

01060



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“LA DESERTIFICACIÓN RELACIONADA AL
CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

YOLANDA CEDILLO FLORES



ASESORA DE TESIS: M. EN C. ORALIA OROPEZA OROZCO



MÉXICO, D.F.

**POSGRADO EN GEOGRAFÍA
COORDINACIÓN**

2003

f



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACIÓN DISCONTINUA

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero y profundo agradecimiento a la M. en C. Oralia Oropeza Orozco quien me ayudó a elegir el tema y me asesoró en este trabajo. En todo momento sus recomendaciones y observaciones tan acertadas, así como su experiencia, permitieron que el trabajo mejorara en cada etapa de elaboración.

Asimismo, deseo agradecerle sus sabios comentarios y consejos tanto profesionales como personales que me hizo durante el tiempo que me dirigió y que han mejorado ambos aspectos de mi vida.

Gracias por su paciencia.

Al Dr. Jáuregui le doy las gracias por sus sugerencias que fueron de gran valía. Su experiencia, al explicarme los conceptos en términos muy comprensibles, me permitió entender más claramente, varios aspectos del trabajo.

Al Dr. Lorenzo Vázquez Selem le agradezco infinitamente la revisión y sus excelentes observaciones, que contribuyeron a una mejor explicación de gran parte del texto y que enriquecieron el trabajo en gran medida.

A la Maestra en Ciencias, Cecilia Conde, le agradezco los comentarios y sugerencias que fueron muy valiosos para establecer el orden más adecuado a este trabajo. Gracias por la fineza de haber realizado la revisión con sumo detalle.

Al Dr. Mauro Valdés, gracias por las acertadas recomendaciones aportadas que dieron la pauta para establecer un orden más adecuado a este trabajo y para expresar con claridad varias de las ideas.

Aprecio su paciencia en la revisión de este trabajo.

A mi amigo y compañero de la Maestría, Carlos Guadarrama le doy las gracias por su capacitada asistencia y paciencia en la elaboración de algunos mapas, que contribuyó bastante a mejorar la calidad del trabajo.

B

Gracias a mi también amiga y compañera de la Maestría, Guadalupe Matias por su generosa ayuda durante parte de la búsqueda bibliográfica, y los estimulantes comentarios.

De manera especial quiero manifestar que durante la elaboración de este trabajo también contribuyó el apoyo de los investigadores que a continuación menciono, que no sólo con sus consejos y experiencia me alentaron a continuar y finalizar esta etapa de estudios, sino también me facilitaron el espacio y el uso de las instalaciones, durante todo el tiempo de la elaboración de la Tesis, en el Departamento de Física Espacial y Ciencias Planetarias del Instituto de Geofísica.

Con especial agradecimiento, admiración y profundo respeto al Dr. Héctor Pérez de Tejada por permitirme realizar este trabajo; por alentarme, escucharme y aconsejarme en todo momento que me acerqué a pedirle apoyo.

Mi más sincero agradecimiento a la Dra. Xóchitl Blanco Cano también por permitirme continuar haciendo uso de las instalaciones para finalizar mi tesis, por su apoyo para el acceso a los servicios de la Biblioteca del Instituto de Geofísica y por haberme permitido continuar aprendiendo y escribiendo artículos de Divulgación de la Ciencia en el Boletín Skylab. Gracias por su apreciable amistad.

Al Dr. Juan Américo González le estoy agradecida infinitamente por su apoyo incondicional y entusiasta, por considerarme siempre como estudiante de este Departamento, así como por darme la oportunidad de conocer y comprender un poco el desarrollo del gran Proyecto del Radiotelescopio lo cual, seguramente contribuirá a mantener mi interés por el aprendizaje de otras áreas de la ciencia. Con gran respeto le doy gracias por brindarme su amistad.

Con gratitud al Dr. Héctor Durand Manterola, también por su apoyo incondicional y a quien siempre le estaré agradecida por haberme invitado a realizar mi tesis de Licenciatura en el Departamento de Física Espacial y por estimularme a continuar estudios de posgrado.

