones de Oaxaca.

La deforestación ocurre en la actualidad a ritmos muy elevados, ubicando al país entre los primeros del planeta en este rubro. Las tasas actuales de deforestación son superiores a las 500 mil hectáreas por año, con mucha mayor incidencia en las zonas de alta densidad campesina, como el sureste mexicano.

El fuego es el instrumento más peligroso a través del cual se conduce el proceso de deforestación (Tabla 6.3). Los elementos atmosféricos son factores que pueden cambiar un incendio forestal. La temperatura ambiental, la humedad relativa, la dirección y velocidad del viento, así como la lluvia pueden modificar los incendios.

Un incendio forestal es el fuego con una ocurrencia y propagación no controlada que afecta selvas, bosques o vegetación de zonas áridas o semiáridas. Existen tres tipos de incendios: superficiales, de copa o corona y subterráneos. Los incendios superficiales se presentan a nivel del suelo afectando principalmente pastizales y vegetación herbácea, causando daños severos a la reforestación natural e inducida. Los incendios de copa o corona se propagan por la parte alta de los árboles (copas) causando la muerte de los árboles grandes y dañando severamente al ecosistema en su conjunto. Los incendios subterráneos se propagan a través de las raíces de los árboles o por la materia orgánica. Se estima que el 93% de los incendios reportados a nivel nacional son de tipo superficial (Tabla 6.4).

Tabla 6.3. Número de incendios y superficie afectada.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Número de incendios	2,892	10,251	7,830	7,860	9,256	5,163	14,445
Superficie afectada has.	44,401	235,020	141,502	309,087	248,765	107,845	849,632

Fuente: SEMARNAP.

Tabla 6.4. Superficie afectada por los incendios, por tipo de vegetación.

Año	tot. Incen.	Superficie afectada por tipo de vegetación						Total (Ha)
		Pastos	%	Forestal	%	Otros	%	
1996	9,256	89,424	36	57,139	23	102,202	41	248,765
1997	5,163	46,477	43	57,139	22	37,924	35	107,845
1998	14,445	352,242	42	198,487	23	298,903	35	849,632

Fuente: Información estadística de incendios en áreas forestales por entidad federativa. Informe al 31 de diciembre de 1998, SEMARNAP 1998.

En el país los incendios son en su mayoría provocados intencionalmente y una proporción muy alta de estas áreas afectadas se destina a la agricultura o ganadería, propiciando la degradación ecológica del lugar por procesos intensivos de erosión. De acuerdo con datos oficiales, los incendios registrados han resultado en pérdidas de superficies entre 100 mil y 300 mil hectáreas. Sin embargo, 1998 considerado el de mayor daño ecológico, fue un periodo que arrojó una superficie afectada superior a las 849,632 hectáreas (Tabla 6.4). Esta situación de siniestralidad, debe considerarse como fenómeno asociado directamente a prácticas agrícolas (roza, tumba y quema) y pecuarias tradicionales, que han agudizado los problemas ambientales en los últimos años por los efectos del Niño ya referidos.

Los incendios forestales son en su mayoría provocados para utilizar las tierras en actividades agrícolas o pecuarias. Esto generalmente resulta en daños ambientales severos.



Los descuidos humanos son otra causa de que se inicien los incendios, que bajo condiciones atmosféricas adversas, se propagan rápidamente haciendo difícil su control. Las fuertes ráfagas de viento diseminan el fuego rápidamente y llevan el humo a otras regiones, aumentando los efectos ambientales negativos a distancia. Muchas regiones sufrieron fuerte contaminación atmosférica por el humo de los incendios. Se estima que el 97% de los incendios forestales que han ocurrido en México son de origen humano, intencional o no. De estos, el 47% son producto de las quemas agrícolas (El Financiero, 27 de mayo 1998).

Los impactos de El Niño en el clima de México se han documentando (Magaña *et al* 1998), haciéndose incluso predicciones. En particular, se pronosticó que en 1997-1998 se presentaría un periodo de secas agudo. Este resultó cierto, y la sequía propició el incremento de incendios forestales. Aun ante este panorama, las medidas preventivas que se tomaron fueron mínimas (Fig. 6.1).



Fig. 6.1. Superficie afectada por los incendios de 1992 a 1998 (miles de hectáreas) de acuerdo a SEMARNAP.

De acuerdo con datos de SEMARNAP, el combate a los incendios en 1998 lo realizaron 1,954 personas, divididas en 154 brigadas y 93 campamentos, quienes contaron con 88 torres de observación y 34 centros de control, recursos insuficientes para cubrir el conjunto de áreas siniestradas. Si tomamos en cuenta que México cuenta con 56 millones de hectáreas de zonas boscosas de todos los tipos (Bassols 1993), a cada una de estas personas les corresponde cubrir más de 28 mil hectáreas, por lo que el personal disponible para cuidar los bosques de posibles incendios es insuficiente. Ante tal problema, la SEMARNAP solicitó el apoyo de la Secretaría de la Defensa Nacional, institución que aportó 142 mil 168 efectivos militares quienes participaron en la extinción de 3 mil 110 incendios forestales, que afectaron 416 mil 388 hectáreas en 31 entidades del país (Tabla 6. 5) (SEMARNAP 1998).

Las fuertes oleadas de calor que llegan al territorio mexicano, sumado a los descuidos humanos, provocaron 14 mil 445 incendios forestales con una superficie dañada de 849 mil 632 hectáreas. De los incendios que afectaron en este periodo al país, los estados que más lo resintieron fueron Michoacán, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Oaxaca, Chiapas, México y el Distrito Federal. El Estado de México es el que mayor número de incendios registró, con 3 mil 649 en 1998, seguido por el Distrito Federal y Michoacán, aunque por superficie afectada, Oaxaca encabeza la lista (SEMARNAP, estadística de incendios).

Tabla 6.5. Estadística de incendios en áreas forestales por entidad federativa para 1998.

Estado	Número de Incendios	Superficie afectada (hectáreas)			
		Pastizal	Forestal	Otros*	Total
Aguascalientes	5	5	63	99	167
Baja California	233	2,482	3	3,009	5,494
Baja California Sur	12	17	10	2	29
Campeche	76	182	5,071	0	5,253
Coahuila	41	2,004	2,093	10,505	14,602
Colima	64	85	28	1,078	1,191
Chiapas	405	85,335	65,883	47,590	198,808
Chihuahua	921	10,435	9,071	7,996	27,502
Distrito Federal	1,932	4,705	316	714	5,735
Durango	436	24,191	20,422	24,347	68,960
Guanajuato	61	134	1,648	1,029	2,811
Guerrero	496	11,682	2,012	5,509	19,203
Hidalgo	420	5,984	3,351	5,222	14,557
Jalisco	428	8,208	3,867	6,121	18,196
México	3,649	9,616	3,881	12,350	25,847
Michoacán	1,793	8,553	5,922	11,315	25,790
Morelos	330	336	246	1,778	2,360
Nayarit	71	231	1,777	276	2,284
Nuevo León	96	502	2,556	25,076	28,155
Oaxaca	419	144,694	35,340	61,674	241,708
Puebla	544	5,745	5,230	8,860	19,835
Querétaro	96	776	1,136	15,612	17,524
Quintana Roo	234	880	1,409	3,920	6,209
San Luis Potosí	249	4,058	9,343	13,780	27,181
Sinaloa	129	2,757	4,595	859	8,211
Sonora	26	1,194	93	380	1,667
Tabasco	67	5,436	3,133	5,369	13,938
Tamaulipas	91	466	2,514	14,846	17,826
Tlaxcala	439	4,819	1,396	2,617	8,832
Veracruz	539	1,730	4,146	3,814	9,690
Yucatán	41	2,454	935	2,008	5,397
Zacatecas	102	2,564	997	1,127	4,670
Total Nacional	14,445	352,242	198,487	298,903	849,632
Porcentajes		41.5%	23.4%	35.1%	100%

* Comprende vegetación arbustiva y matorrales.

Fuente: SEMARNAP.

Los recursos económicos destinados a sofocar los más de 14 mil incendios forestales ascendieron, solamente hasta el mes de mayo de 1998, a 230 millones de pesos. Las cantidades destinadas a la extinción de incendios son distintas a las destinadas a la reforestación de las zonas siniestradas (El Financiero, 9 de mayo 1998). Sin embargo, las pérdidas ecológicas son imposibles de calcular debido a que los incendios han destruido diferentes especies de árboles. Del total de los incendios registrados a lo largo del año, el 23% es considerado de copa o corona afectando una superficie de 134 mil 614 hectáreas. Por otro lado, el costo estimado de las pérdidas promedio de las diferentes superficies destruidas en la cubierta de árboles, matorrales y pastizales, fue de aproximadamente mil 699 millones de pesos. Una vez que se ha extinguido el incendio, el siguiente paso es iniciar la reforestación del lugar, actividad que se realiza anualmente por el Programa Nacional de Reforestación, instrumentado por las autoridades de la SEMARNAP y que para el período analizado, utilizó la cantidad de 70 millones de pesos a nivel nacional.

Con base en información obtenida hasta el mes de octubre de 1998, el costo económico por los incendios que destruyeron extensas zonas boscosas es de alrededor de 2 mil 300 millones de pesos. Este es el resultado de sumar los costos por extinción de incendios, reforestación de zonas destruidas y pérdida de existencia de recursos maderables disponibles. Los costos totales deberán ser pagados por la sociedad en su conjunto, dado que se utilizarán recursos públicos para reforestar y restituir parte de las zonas destruidas. A los costos económicos hay que sumar los costos sociales y los generados por las pérdidas de vidas humanas a causa de los incendios, las cuales sumaron más de 80 muertos, principalmente al tratar de extinguir el fuego.

Las pérdidas por incendios forestales son de más de 2 mil 300 millones de pesos, lo cual incluye extinción de incendios, reforestación y la pérdida de recursos maderables.



Impactos económicos en la agricultura mexicana

Los procesos agrarios, la agricultura y la ganadería han sufrido transformaciones importantes en México, constituyéndose en las actividades con el impacto ambiental más importante en el país. Entre los factores que determinan esta situación, se encuentra la debilidad actual de los sistemas de propiedad, producto de las modificaciones legales de la Constitución Política, que ha originado con el tiempo un agudo sentido de irresponsabilidad hacia la tierra. Esta situación ha repercutido en actitudes de sobreexplotación, abuso de los ecosistemas y de obtención del máximo beneficio en corto tiempo, sin importar los costos a largo plazo.

En una perspectiva territorial, las políticas agrarias configuraron una notable dispersión de la población campesina hacia miles de localidades convertidas en nuevos centros de población ejidal. En 1921 había 62 mil poblados con menos de 2 mil 500 habitantes; en 1940 sumaban ya 105 mil, llegando en 1990 a casi 200 mil, con las consecuentes dificultades para dotar a la población de servicios básicos (Tabla 6.6). Esta circunstancia ha conducido a la colonización y ocupación extensiva del territorio nacional, que en su mayor parte se caracteriza por terrenos sumamente accidentados y suelos frágiles. La áreas colonizadas en décadas recientes son altamente frágiles en el contexto de procesos generalizados de deterioro ecológico a través de fuego, desmonte, erosión y deforestación.

Aunque la colonización formal ha terminado, la colonización informal prosigue al migrar miles de campesinos de tierras altas y de áreas con fuertes presiones demográficas, como las tierras tropicales de Chiapas, Campeche, Quintana Roo y del Istmo de Tehuantepec. Se estima que el 80% de la superficie de bosques y selvas que aún sobreviven en México está bajo régimen de propiedad común (SEMARNAP, 1996) (Fig. 6.2).

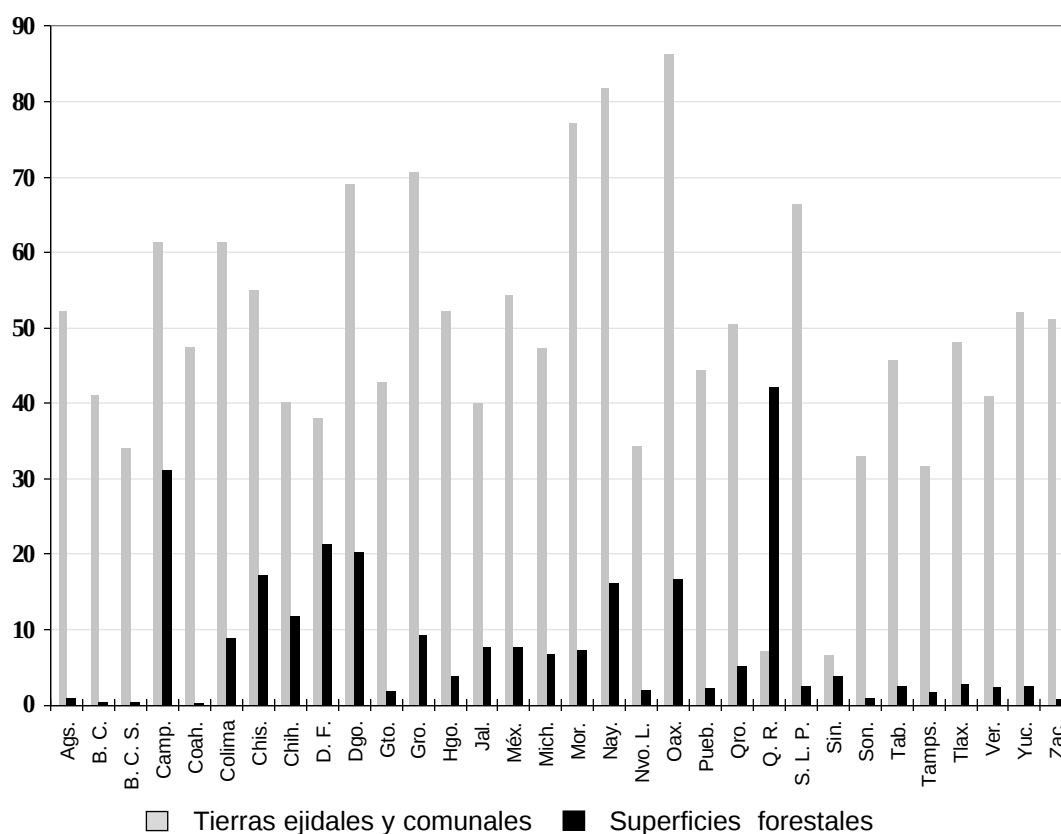


Fig. 6.2. Porcentaje de tierras ejidales y forestales en cada estado del país.