C

No quiero dejar de mencionar a los amigos y compañeros del Departamento mencionado, quienes siempre me mostraron su apoyo y ayuda en todos los momentos que se los solicité, no sólo en el ámbito profesional sino también en momentos de mi vida personal. Gracias por los agradables momentos que compartimos. (Gilberto, Thomas, Armando, Raúl, Ernestos, Jonathan, Mario, Verónica etc).

Hago extensivo mi agradecimiento al Instituto de Geofísica por el uso de las instalaciones, al personal de las Bibliotecas de los Institutos de Geofísica y Geografía que a lo largo de la elaboración de mi tesis, me mostraron un gran apoyo en la búsqueda del material bibliográfico, siempre con amabilidad y gran experiencia.

DEDICATORIAS

A los investigadores que integran el Jurado de Tesis.

Fue un privilegio realizar este trabajo bajo su supervisión.

E

A mi familia

Gracias

F

Con profundo respeto y admiración, hago una dedicatoria especial a la memoria de la Dra. Silvia Bravo[†] del Departamento de Física Espacial y Ciencias Planetarias del Instituto de Geofísica, por haberme dado la oportunidad de elaborar mi trabajo de Tesis en este Departamento, así como por permitirme colaborar en la Divulgación de las Ciencias Planetarias. No olvido sus sabias recomendaciones y consejos.

ÍNDICE

	página
Índice	ii
Lista de cuadros	iv
Lista de figuras	v
Lista de tablas	vi
Introducción	vii
CAPÍTULO 1 MARCO CONCEPTUAL DE LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CONTEXTO MUNDIAL.....	1
1.1 Marco conceptual.....	1
1.2 Causas de la desertificación.....	8
1.3 Consecuencias o efectos de la desertificación.....	14
1.4 Cambio Climático.....	18
1.4.1 Impactos del cambio climático y variabilidad climática global.....	32
1.5 Relaciones desertificación-clima, clima-desertificación.....	39
CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS ÁRIDAS Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA DESERTIFICACIÓN EN MÉXICO.....	50
2.1 Definición, características generales y distribución de las zonas áridas de México.....	50
2.1.1 Principales causas naturales que originan las zonas áridas en México.....	50
2.1.2 Características y distribución de las zonas áridas de México.....	53
2.2 Breve evolución histórica de la desertificación en México.....	60
CAPÍTULO 3 CAUSAS ANTROPOGÉNICAS Y EFECTOS DE LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO.....	74
3.1 Emisión de CO ₂ y otros gases de efecto invernadero.....	75
3.2 Cambio de uso del suelo y degradación de la cubierta vegetal (Deforestación).....	76
3.3 Sobrepoblación y urbanización (políticas de estado que afectan al medio ambiente).....	80
3.4 Explotación de los recursos.....	84
3.5 Uso inadecuado de tecnología.....	87
3.6 Salinización.....	87

CAPÍTULO 4 CAUSAS NATURALES Y EFECTOS DE LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO.....	90
4.1 Erosión hídrica.....	90
4.2 Erosión eólica.....	91
4.3 Salinización y sodificación.....	92
4.4 Cambio climático, variabilidad climática y sus manifestaciones.....	93
4.4.1. Disponibilidad de agua.....	94
4.4.2 Ecosistemas forestales.....	96
4.4.3 Eventos El Niño, sequías, incendios, lluvias torrenciales y eventos extremos.....	98
4.4.4. Cambio del nivel medio del mar.....	108
4.4.5. Retroceso de los glaciares.....	109
4.4.6. Eventos extremos.....	112
4.5 Erupciones volcánicas.....	113
CAPÍTULO 5 ACCIONES PARA ENFRENTAR Y MITIGAR LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO.....	115
5.1 Acciones para enfrentar y mitigar la desertificación.....	115
5.2 Acciones para mitigar las altas emisiones de CO ₂	121
CONCLUSIONES.....	124
ANEXO.....	128
BIBLIOGRAFÍA.....	133