Tabla 6.6 Proporción de tierras ejidales y comunales respecto a la superficie forestal

Estado	Superficie Total (has)	Ejidal y comunal	%	Superficie forestal	%	% respecto a sup. forestal
Aguascalientes	519,700	271,258	52.20	4,783	0.92	0.03
Baja California	14,300,400	5,887,386	41.17	65,780	0.46	0.42
Baja California Sur	2,713,485	923,850	34.05	12,745	0.47	0.08
Campeche	5,679,800	3,490,246	61.45	1,774,345	31.24	11.39
Coahuila	14,951,100	7,090,347	47.42	44,955	0.30	0.29
Colima	543,300	334,101	61.49	48,372	8.90	0.31
Chiapas	7,372,400	4,066,098	55.15	1,264,529	17.15	8.12
Chihuahua	24,594,500	9,897,017	40.24	2,899,056	11.79	18.61
Distrito Federal	154,700	59,057	38.18	33,035	21.35	0.21
Durango	12,177,600	8,415,947	69.11	2,470,389	20.29	15.86
Guanajuato	3,076,800	1,321,527	42.95	58,275	1.89	0.37
Guerrero	6,458,600	4,567,207	70.72	603,087	9.34	3.87
Hidalgo	2,050,200	1,069,729	52.18	79,905	3.90	0.51
Jalisco	7,838,900	3,146,371	40.14	598,485	7.63	3.84
México	2,119,600	1,152,638	54.38	164,898	7.78	1.06
Michoacán	5,820,000	2,752,461	47.29	396,136	6.81	2.54
Morelos	496,800	383,519	77.20	36,735	7.39	0.24
Nayarit	2,690,800	2,199,950	81.76	435,854	16.20	2.80
Nuevo León	6,421,000	2,203,522	34.32	126,273	1.97	0.81
Oaxaca	9,313,600	8,048,972	86.42	1,563,571	16.79	10.04
Puebla	3,399,500	1,510,012	44.42	74,637	2.20	0.48
Querétaro	1,197,800	604,405	50.46	61,738	5.15	0.40
Quintana Roo	3,937,600	279,297	7.09	1,661,850	42.20	10.67
San Luis Potosí	6,303,800	4,181,797	66.34	165,751	2.63	1.06
Sinaloa	5,649,600	374,773	6.63	212,687	3.76	1.37
Sonora	18,083,300	5,967,803	33.00	184,182	1.02	1.18
Tabasco	2,457,800	1,121,525	45.63	62,706	2.55	0.40
Tamaulipas	7,893,200	2,506,206	31.75	135,456	1.72	0.87
Tlaxcala	403,700	194,856	48.27	11,416	2.83	0.07
Veracruz	7,173,500	2,941,868	41.01	174,590	2.43	1.12
Yucatán	4,325,700	2,251,530	52.05	110,402	2.55	0.71
Zacatecas	7,310,300	3,736,264	51.11	52,323	0.72	0.34
México	197,429,085	92,951,539	47.08	15,588,946	7.90	100

Fuente: Anuario estadístico INEGI. 1995.

El sector agrícola mexicano es hoy una de las ramas más atrasadas de la economía y una de las más vulnerables, con niveles muy bajos de inversión y tecnología obsoleta. Una gran parte de las tierras dedicadas al cultivo son de temporal lo que las hace muy sensibles a los cambios en las condiciones climáticas, principalmente a déficit en las lluvias. Todo retraso de la temporada de lluvia implica disminución en las cosechas y graves pérdidas económicas, ya que los productores ni siquiera recuperan su inversión inicial.

La agricultura muestra niveles de producción inferiores al crecimiento de la población. La falta de lluvia, principalmente en el norte del país, afecta aún más los niveles de producción. A una agricultura atrasada y sin niveles importantes de inversión, hay que sumarle los desastres naturales agudizados por el fenómeno El Niño, como sequías, huracanes y heladas.

La agricultura en México es uno de los sectores económicos más atrasados, con tecnologías obsoletas que agravan el alto nivel de vulnerabilidad de esta actividad bajo condiciones climáticas extremas, como las sequías.



La agricultura de temporal, que en su mayoría es de autoconsumo, es la más afectada por la falta de lluvia. Los agricultores de esta modalidad sufren la pérdida de sus cosechas, ó no llevan a cabo la siembra de sus tierras en el tiempo acostumbrado, por la incertidumbre y el temor al retraso de las lluvias (Fig. 6.3). La baja en los volúmenes acumulados de la precipitación pluvial afecta en mayor medida a los cerca de 25 millones de campesinos que viven del autoconsumo.

La frecuente ocurrencia de El Niño y los cambios que se han observado en el clima del país en las ultimas décadas corresponden principalmente a una fuerte sequía en gran parte del territorio nacional. Tanto el centro, como el norte de la República han visto disminuidos sus niveles de lluvia (Tabla 6.7). La falta de agua afecta principalmente a la población de bajos recursos y a personas que se dedican a actividades agrícolas de autoconsumo en las zonas rurales. La menores precipitaciones impactan principalmente el ciclo primavera-verano de temporal (ver Cap. 4). Estas condiciones climatológicas adversas, asociadas a otras de orden económico como la baja de los precios internacionales de los granos básicos, ocasionaron que al primer trimestre de 1998, el producto interno bruto (PIB) agrícola disminuyera en una proporción del 6%. Se estima que el PIB llegó a alcanzar una reducción histórica del 4.5% anualizado en 1998 (Fig. 6.4), cifra considerada por el Consejo Nacional Agropecuario (CNA), como la caída más grande en los últimos 50 años. De acuerdo a datos oficiales, en 1998 el PIB agrícola sufrió una contracción de 3.91% (la Jornada, 15 de junio 1998).

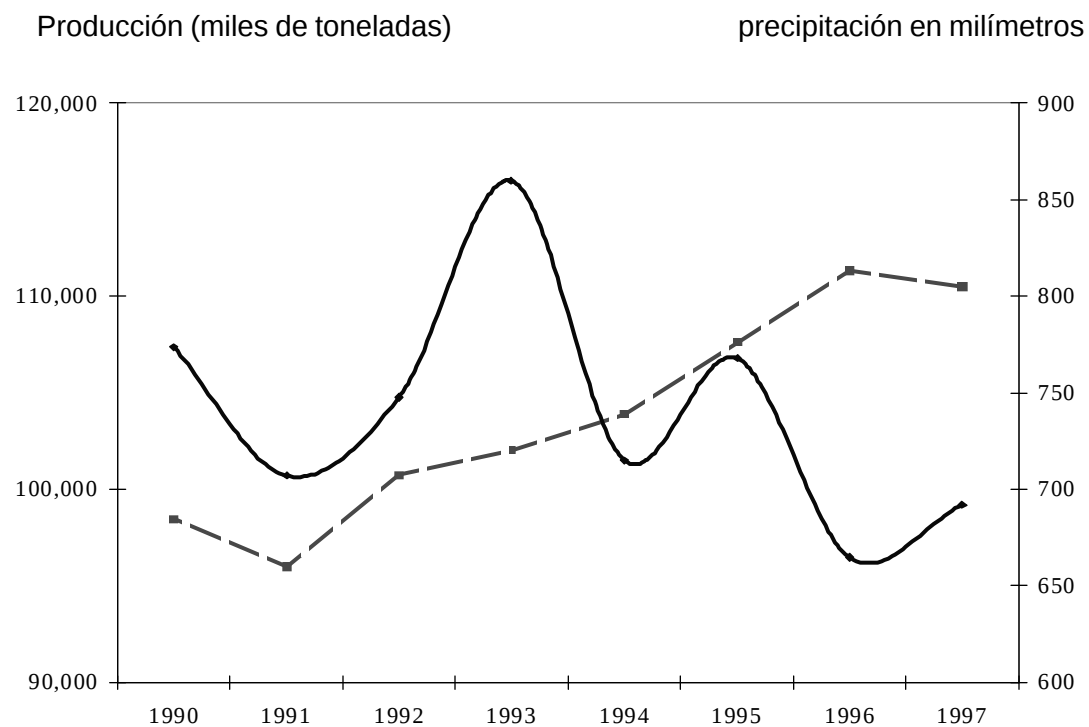


Fig. 6.3 Nivel de precipitación pluvial (mm) (línea continua) y producción agrícola (toneladas) (línea punteada) en México. (Fuente: SAGAR)

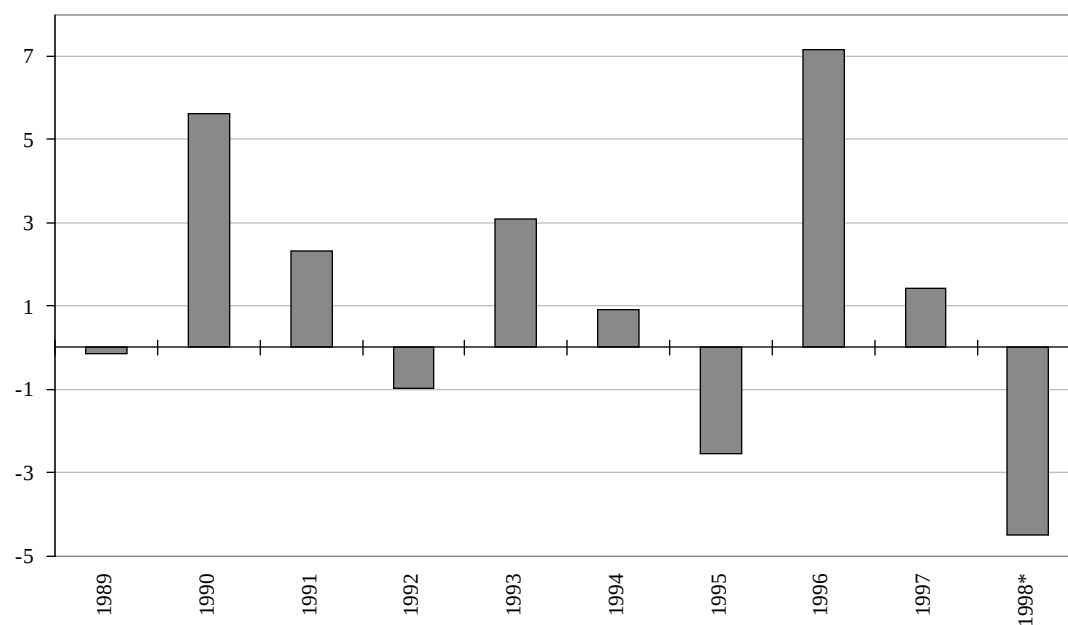


Fig 6.4: Variación porcentual del PIB agropecuario en México.

* Estimado. Fuente: INEGI.

De acuerdo con el CNA, las pérdidas en las tierras de labor son significativas y desalentadoras, con gran reducción de la superficie sembrada, y disminución en la productividad, que resulta en una menor disponibilidad de granos básicos. En 1998, la producción esperada en 28 millones de toneladas, fue menor a los 30 millones de 1997 y los 33 millones de 1996. Con esta situación el país importó cerca de 15 millones de toneladas de granos básicos, siendo 7 millones de toneladas de maíz y sorgo. La producción agrícola medida en toneladas puede ofrecer datos opuestos al valor monetario del PIB, esto es producto de que los precios internacionales de los granos básicos varían sin necesidad de que se dé un cambio en la producción. Por ejemplo, si existe igual número de toneladas de producción en 2 años distintos, el valor del PIB puede ser distinto en estos años por la variación de los precios internacionales.

Tabla 6.7 Precipitación pluvial en los estados de la República más dañados por la sequía 1991-1998 (milímetros).