Lista de cuadros

Cuadro	página
1.1 Crecimiento de la población humana y su impacto global.....	8
1.2 Causas naturales y antrópicas de la desertificación según siete fuentes.....	12
2.1 Clasificación de los tipos y subtipos de degradación del suelo	72
4.1 Correspondencia de los tipos de vegetación, según J. Rzedowski con la clasificación climática de E. García, en México.....	98
4.2 Relación entre algunos de los eventos El Niño y los efectos adversos en las actividades agrícolas en México.....	101

Lista de figuras

Figura	página
1.1	Mapa mundial de vegetación en las tierras secas.....5
1.2	Actividades que degradan la tierra..... 13
(2a)	Tala excesiva de los bosques, uso de maquinaria pesada y pastoreo excesivo..... 13
(2.b)	La quema inducida de vegetación..... 13
1.3	Degradación de las tierras por procesos naturales y actividades humanas..... 17
1.4	Ciclo Global del CO ₂ 24
1.5	Ciclo del carbono, alterado..... 26
1.6	Ciclo del carbono sin alterar..... 26
1.7	Incremento en la concentración del CO ₂ 27
1.8.	Algunos gases de origen antropogénico que contribuyen al efecto invernadero..... 29
1.9	Efectos de El Niño relacionados con otros eventos..... 35
1.10	Algunos de los impactos climáticos asociados al evento El Niño 1982-83..... 37
1.11	Incremento de la temperatura media global..... 39
1.12	Relación de la desertificación y el cambio climático..... 49
2.1	Distribución de las zonas áridas y subhúmedas secas de México..... 57
2.2.	Crecimiento de población en México (1910-2,000)..... 64
2.3	Desertificación global de la República Mexicana..... 69
3.1	Efecto de la población sobre el medio ambiente..... 81
3.2	Localización de Valle de Ojos Negros..... 85
4.1	Zonas vulnerables a la oscilación del nivel medio del mar..... 108

Lista de tablas

Tabla	página
1.1	Desertificación en áreas de riego dentro de las tierras secas del mundo, por continente y en miles de hectáreas.....6
1.2	Principales gases de invernadero cuya concentración está aumentando en la atmósfera como consecuencia de diversas actividades humanas.....28
1.3	Concentración de CO ₂ para el siglo actual, según algunos escenarios climáticos.....29
2.1	Porcentaje de la superficie de las zonas áridas del país con base en cinco criterios de aridez.....52
2.2.	Temperatura y precipitación correspondientes a algunas estaciones climatológicas que representan a cada zona climática.....55
2.3	Porcentaje de las Zonas Áridas en México.....58
2.4	Crecimiento de población en México (1910-2,000).....63
2.5	Superficies y niveles de erosión hídrica por estados.....67
2.6	Porcentaje de la superficie afectada por los procesos de degradación del suelo.....71
3.1	Principales usos del suelo en México.....78
3.2	Cambios en el uso del suelo.....79
3.3	Distribución de la población total en las zonas áridas.....82
3.4	Distribución de la población mayor a 2 500 habitantes en las zonas áridas...83
4.1	Número de incendios y superficie afectada.....106
4.2	Superficie afectada por los incendios, por tipo de vegetación.....106
4.3	Áreas y vegetación vulnerable al ascenso del nivel del mar.....109

INTRODUCCIÓN

La desertificación y el cambio climático son fenómenos que se han manifestado, de manera natural durante gran parte de la historia de La Tierra. Sus efectos, junto con los de otros fenómenos naturales, han contribuido a crear y modificar el paisaje terrestre en lapsos de tiempo generalmente de cientos, miles y millones de años. Ambos fenómenos interaccionan entre ellos y con otros, desencadenando procesos que en numerosos casos, actúan como causa y efecto tanto de la desertificación como del cambio climático.

Éstos han estado presentes en diferentes etapas geológicas y su impacto ha sido muy evidente, pero la Tierra ha tenido suficiente tiempo para activar una "regeneración"; sin embargo con la aparición de la especie humana, las necesidades de provisión de alimento y los asentamientos humanos trajeron consigo que el medio ambiente se alterara de manera más acelerada. Con el aumento de la población, las regiones aptas para la agricultura se han deteriorado y en muchos casos han quedado improductivas. El desarrollo industrial que ha sido benéfico por mucho tiempo, también se ha tornado nocivo para las condiciones climáticas.

Es por ello que la importancia de estos fenómenos radica en el nexo que existe con la actividad antrópica, por lo que actualmente no constituyen un problema únicamente *natural* sino también *social*.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis documental para determinar la relación que existe entre la desertificación y el cambio climático en México.

Por otro lado, los objetivos particulares son los siguientes:

- Definir el proceso de la desertificación y del cambio climático.
- Establecer las causas y efectos de la desertificación y del cambio climático
- Analizar las principales relaciones de la desertificación y el cambio climático.

Con este trabajo de carácter documental se pretende conocer el tema de manera general a escala mundial y en particular, con respecto a nuestro país.

Dado que es un tema de investigación y estudio relativamente nuevo (en el caso de la desertificación), aún están en discusión científica la definición o aplicación de algunos términos utilizados en la literatura. Un ejemplo es el mismo término *desertificación* cuya definición ha estado evolucionando desde el inicio de su uso en el año 1949.

Algunos autores utilizan indistintamente *desertificación* y *degradación de las tierras*, por lo que es pertinente mencionar que la desertificación se refiere a la destrucción progresiva o degradación de las tierras dedicadas a la agricultura, correspondientes a tres zonas climáticas: árida semiárida y subhúmeda seca. En cambio, el término *degradación de tierras* involucra a todas las áreas climáticas y se aplica a áreas degradadas que pueden convertirse en desierto e igualmente las causas pueden ser naturales y antropogénicas.

Por eso, al parecer, el término *degradación de tierras* tiende a ser el más adecuado, por lo que posiblemente el uso del término *desertificación* irá cayendo en desuso. No obstante lo anterior, en este trabajo de tesis ambos se utilizarán como sinónimos.

De igual manera la aplicación de los términos Cambio Climático y Variabilidad Climática son utilizados como sinónimos; sin embargo, tienen connotaciones con diferentes enfoques, por lo que se ha prestado a ciertas confusiones. En este estudio no se consideran como sinónimos.

Con respecto a la bibliografía disponible para México en relación a la desertificación y el cambio climático, puede considerarse escasa ya que los trabajos relacionados con este tema son principalmente de carácter regional. En muchos casos no están enfocados directamente al tema de estudio, sino a temas afines por lo que se ha procedido a relacionarlos con el tema central.

Debido a la magnitud y complejidad del problema, este trabajo se enfocó a plantear los aspectos generales de la desertificación y el cambio climático a escala mundial, y particularmente su efecto en México. Es por ello que la exposición de este tema suministra un marco adecuado para el conocimiento del tema *desertificación* que como se dijo, es un tanto reciente, ya que hasta mediados del siglo pasado se hablaba de *desertización* principalmente (término aplicado a regiones que se convierten en desiertos por causas naturales). Aunado a esto, se expone el efecto que tiene la desertificación en el cambio climático global y local y este mismo sobre la primera.

En el capítulo 1 se citan las definiciones de los términos desertificación y cambio climático, para evitar que su uso pueda generar confusiones. También se citan las causas y consecuencias de la desertificación haciendo referencia al evento de continuas sequías (fenómeno considerado como detonador de la desertificación) sucedido en el norte del continente africano en el año de 1968, a partir del cual se comenzaron a tomar acciones para mitigar el daño causado en el medio ambiente y en la población. Asimismo, se exponen las causas naturales y antropogénicas y consecuencias del cambio climático.