Región Entidad	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998*
Norte	681.4	717.1	698.6	590.2	512.1	560.2	525.8	544.2
Aguascalientes	573.6	608.6	464.4	448.0	462.1	379.6	322.7	358.7
Durango	584.0	494.1	494.7	373.0	317.6	442.3	393.2	269.6
Jalisco	781.2	1 276.6	899.9	550.5	513.0	598.0	580.1	720.4
San Luis P.	729.1	663.3	1 149.9	851.5	789.6	782.8	764.3	826.0
Sinaloa	778.3	725.2	744.5	744.9	490.8	675.9	670.6	614.8
Zacatecas	642.2	534.7	438.1	573.1	499.2	482.3	424.1	472.1
Centro	908.4	977.1	857.9	796.9	1 001.5	787.1	733.8	906.9
D. F.	1 127.7	985.1	744.5	1 022.1	961.2	619.9	777.9	787.9
Guanajuato	899.7	878.5	734.2	530.6	598.7	567.0	489.9	724.0
México	858.2	941.7	605.8	554.5	611.4	559.7	540.4	573.1
Michoacán	721.8	951.0	903.0	387.3	570.8	632.7	458.7	736.9
Puebla	1 216.6	1 034.9	1 505.1	1 302.3	2 135.0	1 616.4	1 423.2	1 894.8
Tlaxcala	626.2	1 071.4	655.8	984.7	1 132.1	726.9	712.9	725.0
Sur	1 225.2	1 171.5	1 567.4	1 344.2	1 854.8	1 346.5	1 286.4	1 238.3
Chiapas	1 063.1	1 208.1	2 103.7	1 723.3	2 104.6	1 522.4	1 475.6	1 662.5
Guerrero	874.5	1 006.6	1 059.8	698.2	863.6	1 000.7	823.7	923.4
Morelos	1 362.5	1 303.1	932.3	697.9	1 116.4	890.0	711.5	1 066.5
Oaxaca	953.1	715.5	1 652.8	1 430.7	1 922.5	1 323.1	1 286.7	1 821.1
Tabasco	1 872.9	1 624.1	2 088.5	2 170.9	3 266.9	1 996.2	2 134.7	1 956.2

* datos del 1º de enero al 30 de septiembre.

Fuente: Construida con datos de la SAGAR.

La SAGAR señala que para 1998 se importarían alrededor de 1,300 millones de dólares en alimentos, es decir, un 17% más de compras de productos básicos al exterior que en 1997 (La Jornada, 27 junio 1998).

Según estimaciones, los efectos de El Niño en la agricultura nacional se traducen en disminuciones de su producción del orden de 30%. En el caso del maíz se habla de que en 1997- 1998 se habían perdido cerca de 3 millones 500 mil toneladas. Para el caso del frijol, se cosecharían solamente la mitad de lo previsto, con una pérdida monetaria de cerca de 4 mil 600 millones de pesos (Tabla 6.8) (El Financiero, 28 de mayo de 1998).

*Tabla 6.8 PIB agropecuario mexicano
(millones de pesos a precios de 1993) Fuente: INEGI.*

Año	Producto	Variación
1988	65,980.3	-3.9
1989	65,891.8	-0.1
1990	69,603.9	5.6
1991	71,221.9	2.3
1992	70,533.1	-1.0
1993	72,702.9	3.1
1994	73,373.2	0.9
1995	71,516.2	-2.5
1996	76,646.1	7.2
1997	77,744.2	1.4
1998*	74,245.7	-4.5

* Estimado

Según la SAGAR los estados con importancia agrícola más dañados por la sequía en los últimos años son: Aguascalientes, Coahuila, Durango, Sonora y Zacatecas (SAGAR, Avance al segundo trimestre de 1998, México). La falta de lluvia se agudiza en los estados del norte, reportándose para el año 1997 en Durango y Sonora, más de 200 mil hectáreas perdidas totalmente, así como otras 260 mil que sufrieron daños parciales, con pérdidas del orden de 730 millones de pesos. Además, se debe considerar a las miles de familias que se quedaron sin trabajo. En el país, según datos de la SAGAR, hubo 910 mil 983 hectáreas dañadas de los 10 cultivos principales, de un total de 11 millones 578 mil 404 hectáreas sembradas. Las pérdidas totales en el agro solamente por la falta de lluvia ascienden a 2 mil millones de pesos para 1997.

Durante 1997 la precipitación pluvial en el país comenzó a descender y los efectos climáticos de El Niño comenzaron a sentirse. Para 1998 algunos pronósticos de lluvia eran pesimistas, pues se calculaba que los niveles de precipitación serían inferiores a los que se tuvieron durante 1997. Ante la falta de lluvias y disminución de los niveles de agua en las presas, los agricultores, intentaron mantener sus actividades agropecuarias, mediante extracción de agua del subsuelo (pozos) lo que llevó a la sobreexplotación y una grave escasez de agua (La Jornada, 22 marzo 1998). Sin embargo, en 1998 las lluvias se recuperaron para finales del verano, lo que permitió aliviar en parte los efectos del retraso en las lluvias.

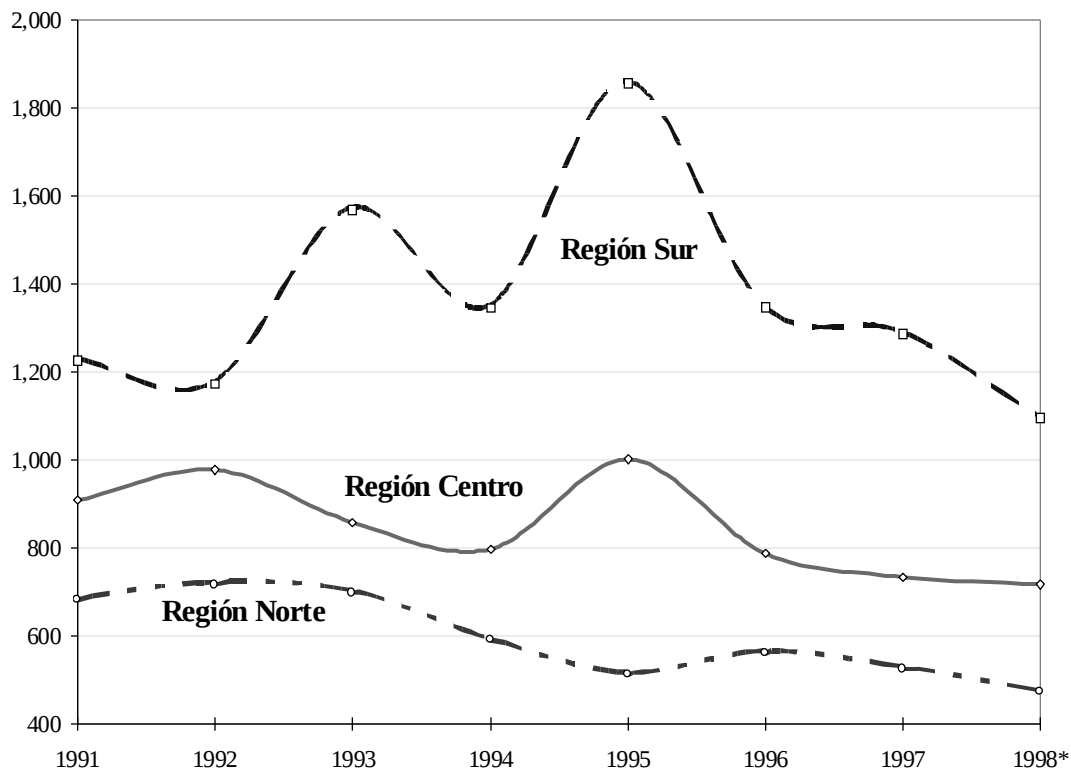


Fig. 6.5 Promedio de precipitaciones pluviales en tres regiones del país¹ para 1991-1998* (milímetros) (Datos de SAGAR).

* Estimado.

¹Región Norte: Aguascalientes, Durango, Jalisco, SLP, Sinaloa y Zacatecas.
Región Centro: Distrito Federal, Guanajuato, México, Michoacán, Puebla y Tlaxcala.

Región Sur: Chiapas, Guerrero, Morelos, Oaxaca y Tabasco.

En 1997, la sequía dañó la agricultura total del país ocasionando incluso la pérdida de cultivos en dos millones 273 mil 502 hectáreas, equivalentes a 3 millones de toneladas de granos, de los cuales, dos millones fueron de maíz y frijol, con un valor superior a los 3 mil 500 millones de pesos. Solamente la producción de frijol tuvo pérdidas de 33% del total de los dos últimos ciclos agrícolas debido a la sequía y heladas registradas, lo que afectó a más de 700 mil productores. Esta situación provocó un déficit interno de más de 200 mil toneladas de producto, que fueron cubiertas por importaciones (Confederación Nacional Campesina, CNC).

Los bajos niveles de lluvia desde principios de la actual década han afectado también la agricultura de riego, ya que el nivel de las presas, que almacenan el agua para el riego, han alcanzado niveles mínimos históricos. Las zonas de riego han disminuido su producción debido a que el almacenamiento de agua en las presas se encontraba en menos de un tercio de su capacidad total, antes de dar inicio al periodo de lluvias (Tabla 6.9).

Tabla 6.9 Almacenamiento total de agua en las presas de los distritos de riego del país (millones de metros cúbicos).

Región	Capacidad total	Volumen almacenado y % de la capacidad total			
		1997*	%	1998*	%
Noreste	25 153.9	8 718.8	34.7	5 888.3	23.4
Central norte	10 770.5	3 511.4	32.6	2 111.8	19.6
Noreste	10 459.4	2 107.9	20.1	2 323.5	22.2
Centro	6 642.0	3 068.2	46.2	4 929.8	74.2
Sur	1 478.0	1 035.9	70.1	1 460.5	98.8
Total nacional	54 503.8	18 442.2	33.8	16 713.9	30.7

* Para el año de 1997 incluye hasta el 31 de diciembre, en 1998 hasta el 19 de noviembre.

Fuente: SEMARNAP

El bajo nivel de almacenamiento en las presas, sumado a la reducción en los volúmenes de precipitación, incrementó los daños al campo. Los datos de la comisión Nacional del Agua, al 16 de abril de 1998, sobre la situación de las 173 presas, indicaban que las presas del centro de la República contaban con sólo 28% de su capacidad, las de el sur 62%, las de el norte 30% y las del noroeste 29% (El Financiero, 27 abril 1998). La agricultura de temporal tuvo un fuerte impacto negativo por el retraso de las lluvias, mientras que la agricultura de riego no tuvo los rendimientos de otros años, a causa de la baja disponibilidad de agua acumulada, producto de 4 años de bajos niveles en las presas y la escasez de lluvias.

Entre 1991 y 1995 El Niño produjo en Sinaloa una de las sequías más prolongadas en el noroeste de México, provocando mortandad de ganado y pérdidas en la agricultura. La sequía que tanto ha afectado al norte, se extendió desde 1997 a todo el país. La falta de agua que enfrentan las actividades agropecuarias ha disminuido la producción total de granos, teniéndose que recurrir a importaciones para satisfacer al mercado interno de granos. Como consecuencia directa en la balanza comercial agropecuaria ha resultado desfavorable para México en los últimos años (Tabla 6.10). En los primeros 4 meses de 1998 se compraron del exterior 1.8 millones de toneladas de maíz, estimándose que las importaciones totales superaron los 6 millones de toneladas que se compraron en 1996, y los 2.8 millones que se compraron en 1997 (La Jornada, 11 mayo 1998). Con estas cifras se demuestra que el país tuvo un déficit comercial de más de 300 millones de dólares en 1997.

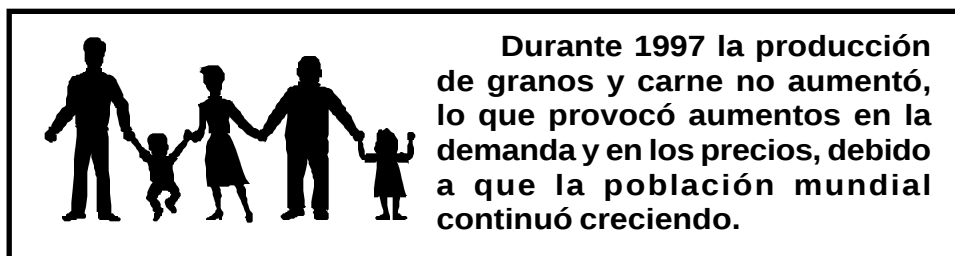
Tabla 6.10 Balanza comercial agropecuaria de México.

Año	Exportaciones	Importaciones	Saldo
1995	3 902.2	2 626.9	1 273.3
1996	3 385.4	4 654.1	-1 268.7
1997	3 828.1	4 173.1	- 345.0
1998*	3 600.0	4 600.0	-1 000.0

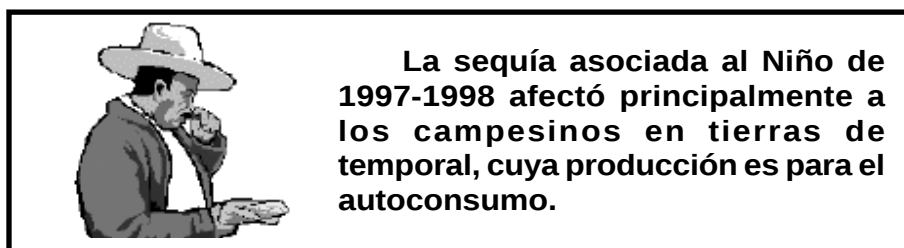
*Estimado. Millones de dólares.

Fuente: SAGAR y Banco de México.