Con base a la bibliografía consultada sobre el cambio climático cabe hacer énfasis en que el término se ha conceptualizado con diferentes enfoques por varios autores. Sin embargo aquí se utilizará según la definición dada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

El cambio climático es un evento que se relaciona con alteraciones de varios fenómenos, llamadas variabilidades climáticas, como pueden ser alteraciones en las precipitaciones, temperaturas o en fenómenos como la sequía o El Niño. Estas variabilidades naturales se han presentado a lo largo de la existencia de La Tierra y muchas de ellas son conocidas debido a registros de hielo y sedimentos obtenidos de los océanos, o continentes. Algunos estudios se remontan a las variabilidades y cambios climáticos sucedidos a lo largo de la Era Cuaternaria, pero en este trabajo sólo se citan algunos de los estudios que involucran lapsos de tiempo muy cortos, de décadas o cientos de años.

En el capítulo 2 se destacan las características principales y la distribución de las zonas áridas, así como las causas que las originan en México. La situación geográfica del país determina las condiciones naturales de las zonas áridas las cuales presentan alto potencial de evapotranspiración, altas temperaturas, escasa precipitación, entre otras características atmosféricas. Razón por lo cual son vulnerables a los procesos de desertificación y cambio climático. Además, en algunas de estas zonas se presentan los porcentajes más altos de desertificación, y en muchos casos, coinciden con los sitios donde hay mayor concentración de población.

También se hace una breve reseña de la evolución histórica de la desertificación, desde la etapa prehispánica hasta la época actual, lo que permite reconocer que gran parte del país se encuentra con diferentes grados de degradación de los suelos.

En la parte final del capítulo se citan diferentes estudios mediante los que se ha evaluado el deterioro de los suelos por erosión natural y antrópica.

El capítulo 3 aborda las causas antropogénicas de la desertificación y el cambio climático y su impacto a escala regional, en las zonas áridas de México.

Aquí se destaca, el impacto que tienen las actividades humanas en las zonas áridas y se analizan los procesos que contribuyen al desarrollo de la desertificación y el cambio climático entre los que pueden citarse: la sobrepoblación, la deforestación, los cambios de uso del suelo, emisión de gases de invernadero, entre otros, mismos que no actúan de manera aislada sino que de entrelazan de manera compleja.

En el capítulo 4 se exponen las causas naturales de la desertificación y el cambio climático, así como sus efectos que se manifiestan en las zonas áridas de México.

Se observa que los dos fenómenos involucran procesos que se interrelacionan y que con frecuencia actúan de manera bidireccional o multidireccional.

En el caso de la desertificación por causas naturales, generalmente su acción es lenta, por lo que sus efectos no son evidentes a tiempo para combatirlos y no es posible tomar medidas de control o prevención. Destacan entre estas causas, la erosión eólica, la erosión hídrica y la salinización.

Por otro lado, las causas naturales generadas por el cambio climático también originan desertificación, entre éstas pueden citarse la variabilidad climática que comprende alteraciones en la precipitación, o temperatura, efectos del fenómeno El Niño y efectos de los eventos extremos.

Dado que las causas señaladas son determinantes en el impacto que producen sobre el medio ambiente, se citan algunos escenarios climáticos enfocados a México.

Finalmente en el capítulo 5 se mencionan algunas acciones para enfrentar o mitigar el efecto de la desertificación y el cambio climático, mismas que se emprenden o que forman parte de proyectos de instituciones gubernamentales y privadas.

En la parte última de este capítulo se hace referencia a las prácticas más frecuentes de conservación de suelos que se realizan en el país, a escala local.

CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL DE LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CONTEXTO MUNDIAL.

Durante la historia geológica de nuestro planeta han sucedido innumerables fenómenos que lo han ido modificando. Estos cambios han quedado registrados en las rocas y denotan en su mayoría cambios producidos lentamente, en miles o millones de años y otros producidos en menos tiempo. Con la aparición del hombre los cambios han sucedido a escalas de tiempo menor, de decenas de miles de años, y en etapas muy recientes, sólo han bastado décadas para que los cambios sean notorios.

El aumento de la población mundial, el desarrollo tecnológico y por lo tanto sus necesidades de supervivencia han traído como consecuencia que diversos fenómenos naturales se acrecenten y tengan un impacto adverso para la población.

Uno de estos fenómenos es la desertificación que se origina por procesos naturales y por las actividades humanas principalmente en zonas vulnerables a éste.

A su vez, la desertificación está asociada a numerosos fenómenos por lo que su estudio es muy complejo.

Entre los factores y procesos naturales que contribuyen a la existencia de la desertificación están los climas y las regiones climáticas, la erosión hídrica, la erosión eólica y la sequía, que acelera el desgaste de los suelos, principalmente los agrícolas. En el caso de las actividades humanas (deforestación, sobrepastoreo, ganadería, asentamientos humanos, sobreexplotación de recursos naturales) que generan este proceso, son muy distintas y varían según el país, el tipo de sociedad, la estrategia de aprovechamiento de la tierra y de utilización del espacio y las tecnologías empleadas.

En este capítulo se enmarcan los principales conceptos de la desertificación y el cambio climático, se señalan los principales procesos que se involucran en el desarrollo de estos fenómenos y se establecen las relaciones entre ellos.

1.1 Marco conceptual

La palabra *desertificación* es de origen aparentemente francés pero con raíces claramente latinas. Este término comenzó a utilizarse formalmente desde 1972, por la Asamblea General de las Naciones Unidas durante la Conferencia sobre el Medio Ambiente Humano, en Estocolmo Suecia (World Atlas of Desertification, 1997). Desde entonces su

definición se ha modificado a través del tiempo. Tan sólo Mainguet (citado en Veyret-Mekdjian, 2001) ha registrado 108 definiciones de la desertificación, lo que hace muy discutible las cifras que se manejan oficialmente a escala mundial (25 a 30% de la superficie de los continentes afectados).

Cabe aclarar que también existe el término de *desertización*, utilizado por muchos países de habla hispana y definido por dicha asamblea como el "incremento de los desiertos por causas naturales, principalmente cambios climáticos a muy largo plazo", pero la desertificación tiene un contexto más amplio ya que se refiere a la disminución o la destrucción del potencial biológico de la tierra que puede llevar a condiciones desérticas por origen natural y por actividades humanas (Medellin, 1978). No obstante lo anterior algunos autores manejan indistintamente ambos términos (World Atlas of Desertification, 1997). Sin entrar en controversias semánticas o conceptuales, en esta investigación sólo se usará el término desertificación, mismo que se define más adelante.

El término comenzó a utilizarse a mediados del siglo pasado por el botánico y ecólogo francés Aubréville, quien lo empleó por vez primera para referirse a la sustitución del bosque tropical por una sabana secundaria y matorral en aquellas partes de Africa donde el bosque estaba siendo talado y quemado para incrementar la tierra agrícola (Aubreville 1949, citado en Williams y Balling, 1996). Los autores contemporáneos a Aubréville también estudiaron el fenómeno e identificaron algunas causas de la degradación de las tierras que son resultado de la actividad humana así como algunas consecuencias de la erosión de los suelos y cambios en la cantidad agua-suelo y en el ciclo hidrológico en esas regiones.

Años después (1977), en la conferencia sobre Desertificación de las Naciones Unidas se definió de esta manera: "La disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra lo cual conduciría definitivamente a la formación de condiciones similares a los desiertos" (Oropeza y Alfaro, 1994).

Otra definición es la de Reining (citado por Mondragón, 1993): "una forma de deterioro de los ecosistemas debido a la presión ejercida por los sistemas antropogénicos".

Por último, la definición más reciente, aceptada en el consenso internacional, se determinó en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en Brasil, 1992. "*Es la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores entre los cuales figuran las variaciones climáticas y las actividades humanas*" (Oropeza y Alfaro, 1994).

En estas definiciones se han excluido las zonas hiperáridas o extremadamente áridas debido a que no son aptas para las actividades agrícolas ni para habitat de las plantas. No son aptas directa, ni indirectamente para la producción alimentaria. Una excepción son las tierras de riego que están dentro de las zonas hiperáridas, como el caso del Valle del Nilo, en Egipto (Dregne y Chou, 1992) o el delta del río Colorado.