La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) indica que en los países Centroamericanos y algunos del Caribe, el fenómeno El Niño de 1997 ocasionó intensas sequías, que provocaron una caída promedio de 15% en la producción de cereales (El Financiero, 18 diciembre 1997), lo que obligó a estos países a acudir al mercado internacional para satisfacer su consumo nacional. Se estima que la producción mundial de granos en 1997 fue de 381 millones de toneladas, igual a la de 1996. Como la producción mundial no creció en la misma proporción que la población humana, se produjo un incremento en los precios internacionales de granos (El Financiero, 9 octubre 1997). En otro rubro, la producción de carne de ganado bovino tuvo un ligero descenso de un millón 330 mil, a un millón 318 mil toneladas a causa de la sequía.



En resumen, durante 1997 las pérdidas que dejó El Niño a la agricultura mexicana fueron de aproximadamente 4 mil millones de pesos, aunadas a un déficit comercial agrícola de 345 millones de dólares, siendo los campesinos que viven del autoconsumo, así como pequeños productores, los más afectados.



Los efectos de los huracanes

No es claro si El Niño altera el número o trayectoria de los huracanes en el Pacífico del Este. Los huracanes formados en esta región, favorecidos por las corrientes de agua caliente que genera El Niño tienden a ser más intensos (ver Cap 2), haciéndolos más peligrosos para México, que cuenta con más de 7 mil kilómetros de costa occidental. El Huracán Paulina, que provocó en 1997 grandes daños, principalmente en los estados de Oaxaca y Guerrero, alcanzó categoría 5. Este huracán se formó en aguas del Océano Pacífico y sus efectos se extendieron en un radio de 185 kilómetros en todas direcciones. Se acercó a costas mexicanas tocando las playas de Oaxaca el miércoles 8 de octubre con vientos de 210 hasta 260 kilómetros por hora y marejadas de 7 metros de altura.

Algunas evaluaciones sobre Paulina indican pérdidas por varios cientos de millones de pesos. Sin embargo, atribuir los daños causados por este huracán al fenómeno El Niño resulta arriesgado, pues como se indicó anteriormente, los huracanes pueden tocar costas del Pacífico mexicano en años de Niño o Niña.

Balance de los costos económicos de El Niño en México

Una de las formas de prevenir o disminuir los efectos negativos de variaciones extremas en el clima, consiste en conocer las características y las circunstancias que propician dichos cambios, para pronosticar, planear o diseñar estrategias de adaptación.

En verano el fenómeno Niño es causante de que el territorio nacional se vea afectado por sequías y oleadas de calor. Los efectos y la magnitud de El Niño parecen hasta ahora proporcionales a los daños ocasionados. Esta situación requiere promover acciones concretas que permitan minimizar sus efectos negativos, y ayudar a la población con acciones de prevención.

El fenómeno El Niño generó en 1998 un incremento importante en el número de incendios forestales. La sequía, acentuada por El Niño, ha mermado la producción del campo, produciendo desabasto de agua para riego en gran parte del territorio mexicano e incluso para consumo humano.

El sector agropecuario ha sido el más golpeado por los efectos negativos de El Niño, debido a la falta de lluvias suficientes y del bajo nivel de agua en las presas.

Las pérdidas acumuladas del fenómeno de El Niño pueden estimarse en alrededor de 17000 millones de pesos (Tabla 6.12). De incluirse en tal evaluación monetaria el costo por importaciones de alimentos, la cifra aumentaría substancialmente (6 mil millones), estas pérdidas estimadas se calcularon con base en los efectos directos que el fenómeno originó.

Más allá de las pérdidas monetaria, los costos ambientales son incalculables. Baste considerar la pérdida en los bosques por causa de los incendios.

*Tabla 6.12 Impacto del fenómeno Niño en 1998.
(* Pérdidas económicas estimadas)*

Efectos	Zona afectada	Pérdidas monetarias
Actividad		
Agricultura	Todo el país	14 000*
Pesca	Pacífico mexicano	700*
Efectos climáticos		
Incendios	Todo el territorio nacional	2 300*
Efectos totales	Territorio nacional y aguas del Pacífico mexicano	17 000*

* Millones de pesos estimados a partir de información oficial y documentos diversos consultados por el grupo de trabajo del IIEc-UNAM.

Procedimiento para evaluar costos asociados a la variabilidad climática

Para evaluar los costos económicos ocasionados por El Niño se requiere precisar los valores monetarios que cada actividad económica arroja al total de la riqueza nacional. La información se obtiene de revisar las cuentas nacionales y las variaciones en existencia, relacionando ambas con las pérdidas monetarias. Como no existe una contabilidad precisa, tanto de los bienes en existencia como de las pérdidas ocurridas, además de saber que la apreciación de quien realiza la evaluación no deja de ser subjetiva, los resultados obtenidos deben ser considerados sólo como una aproximación.

El Niño y sus efectos en la pesca

El Niño, al producir una alteración en la temperatura del agua de las costas del Pacífico mexicano, impacta a las pesquerías mexicanas. El cálculo de los efectos económicos ocurridos en pesca en el Golfo de México y Caribe no pueden ser considerados por estar estos asociados a procesos oceánicos distintos.

El procedimiento contable utilizado para el cálculo de los costos Niño-Pesca, se basó en los supuestos siguientes: a) año con año existe un nivel de captura considerado normal, llamado el promedio histórico, b) el fenómeno Niño tuvo presencia desde mediados de 1997, detectado por los cambios de temperatura del mar y c) si en el año o años que se evalúa se presenta una variación importante regional y ésta se detecta a través de informes económicos, entonces se establece una asociación con El Niño, el cuál será el principal causante de tal disminución. Por lo tanto, si calculamos de manera simple los valores de la disminución, tendremos una aproximación de la magnitud de estas pérdidas.

El Niño y los incendios forestales

Uno de los desastres asociados directamente al fenómeno El Niño corresponden a los incendios forestales, debido a que las altas temperaturas y la disminución en la humedad registrada durante los primeros meses de 1998, favorecieron el surgimiento y rápida propagación de este fenómeno.

El cálculo de las pérdidas relacionadas con los incendios se realizó a partir de tres supuestos: a) el costo de la extinción de los incendios forestales, b) la pérdida de organismos de especies maderables destinadas al comercio y c) el costo que representaría reforestar las áreas quemadas (afectadas parcial o totalmente). La información sobre los recursos económicos destinados a sofocar los incendios y para actividades de reforestación se tomaron de publicaciones periódicas, boletines y otros documentos oficiales del gobierno de México, emitidos a través de la SEMARNAP.



Los costos de extinción de incendios forestales, pérdida de especies destinadas al comercio de maderas o reforestación pueden ser considerados menores cuando se comparan con los costos ambientales

A partir de estimar la existencia de bosques en el territorio nacional y promediar el número de árboles por hectárea afectada, se obtuvo el cálculo aproximado de las pérdidas promedio en madera ocurrida durante un incendio en una zona determinada. Dado que el índice obtenido asigna un valor promedio al total de las hectáreas, se procede a multiplicar la superficie total afectada por el valor promedio de la existencia de madera por hectárea. Las aproximaciones se hacen a partir de ponderar las zonas con alta densidad de árboles que fueron quemadas y otras con una baja o nula existencia de madera.

El Niño y la agricultura

La evaluación de las pérdidas relacionadas con El Niño en las actividades agrícolas, se fundamentó en la revisión de los datos publicados por los organismos oficiales encargados de informar sobre la situación de las importaciones de granos y de los avances en la producción. Estos datos se confrontan con las cifras, generadas durante y después de El Niño, tomando para estos cálculos las pérdidas de siniestros esperados por efecto de las sequías principalmente.

Los datos utilizados en estos estudios están condicionados a: 1) saber de antemano, que el agro mexicano tuvo pérdidas de alrededor de 4 mil 600 millones de pesos solamente por semillas, que al no germinar se echaron a perder, ocasionando un déficit de alrededor de 1,000 millones de dólares en la balanza comercial agropecuaria, 2) considerar que las importaciones agrícolas en los últimos años han crecido inercialmente y 3) tomar del déficit comercial sólo una parte como costo del Niño, pudiéndose entonces establecer el escenario para calcular los efectos totales.

Se toma la balanza comercial porque los efectos climáticos afectan directamente la producción y conllevan a incrementar las importaciones y disminuir las exportaciones, lo que implica que la balanza nos da una idea aproximada de la situación global. Además, se considera como pérdidas directas del fenómeno El Niño a las hectáreas siniestradas analizadas y la producción perdida en estas regiones (ver cap 4). Las pérdidas indirectas serían la baja en la productividad nacional de las hectáreas que, si bien tuvieron producción, ésta fue menor a la histórica nacional.



Para el análisis de los costos de El Niño en agricultura se debe considerar:

- i) Semillas no germinadas que se echan a perder, y**
- ii) Tendencia de las importaciones agrícolas.**

En caso de existir una disminución en la productividad relacionada con los cambios climáticos por el fenómeno El Niño, el cálculo de los cambios en ese año en producción total debe tomar en cuenta la calidad de los datos en años anteriores sobre producción y hectáreas cosechadas, para poder estimar el déficit en la balanza comercial agrícola correspondiente a las pérdidas en la agricultura por El Niño (Tabla 6.14).

Si se utiliza el déficit comercial agrícola para estimar las pérdidas relacionadas con El Niño y se calcula el total, se tiene un monto de 14 000 millones de pesos por pérdidas en agricultura.

Tabla 6.14. Pérdidas indirectas del sector agrícola por El Niño.

Concepto	Pérdida
Siembras dañadas	5 000
Déficit comercial	5 000
Apoyo al campo	500
Carne de ganado	3 500
Total	14 000*

* millones de pesos

Las pérdidas globales asociadas a El Niño en los años 1997 y 1998, para todas las actividades relacionadas suman un total nacional de 19 000 millones de pesos, como se expresa en la Tabla 6.15.

Tabla 6.15. Pérdidas globales asociadas a El Niño para los años 1997 y 1998.

Concepto	Pérdidas monetarias*
Incendio forestales	2 300
Agricultura	14 000
Desastres naturales	2 000
Pesca	700
Total nacional	19 000

* millones de pesos.

Aspectos sociales de El Niño

Durante los últimos meses de 1997 y los primeros de 1998, fueron recurrentes en los medios de comunicación, múltiples declaraciones y afirmaciones por parte de sectores gubernamentales y sociales afirmando que El Niño y algunos fenómenos extremos como sequías, inundaciones e incendios forestales, i.e., desastres naturales, estaban asociados. Así, se reproducía el discurso basado en el paradigma naturalista, que oculta los problemas de fondo de los desastres: desigualdad social, subdesarrollo, precariedad organizativa, devastación ambiental, carencia de recursos y una aplicación parcial del saber científico. Este panorama aparece frecuentemente en el contexto de la vulnerabilidad y riesgo ante desastres naturales (Belausteguioitia, 1999).

El debate público sobre El Niño es incipiente en México, por lo que es preciso plantear una propuesta interdisciplinaria en la cual, tanto ciencias naturales como ciencias sociales, formulen en un análisis metodológico, la descripción del objeto de estudio, sus características y las interrelaciones sociedad-naturaleza, a fin de aportar elementos para la instrumentación de estrategias de prevención de desastres.

Vulnerabilidad, desastres naturales y sociedad

Según la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, entre 1969 y 1993 el promedio anual de personas afectadas por desastres relacionados con factores naturales ascendió a 117.2 millones (Fig. 1.3), de las cuales, el 49.40% padeció los efectos de sequías y hambrunas, en tanto que cerca del 41% fue particularmente vulnerable ante inundaciones. Del total de personas lesionadas, 69.89% lo fue por efecto de sismos, 17.68% por inundaciones y 11.23% por ciclones (Federación Internacional, 1996).

Así como la «falta» de agua tiene que ver con la mayor proporción de afectados y de muertos, el «exceso» del vital líquido es la principal causa de la pérdida temporal o definitiva de vivienda. En el periodo 1969-1993, el 68.9% de los damnificados habitacionales fueron víctimas de las inundaciones, mientras que más del 23% padecieron los efectos de los ciclones (Federación Internacional, 1996).

Por regiones, tenemos que el 87% de los afectados por desastres naturales corresponden al continente asiático, proporción similar a la registrada de los que perdieron su vivienda (86.28%). Si bien es cierto que en relación a heridos, Asia conserva el primer lugar con el 57.99%, América (sobre todo América Latina y el Caribe) representa casi el 32% mundial. En el indicador relativo a fallecimientos, Asia ocupa el segundo lugar (38.86%), pues África le supera (53.28%) (Federación Internacional, 1996).

En algunos países en vías de desarrollo como México, se piensa que los desastres naturales son impredecibles y cada vez más recurrentes. Ante tal situación la sociedad juega un papel pasivo ante un elemento activo como la naturaleza. Las implicaciones de esta visión derivan en que estado y sociedad no asumen claramente las responsabilidades inherentes a toda organización en materia de seguridad, al no reconocer la influencia de los procesos económicos y políticos en la vulnerabilidad.

Al crearse el Sistema Nacional de Protección Civil (SNPC), el Gobierno Mexicano cuestionaba el enfoque anterior, con la siguiente declaración:

«... en la investigación que se hace, todavía prevalece un sentido de causalidad o dirección de la explicación, que va del ambiente físico a sus impactos sociales. De ahí que todavía es común que las acciones más importantes que se emprendan sean: el monitoreo geofísico, la ingeniería o la planeación del uso del suelo frente a los agentes naturales; en tanto que los factores económico-sociales, organizativos y las condiciones del hábitat no han sido atendidos sistemáticamente. (Secretaría de Gobernación [Segob], 1986: 61)»

La aplicación de un enfoque diferente tiene como antecedente el estudio sobre los efectos de El Niño 1982-1983 en Sudamérica, apoyado por el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (Clacso), donde se concluyó que los siguientes factores deben ser tomados en cuenta para definir estrategias preventivas (Caputo, *et al*, 1985).:

- i) El deficiente manejo de los recursos naturales que da lugar a procesos masivos de deterioro ambiental;
- ii) La falta de información sobre los procesos económicos y su influencia en las regiones propensas a padecer desastres;
- iii) Una amplificación de los efectos catastróficos relacionados con fenómenos naturales, de persistir la vulnerabilidad estado-sociedad;
- iv) Los desastres interrumpen los procesos de desarrollo nacional y regional, si las instituciones públicas desconocen como coordinar tales procesos en una perspectiva de largo plazo;
- v) Los desastres deben analizarse en el marco de los procesos económicos y sociales hegemónicos, para que las acciones de recuperación atiendan tanto la emergencia como los problemas estructurales;
- vi) La población afectada tiene capacidad de organización para enfrentar situaciones adversas, y las instituciones públicas no deben minimizar, bloquear o mediatizar dicha capacidad;
- vii) Los desastres se suman a los problemas económicos cotidianos en que vive la mayoría de la población y;
- viii) la rigidez de los sistemas nacionales de defensa civil puede inhibir la incorporación de las propuestas planteadas por la población afectada.

La sociedad mexicana ante los desastres naturales

Hasta la fecha, en México se cuenta con una estrategia limitada para enfrentar los efectos conocidos de El Niño: sequías, inundaciones, incendios forestales. Aunque existen diversas políticas y programas, hay desarticulación entre ellos, por lo que se carece de una visión integral para atender el problema.

Durante los últimos años se ha comenzado a reconocer la pertinencia de una conceptualización integral y de análisis de los desastres. Las acciones por tomar no son siempre fáciles de definir cuando se consideran fenómenos como El Niño, donde se debe considerar:

- i) El Niño lleva a situaciones anómalas del clima, pero hay variantes en los patrones climáticos de un año de Niño a otro, lo que está asociado a la no linealidad del sistema océano-atmósfera;
- ii) Los límites en la predictibilidad del tiempo meteorológico están impuestos por la naturaleza no lineal y a veces caótica del sistema atmosférico;
- iii) Para el caso de fenómenos específicos como los huracanes, no se tiene claro cómo pronosticar las zonas de origen o las trayectorias exactas, aunque al parecer los cambios de temperatura en el Pacífico del este resultan en una mayor intensidad de estos fenómenos tropicales.

Ante consideraciones como las anteriores, se debe revisar la definición «oficial» de desastre como:

«El evento concentrado en tiempo y espacio en el cual la sociedad, o una parte de ella, sufre un severo daño o incurre en pérdidas para sus miembros, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento vital de la misma. (Segob, 1991)»

Esta definición es restrictiva, porque omite los diversos aspectos económicos, políticos, climatológicos, geográficos, ambientales y territoriales, que en su articulación configuran el contexto de vulnerabilidad, tanto por los efectos destructivos, como por expresar una causalidad fundamentalmente social.

La preocupación gubernamental y la inquietud social respecto a El Niño en nuestro país aumentó durante 1997-1998, debido a dos desastres: por una parte, relacionados con los efectos destructivos del huracán *Paulina* en los estados de Guerrero y Oaxaca en octubre de 1997; y por los incendios forestales ocurridos en los primeros meses de año 1998, que afectaron aproximadamente 849,632 has, cifra muy superior al promedio anual registrado entre 1970 y 1992.

Tal situación no es resultado de problemas coyunturales, sino de los procesos generales que influyen en la ocurrencia de desastres. En el marco de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), México ocupa el lugar 28, entre 29 países, en cuanto a seguridad personal - personas fallecidas y afectadas por desastres-. Lo anterior se relaciona con el bajo nivel del Producto Interno Bruto por habitante y el alto índice de desigualdad entre ingreso percibidos.

El caso de El Niño 1997-98

A El Niño ocurrido en 1997-1998 se le considera el más intenso del siglo por los efectos que dejó sobre la población, superando por mucho efectos históricos registrados entre 1982 y 1983.

En nuestro país, los fenómenos vinculados a El Niño en el bienio 1997-1998, pronosticados con varios meses de anticipación, fueron:

- i) Aumento de la sequía durante el verano;
- ii) Disminución de huracanes en el Caribe y Golfo de México;
- iii) Potencial aumento de la intensidad de los huracanes en el Pacífico; y
- iv) Lluvias invernales intensas en el noroeste del país.

A pesar de pronósticos apuntando en esta dirección, las intensas lluvias en el noroeste ocasionaron una gran multitud de problemas en ciudades como Tijuana, aun a pesar de experiencias recientes: por ejemplo, en el invierno de 1993, las lluvias dejaron un saldo estimado de 200 muertos y 10 mil damnificados que perdieron sus viviendas. Esta situación se presentó en un gran número de ciudades del noroeste que se encuentran asentada en cauces de ríos, barrancas y cañadas, con un déficit de drenaje pluvial superior al 85%.

Autoridades locales reconocen que la campaña de mitigación de los efectos de las lluvias de 1997-1998 tuvo como «detonante principal» la magnitud de los daños relacionados con el paso de *Paulina* en Acapulco, ciudad que tiene condiciones topográficas similares a Tijuana. El impacto de las lluvias dejó un saldo oficial de 11 muertos, 2 desaparecidos, «cientos de casas dañadas» y daños en redes de agua potable, drenaje, vialidades, escuelas, etc. (Rosquillas, 1998).

Las sequías, incendios forestales, huracanes, lluvias torrenciales, deslaves, derrumbes e inundaciones son tratados, sin embargo, de manera fragmentaria en los documentos gubernamentales.

Políticas de estado ante desastres naturales

Recientemente en México se desarrollan estrategias para enfrentar algunos de los efectos de El Niño (sequías, inundaciones e incendios forestales). Sin embargo, existe cierta desarticulación en las diversas políticas y programas oficiales, por lo que se carece de una visión integral para atender el problema.

Cuando se pronosticó la ocurrencia de El Niño 1997-1998, en el seno del Sistema Nacional de Protección Civil (SNPC), se promovieron acciones conjuntas entre las Secretarías de Gobernación, Defensa Nacional, Marina, Salud y Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, para proteger a los habitantes en varios estados, mediante las acciones siguientes:

- * Recomendaciones de alerta a la población,
- * Mejoramiento del drenaje y
- * Planes de emergencia.

En el Programa de Protección Civil 1995 - 2000, a cargo de la Secretaría de Gobernación (Segob), incluye las siguientes políticas en que basa su trabajo, son:

- Consolidar la normatividad, planeación, coordinación y concertación,
- Fortalecer la comunicación social y fomentar la cultura de protección civil,
- Reducir la vulnerabilidad de sistemas afectables,
- Capacitar, adiestrar y formar personal directivo, técnico y operativo,
- Mejorar la administración de emergencias,
- Ampliar la cooperación internacional y
- Fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico.

Son varios los programas adicionales que apoyan las labores de prevención de desastres, principalmente aquellos ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos asociados con El Niño.

El Programa Hidráulico 1995 - 2000 está bajo la responsabilidad de SEMARNAP, e incluye aspectos de medición de precipitación pluvial y monitoreo de huracanes y sequías, a fin de acotar los criterios para el alertamiento temprano en situaciones de emergencia. Este programa trabaja en conjunto con el Sistema Nacional de Protección Civil en coordinación con la Comisión Nacional del Agua (CNA). El programa Hidráulico reporta información meteorológica, climatológica e hidrométrica útil para prever sobre posibles amenazas a la población.

El programa cuenta con una área específica de manejo y control del sistema hidráulico, el cual tiene como uno de sus objetivos: atenuar los impactos ocasionados por fenómenos naturales extremos, como son inundaciones y sequías. En las estrategias a seguir, se vincula con el programa sectorial de protección civil al profundizar en el conocimiento del sistema hidrológico, la planeación y administración del agua, así como dar servicios de apoyo a la población civil.

Los programas analizados no precisan sin embargo, cómo ligar sus actividades a las políticas de desarrollo económico y regional. Por ello, en tanto no se avance en este sentido, las medidas de prevención serán parciales, en espera de la llegada de las distintas temporadas (huracanes, lluvias, estiaje, sequías e incendios forestales).

Hacia una estrategia de prevención y mitigación de desastres naturales

Se requiere avanzar en más investigaciones interdisciplinarias que aporten elementos para el conocimiento sobre El Niño y sus interrelaciones con la sociedad. Cuando el Gobierno Federal mostró preocupación por los efectos que podrían ocurrir durante el periodo 1997-1998, fue clara la necesidad de profundizar en ese conocimiento para reformular las políticas de prevención de desastres.

Los escenarios de desastres requieren de estrategias de protección civil que incorporen una política de desarrollo que contribuya a reducir la vulnerabilidad. La prevención debe incidir en los dos componentes básicos del riesgo: el natural y el social (Wilches, 1993). La mitigación debe ir más allá de la administración de las crisis, incluyendo medidas estructurales como: obra física y diseño de estructuras resistentes y medidas no estructurales como: jurídicas, de planeación y de regulación (Wilches, 1993). En ambos casos se trata de procesos que involucran la toma de decisiones y la negociación entre los distintos sectores con intereses específicos, en los niveles micro (comunidades) y macro (regiones y la nación).

De la participación de México, en la Conferencia sobre Reducción de Desastres de la ONU en Yokohama 1994, se concluyó en la necesidad de trabajar en la planeación e implementación de acciones indispensables, destacando las siguientes:

- La generación de una conciencia nacional de los eventos naturales, los riesgos específicos que se enfrentan, así como las causas de la vulnerabilidad en las diferentes zonas, ante diferentes fenómenos.
- La consolidación de apoyos y responsabilidades de los diferentes protagonistas sociales, y
- El desarrollo y aplicación de instrumentos y medidas de mitigación apropiadas para resolver problemas específicos.

El Niño volverá, y con la experiencia ya adquirida, debemos comenzar a pensar en acciones que nos ayuden a superar las situaciones previsibles, y a plantearnos estrategias para:

- Implementación de una política de manejo de los recursos hidráulicos, que garantice el abasto oportuno y que considere los índices de recuperación del recurso;
- Redefinición de los criterios de protección civil, para mejorar las condiciones socioeconómicas de la población, y con ello abatir la vulnerabilidad;
- Diseño de políticas públicas integrales para prevenir y reducir los incendios forestales;
- Formulación de programas de desarrollo regional y urbano que regulen efectivamente los procesos de urbanización en todo el territorio nacional;
- Reorientación del presupuesto de egresos de la Federación, para canalizar mayores recursos a las instituciones responsables de programas económicos, sociales y urbanos;
- Promoción de investigaciones multidisciplinarias (científicas y sociales) que contribuyan a un mejor conocimiento de la relación sociedad mexicana - desastres naturales.

7 Conclusiones

Las interacciones entre atmósfera, océano y continente resultan en lo que la gente experimenta como clima. En años recientes, gran parte de la información climática nos llega a través de los medios de comunicación. Las noticias en radio, televisión o en los periódicos nos han familiarizado con fenómenos climáticos como el agujero de ozono, el calentamiento global, la contaminación atmosférica y muchos otros procesos en el medio ambiente. Quizá uno de los que más popularidad ha ganado en el mundo en años recientes es el llamado fenómeno El Niño, por asociársele con los más graves desastres naturales en el planeta. Aunque se ha avanzado en nuestro entendimiento del fenómeno Niño y su evolución en el océano Pacífico tropical, es menos lo que sabemos de los impactos que lleva asociados en el mundo, que del fenómeno oceanográfico mismo.

Los problemas ambientales recientes han generado gran interés por entender los factores que controlan el clima. La sequía de los noventas, las inundaciones de Chiapas y el deterioro general de nuestro entorno, con un aparente aumento en el número de desastres naturales afectando a la población, son hoy en día motivo de preocupación, ya no sólo de la comunidad científica, sino de las agencias gubernamentales y de la comunidad en general. Las preguntas sobre si llueve más o menos que antes, si el clima es más caliente y si vamos hacia un planeta con condiciones extremas nunca antes vividas, están en boca de muchos. La respuesta a estas interrogantes comienza a darse, con base en análisis científicos, tratando de evitar el sensacionalismo y la alarma.

El Niño es un fenómeno natural que siempre ha existido. Quizá es hoy en día más popular por relacionarse directamente con alteraciones climáticas que afectan las actividades socio-económicas a nivel mundial. El hablar de que los costos acumulados de las variaciones climáticas en México, resultado de El Niño, ascienden a casi dos mil millones de dólares y afectan a alrededor de veinte millones de personas, nos hace reflexionar sobre la importancia de diseñar estrategias de mitigación y adaptación ante condiciones extremas en el clima. Varios países en el mundo toman cada vez más en serio los pronósticos climáticos en la planeación de sus actividades. En México apenas se comienza a avanzar en esa dirección.