De acuerdo a la definición más reciente, son dos aspectos relevantes los que están vinculados al fenómeno. Uno es la degradación de las tierras y el otro es la variabilidad y el cambio climático, que se origina por el efecto de invernadero.

La *degradación de las tierras*, particularmente las tierras secas, se refiere a la reducción de la productividad biológica en los ecosistemas de las zonas mencionadas, incluyendo pastizales y matorrales, la agricultura de riego y la de temporal, como un resultado de una aceleración de ciertos procesos físicos, químicos y biológicos. Cabe señalar que la desertificación es mas bien uno de los numerosos procesos de la degradación de tierras. Al respecto Pagiola, 1999 (citado en Stocking, 2001) menciona que el término desertificación está cayendo en desuso y tiende a desaparecer (Conacher, 2001) principalmente por dos razones:

- a) La vaguedad e imprecisión de la definición del término y,
- b) La controversia que crea el término, pues tal parece que el mayor impacto emocional que sugiere es el imaginarlo como el avance de las dunas de arena y si esto debería describirse como el fenómeno real.

No obstante lo anterior, en este trabajo se utiliza el término desertificación aplicándolo como indica la definición, exclusivamente a las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas y no sólo como el avance de las dunas del desierto hacia su periferia, sino como una serie de procesos complejos.

Por *cambio climático* se entiende las alteraciones que tiene el clima y que se pueden manifestar en periodos de decenas, cientos, o miles de años, inclusive. La variabilidad climática se manifiesta a escalas interanuales.

La importancia del estudio de los tipos de tierras secas, radica en que, en gran parte del mundo, son utilizadas para la agricultura. Estas tierras se encuentran en regiones climáticas con diferentes características, como son los niveles bajos de precipitación. Por ello han sido divididas en: regiones hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Comúnmente estas zonas que ya presentan efectos de la desertificación, se encuentran rodeando a los desiertos y están en continua expansión (Williams y Balling, 1996).

De estas regiones, las áridas se caracterizan por tener suelos muy vulnerables, debido, entre otras razones, a la baja disponibilidad de agua. La formación de suelos es lenta así como su recuperación y se tornan susceptibles de ser afectados por otros procesos erosivos (GEO 2000). Esto limita el desarrollo de la vegetación, como se verá más adelante.