Los efectos de El Niño en el territorio mexicano están íntimamente ligados a la disponibilidad de agua. La escasez de lluvia en ciertos años es quizá la señal más evidente de un Niño fuerte. Son los costos de la sequía los que más se resienten en México. Por otra parte, la aparición de La Niña, con lluvias generalmente abundantes, lleva a creer que el clima vuelve a la normalidad. Esta llamada normalidad sin embargo, debe comprenderse como un estado cambiante, que en ocasiones alcanza extremos de Niño y en otras condiciones de Niña o de ninguno de los dos. Como alguien dijo una vez, "la única constante del clima es su variabilidad". Esta variabilidad es característica de cualquier sistema complejo en el que el número de factores que intervienen, actuando e interactuando, no son comprendidos en su totalidad. Aunque tal complejidad nos pudiera desalentar en el intento por pronosticar el clima, es cada

vez más claro que el sistema climático posee predecibilidad, es decir que existen señales climáticas que anticipan los cambios por venir. Sin duda, El Niño es una de estas señales importantes.

Muchos países como Perú, Brasil, India, Australia, han desarrollado modernos sistemas de observación y predicción del clima, principalmente de la señal El Niño. Es natural, los países tropicales son quienes más directamente resienten su impacto. Como los anteriores países de regiones tropicales, México también resiente fuertemente los impactos de El Niño. Sin embargo, y a diferencia de los otros países, en el nuestro son pocas las acciones coordinadas que se siguen para mitigar los efectos negativos y aprovechar los aspectos positivos de El Niño, aun cuando el potencial para hacerlo es verdaderamente grande. Existen algunas razones por las cuales no se ha actuado en materia de planeación tomando en cuenta el factor climático. Por ejemplo, no es sino hasta fechas recientes que las investigaciones sobre los impactos de El Niño en México tomaron forma como para distinguir cuáles efectos le están asociados y cuáles no. La tendencia a culpar al Niño de todos los males que sufre México se tradujo en muchas ocasiones, en dudas respecto de la utilidad de considerar seriamente a este fenómeno para planear actividades estacionales en algunos sectores socio-económicos. Por otra parte, muchos de los potenciales usuarios de la información climática esperan pronósticos altamente precisos en escalas espaciales y temporales que están más allá de las posibilidades reales de las ciencias atmosféricas. Es imposible decir con tres meses de anticipación si en la localidad X comenzará a llover el día Z. Finalmente, existe cierta desconfianza hacia los pronósticos del tiempo meteorológico, la cual se extiende con frecuencia a los pronósticos climáticos. Estadísticamente se piensa que el grado de acierto en los pronósticos del tiempo es del 60 o 70% y aun más en otros casos. Tal estimación es difícil de dar para el caso de pronósticos climáticos, pues tendrían que pasar muchos años antes de disponer de una estadística confiable. La evaluación está más relacionada con el entendimiento de los procesos físicos que resultan en un cierto estado climático. A los ojos de la comunidad científica y de muchos sectores económicos, la calidad de los productos de pronóstico con que se dispone hoy en día ya es suficiente para planear y definir medidas de prevención de desastres. El que la bolsa de valores en el sector comercialización de granos tome en cuenta los pronósticos climáticos es sintomático de la confianza que se tiene hoy en día en esta información.

La acción concertada del sector productivo (e.g., agrícola) con los científicos del clima apenas comienza en México. El estudio realizado en el estado de Tlaxcala en materia de clima y agricultura constituye un ejemplo en materia de colaboración. Con el apoyo de instituciones de investigación nacionales e internacionales, agencias de gobierno y organizaciones de productores hemos comprobado que es posible que los agricultores se beneficien de las investigaciones sobre El Niño. Los pronósticos de las lluvias deficientes en 1997, atrasadas en 1998 y adecuadas en 1999, se traducen paulatinamente en acciones de planeación en ciertos grupos de productores de maíz. En 1998, algunos agricultores decidieron incluso cambiar de cultivo para hacer frente a las lluvias deficientes de principios del verano. El interés por esta información se ha extendido a otras regiones del país y ya se realizan estudios en detalle para los

estados de Tamaulipas y Oaxaca.

Eventualmente, la experiencia de los pronósticos del clima basados en la señal El Niño deberá extenderse no sólo a otras regiones del país, sino a otros sectores como el de la pesca, la prevención de desastres o las comunicaciones. Incluso, se debe pensar en el aprovechamiento de condiciones extremas para ciertos sectores como el turismo y la salud. Dependerá del establecimiento de políticas, en cada uno de los rubros asociados al clima, el que cambie la costumbre de: “enfrentar con eficiencia los desastres” por “prevenir los desastres”.

Aunque para muchas personas la información climática de pronóstico no posee el detalle espacial o temporal que quisieran, ésta ya es suficientemente valiosa como para modificar prácticas y comenzar a considerar alternativas de uso de recursos naturales que tomen en cuenta la variabilidad del clima. Hay muchas interrogantes sobre El Niño, que hoy en día son motivo de estudio y que requieren de análisis profundos. Las mayores preocupaciones de la sociedad en materia ambiental tienen que ver con las variaciones que el clima está experimentando. A nivel gobierno, muchas de las políticas en energía y comercio deberán considerar seriamente dicho factor. Asuntos como el cambio climático demandan acciones conjuntas de los países y las tendencias actuales de considerar al medio ambiente como parte de negociaciones y políticas internacionales incluye a México. Sólo con un conocimiento adecuado de los problemas sobre el clima podremos tomar decisiones en las negociaciones que se llevan al cabo en el mundo.

Es claro que el fenómeno El Niño no es el único elemento que modula el clima mexicano. Muchos otros factores requieren ser tomados en cuenta para aumentar nuestro entendimiento de la variabilidad del clima. Se deben analizar factores como las ondas del este, los efectos de interacción océano atmósfera en el Caribe y en el Golfo de México, las interacciones entre el flujo y la topografía, la humedad en el suelo, los cambios en el uso del suelo, las interacciones trópicos extratropicales, las teleconexiones a partir de variaciones climáticas en el Atlántico o el Pacífico norte, el cambio climático y muchos otros elementos que generan variaciones climáticas.

A partir de el estudio conjunto sobre El Niño en México surgen muchas preguntas que se convertirán próximamente en investigaciones. Por ejemplo,

- ¿ por qué si en años de Niño hay más nortes, llueve menos?,
- ¿ cambia la intensidad de los huracanes en el Pacífico mexicano en años de Niño?,
- ¿ cuál es la importancia de la alberca de agua caliente en el Pacífico nororiental frente a México?,
- ¿ cómo se explica la variabilidad en el clima invernal mexicano de un año de Niño a otro?,
- ¿ cómo afecta El Niño las regiones del Golfo de México o el mar Caribe?,
- ¿ se alteran las pesquerías en esos mares?

Mejorar los diagnósticos y predicciones climáticas y aún más, hacerlos útiles,

continúa siendo el gran reto. Para aumentar nuestro conocimiento sobre el clima regional es recomendable:

- 1) **Mantener un sistema de observación meteorológico a largo plazo** de tal forma que sea posible monitorear con suficiente resolución espacial y temporal los cambios que registra el clima.
- 2) **Un programa de estudios de procesos climáticos para entender los factores que modulan nuestro clima** para asegurarnos que éstos son considerados en las predicciones.
- 3) **Un programa de investigación que involucre el uso de modelos** numéricos o estadísticos para ser usados en pronósticos del clima.
- 4) **Un programa de formación de recursos humanos en estudios de clima y eventos hidrometeorológicos extremos** para garantizar que los puntos antes mencionados se cumplan.

Son muchos los programas mundiales encaminados a promover este tipo de acciones. En todo caso se requiere que las instituciones de cada país los promuevan y los apoyen para que lleguen a buen fin.

Los actores adicionales en el reto de manejo de información climática para prevenir desastres, mitigar impactos negativos y aprovechar aspectos positivos de El Niño continúan siendo los medios de comunicación. Un manejo adecuado del conocimiento sobre las condiciones asociadas con El Niño permitirá a la población entender los programas de investigación y acción que se establecen, tanto en México como en el mundo. El Niño no es enemigo de nadie. La ignorancia y la desinformación sí lo son. Una población informada de los problemas ambientales que enfrenta actuará con conciencia y buena disposición.

Bibliografía

- Adem, J., 1964: On the physical basis for numerical weather prediction of monthly and seasonal temperature in the troposphere ocean continent system. *Mon.Wea.Rev.* **92**, 91-103.
- Altstatt J.M., R.F. Ambrose, J.M, Engle, P. L. Haaker, K.D. Lafferty y P.T.Raimondi, 1996. Recent declines of black abalone *Haliotis cracherodii* on the mainland coast of central California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **142**:185-192.
- Amador, J.A., y V. Magaña, 1999: Dynamics of the low-level jet over the Caribbean sea. *Preprints. 20th Conference on Tropical Meteorology*. 10 - 15 January, 1999, Dallas, Texas. American Meteorological Society. 101 - 102 p.
- Ambrizzi, T. y Magaña, V. 1998. Impactos de el fenómeno de El Niño en las Americas: La señal de el invierno boreal. *Memorias de VIII Congreso de la organización Mexicana de meteorólogos, A.C.*, 69 – 61.
- Anderson, D.L. y P.B. Rowland, 1976. The role of inertia-gravity and planetary waves in the response of a tropical ocean to the incidence of an equatorial Kelvin wave on a meridional boundary. *Journal of Marine Research*, **34**, 295-312.
- Badán D.A., C.J. Koblinsky y T. Baumgartner, 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanol. Acta* 8, I: 13-22.
- Baier, W., 1977. Crop - Weather Models and Their Use in Yield Assessments. Technical Notes **151**. World Meteorological Organization.
- Bakun A., 1996. Patterns in the ocean: Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant College System y Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 323 pp.
- Balart E.F. y J.L. Castro-Aguirre, 1995. Estimación del impacto de la depredación de merluza sobre langostilla. *En: Aurioles-Gamboa D. y E.F. Balart, 1995. La langostilla: biología, ecología y aprovechamiento*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. 139-162.
- Barber, R.T. y F.P. Chavez. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science* **222**: 1203-1210.
- Barber, R.T., J.E. Kogelschartz, y F.P. Chavez. 1985. Origin of productivity anomalies during the 1982-1983 El Niño. *CalCOFI Report*. **26**: 65-71.
- Barry, R.G. y A.H. Perry, 1973: *Synoptic Climatology. Methods and applications*. Methuen & Co. Ltd. London. 555 pp.,
- Bassols, A. 1993. *Geografía Económica de México. Teoría, fenómenos generales, análisis regional*. 7a edición. Trillas. México. 206 - 253.
- Baumgartner, T.R. y N. Christensen Jr.. 1985. Coupling of the Gulf of California to large scale interannual climatic variability. *Journal of Marine Research*, **43**, 825-848.
- Belausteguigoitia Rius, J.C., 1999: Los sistemas de información en los desastres naturales. *Desarrollo Sustentable*. 1, 7-8.
- Biggs, D.C. y F.E. Müller-Karge. 1994. Ship and satellite observations of chlorophyll stocks in interacting cyclone-anticyclone eddy pairs in the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, **99**: 7371-7384.
- Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon.Wea.Rev.*, **97**, 163-172.

- Calva, T., J. L., 1997. *Crisis Agrícola en México: 1982-1996. Diagnóstico y propuesta de solución*. Reporte de Investigación No. 38. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 16 pp.
- Cane, M. A., G. Eshel, R.W. Buckland. 1994. Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. *Nature*. **370**: 204-205.
- Caputo, M.G., Herzer, y Morello, 1985: La inundación en el Gran Resistencia 1982-1983. *En Desastres Naturales y Sociedad*.
- Cardona. O.D., 1993: Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En Los Desastres no son Naturales, Santa Fe de Bogota., 3er mundo.
- Carpenter J.R., 1940. The grassland biome. *Ecol. Monogr.* **10**: 617-648.
- Casas-Valdez M., G. Hernández-Carmona y C.J. Hernández-Guerrero, 1996. Recurso *Macrocystis pirifera*. En: Casas-Valdez M. y Ponce-Diaz G. (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar. 431-444.
- Cavazos, T., y S. Hastenrath, 1990: Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *Int. J. Clim.*, **10**, 377-386.
- Cedeño, O. y R. Medina, 1999: El equipo aéreo en el combate a los incendios forestales. *Desarrollo sustentable*, **1**, 26-27.
- Climate Variability Predictability. (CLIVAR). 1999. Seventh session of the CLIVAR scientific steering group. Santiago de Chile abril y mayo 1998. Reporte 2/1999. Serie **25**
- Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. M. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villarreal, C. Gay. 1997. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to Climate Change. *Clim. Res.* **9**, 1: 17-23.
- Conde, C., R. Ferrer, C. Gay. 1998. Variabilidad Climática y Agricultura. *GEOUNAM.* **5**, 1: 26-32.
- Conde, C., V. Magaña, R. M. Ferrer. 1999. On the Use Of a Climate Forecast in the Planning of Agricultural Activities in the State of Tlaxcala, Mexico. *Preprints. 11th Conference on Applied Climatology*. 10 - 15 January, 1999, Dallas, Texas. American Meteorological Society. 101 - 102 p.
- Cromwell T., 1958. Thermocline topography, horizontal currents and 'ridging' in the Eastern Tropical Pacific. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, **3**, III: 135-164.
- Cruz Roja Internacional, 1995: Informe mundial sobre desastres, de la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja.
- Chelton, D.B. y R.E. Davis, 1982. Monthly mean sea level variability along the west coast of North America. *Journal of Physical Oceanography*, **12**: 757-784.
- Christensen, N. Jr., R. de La Paz y G. Gutiérrez, 1983. A study of subinertial waves off the west coast of Mexico. *Deep Sea Research*, **30**: 835-850.
- De Maria M. y J. Kaplan, 1994. Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones. *J. Climate*, **7**, 1325-1334.
- Delgadillo, J. 1996. Desastres naturales, aspectos sociales para su prevención y tratamiento. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. 11-31.

- Díaz H.F., y V. Markgraf. 1992. El Niño. Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation. *Cambridge Univ. Press*. 476 pp.
- Dilley, F.B. 1993. *Climate Change and Agricultural Transformation in the Oaxaca Valley, México*. Thesis (Ph.D. Geography) Pennsylvania State University.
- DiMego, G.J.; Bosart, L.F. y Endersen, G.W. 1976: An Examination of the Frequency and Mean Conditions Surrounding Frontal Incursions into the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Mon. Wea. Rev.* 104:709-719.
- Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. 1977. *Las necesidades del agua en los cultivos*. Estudio FAO: Riego y Drenaje. **24**.
- Douglas, A.V., 1994: Base de datos climatológicos para la República Mexicana (disponibles por internet)
- Duffy D. y P.J. Bryant, 1998. The 1997-98 El Niño/Southern Oscillation (ENSO 97-98)- One of the most severe ENSO events in history?. Página electrónica Univ. California en Irwing (darwin.bio.uci.edu/~sustain/ENSO.html).
- Ehrhardt N.M., P.S. Jacqemin, A. Solís N., F. García B., G. Gonzales D., J. Ortiz C. y P. Ulloa R., 1982. Crecimiento del calamar gigante *Doscidiscus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. *Ciencia Pesquera I.N.P.* **3**: 33-39.
- Ehrhardt N.M., J. Ortiz C., P.S. Jacqemin, P. Ulloa R., G. Gonzales D. y F. García B., 1986. Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Doscidiscus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. *Ciencia Pesquera I.N.P.* **5**: 63-76.
- Elton C., 1942. Voles, mince and lemmings: Problems in population dynamics. Oxford Univ. Press, Londres, U.K.
- Emanuel, K. A., 1991: The theory of hurricanes. *Annual Rev. Fluid. Mech.*, 23, 179-196.
- Emery, W.J. y J.S. Dewar, 1982. Mean Temperature-Salinity, Salinity-Depth and Temperature-Depth curves for the North Atlantic and North Pacific. *Progress in Oceanography*, **11**, 219-305.
- Enfield, D. Y D.A. Mayer, 1996: Relationships of the western hemisphere rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Preprints, Eight Conference on Air Sea Interaction and Conference on Global Ocean-Atmosphere-Land System (GOALS)*. Atlanta, GA., Amer.Met.Soc., pp390-394.
- Enfield, D.B. y J.S. Allen, 1980. On the structure and dynamics of monthly mean sea level anomalies along the Pacific coast of North and South America. *Journal of Physical Oceanography*, **10**, 557-578.
- Federación Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 1996: Informe Mundial sobre Desastres 1995. Ginebra.
- Fein J. S., y P. L. Stephens, 1987: Monsoons, Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons, 632 pp.
- Feldman G., D. Clark y D. Halpern, 1984. Satellite color observations of the phytoplankton distribution in the Eastern Equatorial Pacific during the 1982-83 El Niño. *Science*, **226**: 1069-1071.
- Fiedler P.C., 1984. Satellite observations of the 1982-83 El Niño along the U.S. Pacific coast. *Science*, **224**: 1251-1254.
- Filonov A.E., C.O. Monzón y I.E. Tereshchenko. 1996. A technique for fast conductivity-temperature-depth oceanographic surveys. *Geofisica. Internacional*. **35**, IV, 415-420.

- Flores, D. 1986. Breve Análisis sobre la Agricultura de Temporal de México. En: *FORO: Panorama de la agricultura mexicana, reflexiones, preguntas, respuestas*. UNAM. México. 85 - 99.
- Florescano, E. 1980. *Análisis Histórico de las Sequías en México*. SARH: Com. Plan Hidráulico Nacional. México.
- Fox W.W. Jr., 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.* **99**: 80-88
- Frére, M. y G. F. Popov. 1986. *Pronóstico Agrometeorológico del rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO: Producción y Protección Vegetal. **73**.
- Gandu, A., y Pl.Silva Dias, 1998: Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence. *J. Geophys. Res.*, **103**, 6001-6015.
- Garza, M. y Rodríguez D. 1998. Los Desastres en México: una perspectiva multidisciplinaria. UNAM, UAM, Universidad Iberoamericana.
- Gaxiola Castro, G. y S. Nájera Martínez. 1996. Percepción remota del Color del Océano. *Rev. Ciencia y Desarrollo, CONACYT*. XXII, **130**.
- Gill A.E..1982. Atmosphere-Ocean Dynamics. *Academic Press*, N.York, 617.
- Gispert, M. y A. Alvarez. 1998. *Del Jardín de América al Mundo*. Miguel Angel Porrúa. México. 205 pp.
- Glantz M.H., 1996. Currents of change: El Niño's impact on climate and society. Cambridge (U.K.): Cambridge Univ. Press. 194 pp.
- Gordon, H. R., y A. Y. Morel. 1983. Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery, Springer-Verlag, New York.
- Graham M., 1935. Modern theory of exploiting a fishery and application to North Sea trawling. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* **10**: 246-274.
- Gray, W.M., 1984: Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences., *Mon.Wea.Rev.*, **112**, 1649-1668.
- Harper J.L., J.T. Williams y G.R. Sagar, 1965. The behaviour of seeds in soil. *J. Ecol.* **51**: 273-286.
- Hastenrath, S., 1991: *Climate Dynamics of the Tropics*. Ed. Kluwer Academic Press, 488p.
- Higgins, R.W., Y. Chen, y A.V. Douglas, 1999: Interannual variability of the North American warm season precipitation regime. *J. Climate*, **12**, 653-680.
- Hilborn R. y C.J. Walters, 1992. Quantitative fisheries stock assesment: choice, dynamics and uncertainty. New York Chapman and Hall, 570 pp.
- Holton, J.R., 1979:An Introduction to Dynamic Meteorology, Ed. Academic Press, p. 391.
- INEGI, 1999: Banco Nacional de Datos por Internet.
- INEGI. 1992. *XI Censo General de Población y Vivienda. 1990*. México.
- INEGI. 1994. *VII Censo Agrícola-Ganadero de los Estados Unidos Mexicanos*. México.
- INEGI. 1996a. *Conteo de Población y Vivienda 95. Resultados Preliminares*. México.
- INEGI. 1996b. *Atlas Agropecuario del Estado de Tlaxcala. VII Censo Agropecuario 1991*. México. 80 pp.
- IPCC, 1996: *Climate Change 1995, the Science of Climate Change*. (Ed. By J.T. Houghton et. al.) IPCC, Cambridge University Press. Cambridge, UK. 572p.

- IPCC, 1997: *Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad*. Editado por R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss y D.J. Dokken. WMO.PNUMA.
- IRI-IGOSS, 1998. Integrated Global Ocean Services System Products Bulletin. Página electrónica <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/IGOSS/.nmc/.monthly/.sst/>
- Jáuregui, E. 1971: Variaciones de largo periodo de los tipos de tiempo de superficie en México. Bol. Del Inst. de Geografía. UNAM. Vol. 4. México, D.F.
- Jáuregui, E. 1995. Rainfall Fluctuations and Tropical Storm Activity in Mexico. *Erkunde. Archiv Für Wiseenschaftliche Geographie*. **49**: 39-48.
- Jáuregui, E. 1997: Climate change in Mexico during the historical and instrumented periods. *Quaternary International*, 43/44, 7-17.
- Jáuregui, E., 1989: Los huracanes prefieren a México. *Información Científica y Tecnológica*, 11,, 155pp. México, CONACyT.
- Jiménez Pérez, L.C. y J.R. Lara Lara. 1988. Zooplankton biomass and copepod community structure in the Gulf of California during the 1982-1983 El Niño event. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* **29**:122-128.
- Jones, C.A., y R. Kiriny (eds.). 1986. *CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas, A & M University Press. College Station, Texas. 194 pp.
- Karinen J.F., B.L. Wing y R.R. Straty, 1985. Records and sightings of fish and invertebrates in the Eastern Gulf of Alaska and oceanic phenomena related to the 1983 El Niño event. *En*: Wooster S.W. y D.L. Fluharty (Eds.), *El Niño North: Niño effects in the eastern subarctic ocean*. Washington Sea Grant Program, Univ. of Wash., Seattle. 253-267.
- Klaus, D. 1973: Las invasiones de aire frío en los trópicos a sotavento de las montañas Rocallosas. *Geof. Int.* 13:2,99-143.
- Klett A.T., 1981. Estado actual de la pesquería de calamar gigante en el estado de Baja California Sur. *Serie Científica* **21**, Depto. de Pesca, I.N.P., México. 28 pp.
- Kumar, A., y M.P. Hoerling, 1997: Interpretations and implications of the observed inter-El Niño variability. *J.Climate*, **10**, 83-91.
- Larkin P.A., B. Scott y A.W. Trites, 1990. The red king crab fishery of the Southeastern Bering Sea. Seattle, Fisheries Management Foundation 35 pp.
- Lavaniegos Espejo B., J.R. Lara Lara y E. Brinton. 1989. Effects of the 1982-83 El Niño event on the euphausiid populations of the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* XXX, 73-87
- Lavín M.F., E. Beier y D.A. Badán, 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. *En*: M.F. Lavín (Ed). *Contribuciones a la oceanografía física en México*. Monografía **3** Unión Geofísica Mexicana. 141-172.
- Le Roy, E. 1991. *Historia del clima desde el año mil*. Fondo de Cultura Económica. México. 522 pp.
- Lee, M.E. y D. Chelton, 1999. Inferenced Oceanic Kelvin/Rossby Wave Influence on North American West Coast Precipitation. Tech. Rep. NOAA. Página electrónica. http://www.nwrfc.noaa.gov/papers/Tech_Memo_Nwsr-253/tech_memo_NWSWR-253.html

- Legorreta-Padilla, F. 1998. *Conversión productiva del Temporal para Tlaxcala. Opciones para reducir el impacto de Eventos climáticos en el Agro*. Tríptico de divulgación. SAGAR, AGROTLAX e INIFAP. Fundación Produce, Tlaxcala.
- León-Carballo G. y M. Muciño-Díaz, 1995. Pesquería de abulón. *En: Casas-Valdez M. y Ponce-Díaz G. (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuicola de Baja California Sur*. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar. 15-41.
- Liverman, D. 1990. Drought Impacts in Mexico: Climate, Agriculture, Technology, and Land Tenure in Sonora and Puebla. *Annals of the Association of American Geographers*. **80**, I. 49-72.
- Liverman, D. 1995. Climate Change Impacts and Vulnerability in Mexico. México ante el Cambio Climático. *Memorias del Segundo Taller de Estudio de País: México*. Cuernavaca, Mor. México. 113 - 127.
- Lynn R.J. y J.J. Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.* **92**. XII. 12947-12966.
- Lluch-Belda D., F.J. Magallón y R.A. Schwartzlose, 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. *CalCOFI Rep.* **27**. 136-140.
- Lluch-Belda D., S. Hernández-Vázquez, D.B. Lluch-Cota, C.A. Salinas-Zavala, F. Magallón-Barajas y F. de Lachica-Bonilla, 1991. Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el noroeste mexicano. *Ciencia y Desarrollo CONACyT*, México. **17**. XCVIII. 79-88.
- Lluch-Belda D., S.E. Lluch-Cota, D.B. Lluch-Cota y S. Hernández-Vázquez, 1998. La variabilidad oceánica interanual y su impacto sobre las pesquerías. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* **49** (en prensa).
- Lluch-Cota D.B., C.A. Salinas-Zavala, P. del Monte-Luna y D. Lluch-Belda, 1995. El Niño y la Pesca en el Noroeste de México. *Oceanología*, DGCTM-SEP, México. **4**. VIII. 19-42.
- Lluch-Cota S.E., 1995. Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos en el Golfo de Tehuantepec a partir de imágenes de satélite (CZCS). Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, México, 70 pp.
- Lluch-Cota S.E., S. Alvarez-Borrego, E. Santamaría-del-Angel, F. Müllen-Karger y S. Hernández-Vázquez, 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espaciotemporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas* **23**. III. 329-340.
- Magaña V, and A. Quintanar, 1997: On the use of a general circulation model to study regional climate. *2nd. UNAM-CRAY Supercomputing Conference on Earth Sciences*. Mexico City. June 1997. Ed. Cambridge University Press. 39-48
- Magaña, V. and M. Yanai, 1995: Mixed Rossby-gravity waves triggered by lateral forcing. *J. Atmos. Sci.* **52**, 1473-1486.
- Magaña, V. J.L. Pérez y C. Conde. 1998. El fenómeno de El Niño y la Oscilación del sur y sus impactos en México. *Revista Ciencias*. Julio septiembre **51**. 14-18pp.
- Magaña, V. y J. L. Pérez, 1998a. Variabilidad climática en los mares intra americanos. *Memorias de VIII Congreso de la organización Mexicana de meteorólogos*, A.C., 69 - 72.

- Magaña, V. y J.L. Pérez, 1998: Usos de un modelo de mesoescala en la dinámica atmosférica regional de México. *GEOUNAM*. Vol 5, 1. Oct. 1998, 33-39.
- Magaña, V. y J.L. Pérez, 1998b: Usos de un modelo de mesoescala en la dinámica atmosférica regional de México. *GEOUNAM*. Vol 5, 1. Oct. 1998, 33-39.
- Magaña, V. y T. Morales, 1998: Variabilidad climática y agricultura. *Claridades Agropecuarias*. (junio 1998)
- Magaña, V., J.A. Amador y S. Medina, 1999: The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate*, **12**, 1577-1588.
- Magaña, V., Morales, T., J. L. Pérez y Orozco, S. 1998. El Niño y La Niña en el estado de Tlaxcala. Fundación Produce, A.C., SEMARNAP y CONACYT. Tríptico.
- Mann K.H. y J.R.N. Lazier, 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-Physical interactions in the oceans. Blackwell Science Inc., 2da Ed. 394 pp.
- Martin, D.L. y M.J. Perry. 1994. Minimizing systematic errors from atmospheric multiple scattering and satellite viewing geometry in coastal zone color scanner level IIA imagery. *J. Geophys. Res.* **99**. 7309-7322.
- McGowan, J.A. 1983. El Niño and biological production in the California Current, *Trop. Ocean Atmos. Newsl. Univ. of Miami, Miami, Fla.* **21**, 23pp.
- Mearns, L. 1998. Effects of ENSO on Agriculture. *A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO): Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy Perspectives*. 20 July - 1 August, 1997. Boulder, Colorado, USA.
- Medina, S.. 1997. *Variabilidad Intraestacional en Precipitación en México*. Tesis para obtener el título de físico. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 57 pp.
- Meehl, G. 1982. *Characteristics of surface current flow Inferred from a global ocean currents data set*, *J. Physical Oceanography*, **12**, 538-555.
- Moore, D.W., 1968. Planetary-gravity waves in an equatorial ocean. Ph.D. dissertation, Harvard University, Cambridge, Mass. 227pp.
- Morales T. y V. Magaña., 1999. Unexpected Frosts in Central Mexico During Summer. 11th Conference on Applied Climatology. 10 - 15 January, 1999, Dallas, Texas. Preprints. American Meteorological Society. 262 - 263.
- Morales-Azpeita R., A. Balmori, S. Chávez y I. Rivera, 1997. Distribución y abundancia de *Doscidiscus gigas* en primavera y otoño de 1996 en el Golfo de California. *Res. VI Congr. AIMAC*, Mazatlán, Sinaloa. México. 62 p.
- Mosiño, P. A. 1964: Tiempo superficial y configuraciones del flujo aéreo superior en México. *Geof. Int.* 4(3):117-168. México.
- Mosiño, P. y T. Morales, 1988: Los ciclones tropicales, El Niño y las lluvias en Tacubaya. *Geofis. Int.*, 27, 1, 61-82.
- Mosiño, P.A. 1958: Una clasificación de las configuraciones del flujo aéreo sobre la República Mexicana. *Ing. Hidráulica en México*. Vol. 12 (1), enero-marzo.
- Müller-Karger, F.E., J. J. Walsh, R. H. Evans, y M.B. Meyers. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *J. Geophys. Res.*, **96**. 12645-12665.
- NOAA, 1994: Report to the Nation: El Niño and climate prediction. 24p.
- Norton J., D. McLain, R. Brainard y D. Husby, 1985. The 1982-83 El Niño event off Baja and Alta California and its ocean climate context. En: Wooster W.S. y D.L. Fluharty (Eds.): *El Niño North. Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean*. Seattle WA (U.S.A.): Washington Sea Grant Program, University of Washington. 44-72.

- Odum E.P.. 1953. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia, W.B. Saunders Co. 156 pp.
- Palacio, P.J. , González, L.L., y Macías, M. L. Detección de incendios en México utilizando imágenes AVHRR (temporada 1988). 7- 14pp.
- Pavía, E., y A. Badan, 1998: Lluvias en Baja California. *Geophys. Res. Lett.*
- Peláez, J. y J.A. McGowan. 1986 . Phytoplankton pigment in the California Currents as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.* **31**. 927-950.
- Peixoto, J. P., y A. H. Oort, 1992: *Physics of climate*, Ed. American Institute of Physics. 520 p.
- Peña, B. y J. Ramírez. 1993. *La operación de maíz de alta producción bajo la estrategia del Plan Puebla*. Colegio de Posgraduados. CEICADAR. Chapingo. 72 pp.
- Picaud, J.. 1985. Major dynamics affecting the Eastern Tropical Atlantic and Pacific Oceans. *CalCOFI Rep.* **25**. 41-50.
- Quinn, W. y Neal, V. 1992. The historical record of El Niño events. En: *Climate since A.D. 1500*. Bradley, R., Jones, P. (eds). 623- 648.
- Reding, P.J., 1992: The Central American cold surge: An observational analysis of the deep south-ward penetration of North American cold fronts. M.S. thesis, Dept. of Meteorology, Texas A&M University. 177 pp
- Reynolds R. W. y T. M. Smith. 1994. Improved global sea surface temperature analyses. *J. Climate*. **7**. 929-948.
- Robles Jarero E.G. y J.R. Lara Lara. 1993. Phytoplankton biomass and primary productivity by size classes in the Gulf of Tehuantepec, México. *Journal of Plankton Research*. **12**, XV. 1341-1358.
- Ropelewsky C.F., y M.S. Halpert, 1989: Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, **2**, 268-284.
- Rosenzweig, C. 1994. Maize suffers a sea-change. *Nature*. **370**.175-177.
- Rosquillas, A.H., 1998: Efectos de el fenómeno de El Niño en Tijuana. *Prevención*. **21**, 32-36.
- Ruiz-Luna A.. 1995. Comparación de modelos globales con un modelo empírico para la evaluación de la producción pesquera de la sardina crinuda *Ophistonema* spp. *Ciencias del Mar U.A.S.* **14**. 26-31.
- Rzedowski, J., 1986: *Vegetación de México*. Ed. Limusa. 432pp.
- SAGAR. 1998. *El Impacto del Clima en el Sector Agropecuario*. Ponencia presentada en el Taller de Prevención de Desastres. Mayo de 1998 en Lázaro Cárdenas, Michoacán. México. 14 pp.
- Salinas-Zavala C.A., D. Lluch-Belda, S. Hernández-Vázquez y D.B. Lluch-Cota, 1998. La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. *Atmósfera* **11**. 29-44.
- Salinas-Zavala C.A., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez y D. Lluch-Belda, 1992. Anomalías de precipitación en Baja California Sur durante 1990. Posibles causas. *Atmósfera* **5**, II. 79-93.
- Sánchez, O., 1998: El fenómeno de heladas inesperadas en México. Tesis de Licenciatura en Física. Facultad de Ciencias. UNAM. 23 enero 1998.
- Santamaría del Angel, E.M., S. Alvarez Borrego y F.E. Müller-Karger. 1994b. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.*, **99**. 7423-7431.

- Santamaría del Angel, E.M., S. Alvarez Borrego y F.E. Müller-Karger . 1994a. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.*, **99**. 7411-7421.
- Schaefer M.B., 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* **1**. 27-56.
- Schultz D.M., W.E. Bracken, L.F. Bosart, G.J. Hakim, M.A. Bedrick, M.J. Dickinson y K.R. Tyle, 1997. The 1993 superstorm cold surge: frontal structure, gap flow, and tropical impact. *Monthly Weather Review*, **125**. I. 5-39.
- Schultz, D.M., Bracken, W.E. y Bosart, L.F.,1998: Planetary and Synoptic Scale Signatures Associated with Central American Cold Surges. *Mon. Wea. Rev.* **126**, 5-27.
- Secretaría de Gobernación (SEGOB) 1991, Atlas Nacional de Riesgos, México.
- Secretaría de Gobernación (SEGOB), 1986: "Decreto por el que se aprueban las bases para el establecimiento del Sistema Nacional de Protección Civil y el Programa de Protección Civil que las Mismas contienen", Diario Oficial de la Federación, México, 6 de mayo de 1986.
- Sinclair M., M.J. Tremblay y P. Bernal, 1985. El Niño events and variability in a Pacific Mackerel (*Scomber japonicus*) survival index: Support for Hjort's Second Hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**. 602-608.
- Sud,Y.C., G.K. Walker, J.-H. Kim, G.E. Liston, P.J. Sellers, y W.K.-M.Law, 1996. Biogeophysical Consequences of a tropical deforestation scenario: A GCM simulation study. *J. Climate*, **9**, 3225-3247.
- Suplee, C. 1999. El Niño y la Niña, el círculo vicioso de la naturaleza. *National Geographic*. Marzo **3**. IV. 73-95.
- Sverdrup H.U., M.W. Johnson y R.H. Fleming, 1942. *The Oceans*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1087 pp.
- Tanner J.T., 1966. Effects of population density on growth rates of animal populations. *Ecology*. **47**. 733-745.
- Tegner, M.J. y P.K. Dayton . 1987. El Niño effects on Southern California kelp forest communities. *Adv. Ecol. Res.* **17**. 243-279.
- Tran A.V., J. Hyon, R. Evans, O. Brown y G. Feldman, 1993. Satellite-derived multichannel sea surface temperature and phytoplankton pigment concentration data: A CD-ROM set containing monthly mean distributions for global oceans. USA-NASA-JPL-PODAAC-A001-A005 ver. 1, Jet Propulsion Laboratory. 32 pp.
- Trasviña A. y E.D. Barton, 1997. Los 'Nortes' del Golfo de Tehuantepec: dinámica del océano costero. Capítulo 2 de la Monografía de la Unión Geofísica Mexicana **3**. "La Oceanografía Física en México", 1997.
- Trasviña A., 1991. Offshore wind forcing in a coastal ocean: observations and modelling of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Tesis Doctoral, University of North Wales, Bangor, U.K., 91 pp.
- Trasviña A., E.D. Barton, J. Brown, H.S. Vélez, M. Kosro y R.L. Smith, 1995. Offshore Wind Forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: the asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research, OCEANS*, **100**. X.20649-20663.
- Trenberth, K.E., 1992: *Climate System Modeling*. Cambridge University Press. 788p.

- Trenberth, K.E.. 1997. The definition of El Niño, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **78**. 2771-2777.
- Tribbia J.J., 1991. The rudimentary theory of atmospheric teleconnections associated with ENSO. *En: Glantz M.H., R.K. Waltz y N. Nicholls (Eds). Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impacts.* Cambridge Univ. Press, New York U.S.A. 285-307.
- Valdéz Holguín, J.E. y J.R. Lara Lara. 1987. Productividad Primaria en el Golfo de California Efectos del evento El Niño 1982-1983. *Ciencias Marinas*. **2**. XIII. 34-50.
- Vinogradov, M.E.. 1981. Ecosystems of equatorial upwellings. In: A.R. Longhurst (ed.), *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, New York. 741 pp.
- Waliser, D.E., y C. Gautier, 1993: A Satellite-derived climatology of the ITCZ. *J. Climate*, **6**, 2162-2174.
- Wallace J.M. y D.S. Gutzler, 1981. Teleconnection in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *J. Atmos. Sci.* **109**. 784-812.
- Wallace J.M., 1985. Atmospheric response to equatorial sea-surface temperature anomalies. *En: Wooster S.W. y D.L. Fluharty (Eds.)*, El Niño North: Niño effects in the eastern subarctic ocean. Washington Sea Grant Program, Univ. of Wash., Seattle. 9-21.
- Webster, P.J. 1994: The role of hydrological processes in ocean-atmosphere interactions. *Rev. Of Geophysics.*, **32**, 427-476.
- Whitney, L.D. y J.S. Hobgood, 1997: Relationship between sea surface temperature and maximum intensities of tropical cyclones.
- Wilches, C.G., 1993: La vulnerabilidad global. En Los Desastres no son naturales. , Santa Fe de Bogota., 3er mundo
- Wyrtki K. 1965. Surface Currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Inter. Amer. Trop. Counn. Bull.* **9**. V. 271-303.
- Wooster W.S. y D.L. Fluharty, 1985. El Niño North. Niño effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean. Washington Sea Grant Program, Univ. of Wash., Seattle. 312 pp.
- Wooster W.S.. 1992. King crab dethroned. *En: Glantz M.H. (Ed.) Climate variability, climate change and fisheries.* Cambridge Univ. Press, U.K., 450 pp.
- World Meteorological Organization, 1998. *The Global Climate System Review*, WMO-No.856 , 95p.
- World Meteorological Organization. Enero 1999. *World Climate News*. Climate and Human Health. **14**.
- World Meteorological Organization. Junio 1998. *World Climate News*. El Niño and climate change. **13**.
- Wyrtki K.. 1965. Surface currents of the Eastern Tropical Pacific. Inter-American tropical tuna comission Bulletin. **5**. IX. 63-97.
- Zavala M.S.G.. 1997. Anuario Estadístico de Pesca 1996. Página electrónica SEMARNAP, Subsecretaría de Pesca.
- Zhang, C., 1993: Large-scale variability of atmospheric deep convection in relation to sea surface temperature in the tropics. *J. Climate*, **6**, 1898-1913.