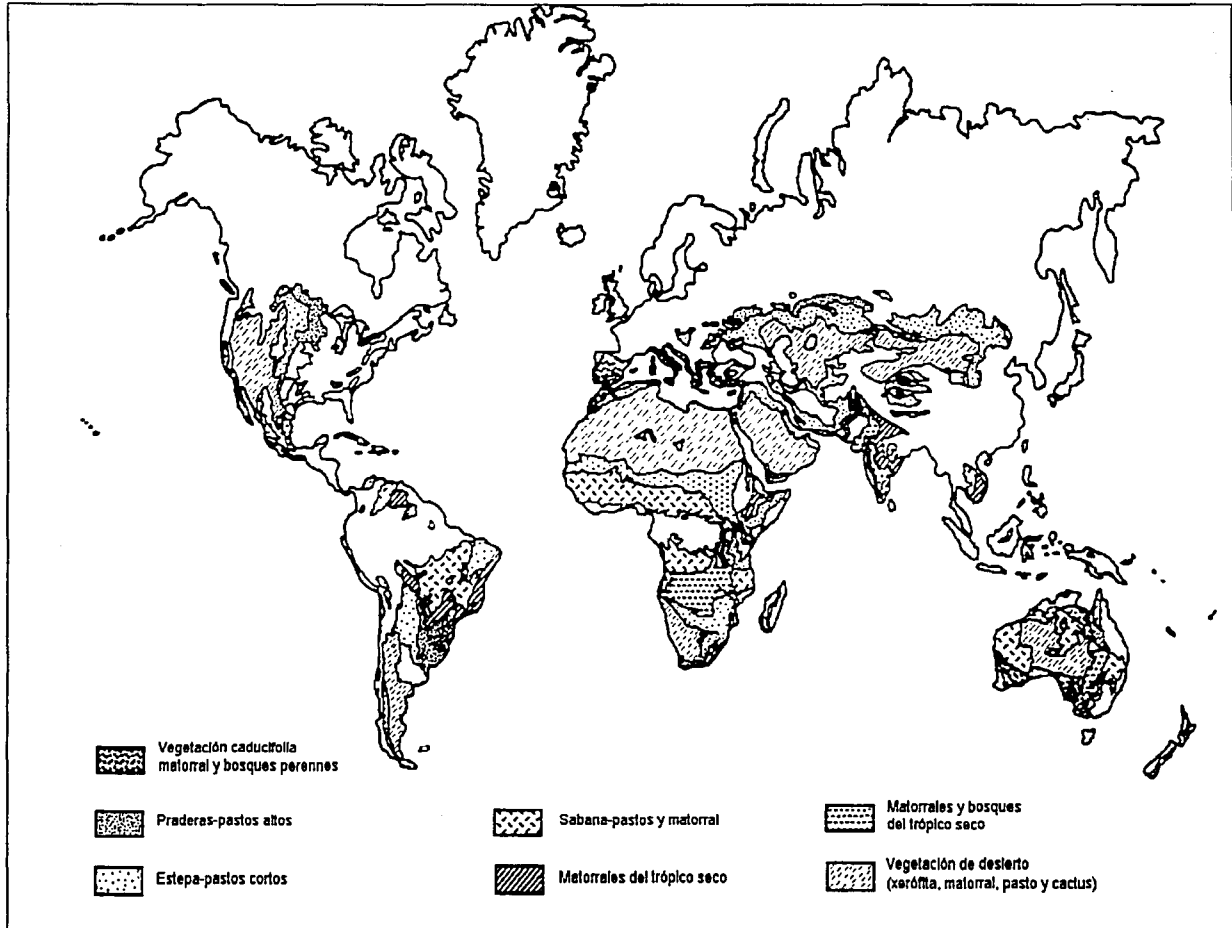
Debido a que las tierras áridas (situadas en zonas climáticas con bajos niveles de precipitación) son muy utilizadas para prácticas agrícolas, es muy importante conocer la distribución mundial de la vegetación en dichas tierras que son las más afectadas por los procesos de degradación (Figura 1.1). Dentro de estas tierras secas existen tres formas dominantes del uso del suelo y de la cobertura de la tierra que son las siguientes:

- Tierras de pastizales y matorrales

- Tierras de temporal

- Tierras de riego

Figura 1.1 Mapa mundial de vegetación en las tierras secas.



Fuente: Modificado de Williams y Balling, 1996.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La siguiente tabla ejemplifica el grado de desertificación en general que afecta a las tierras secas con agricultura de riego en el mundo:

Tabla 1.1 Desertificación en áreas de riego dentro de las tierras secas del mundo, por continente y en miles de hectáreas.

Continente	Total de tierra de riego en hectáreas	GRADO DE DESERTIFICACIÓN					
		Ligera a moderada	Moderada	Severa (1)	Muy severa (2)	Total moderada +(1) y (2)	Desertificada (%)
Africa	10, 424	8,522	1,779	122	1	1,902	18
Asia	92, 021	60,208	24,335	5,788	1,690	31,813	35
Australia	1,870	1,620	100	130	20	250	13
Europa	11,898	9,993	1,340	460	105	1,905	16
N. América	20, 867	15,007	4,930	730	200	5,860	28
S. América	8,415	6,998	1,047	310	60	1,417	17
Total	145,495	102,348	33,531	7,540	2,076	43,147	30

El porcentaje desertificado se considera = al total moderado + (1) y (2)/el total de tierra de riego.

Fuente: UNEP 1992^a; según de Dregne *et al.* 1991.

Los datos de la Tabla 1.1 muestran que el continente asiático es el que tiene mayor porcentaje de desertificación, con intensidad variable, por lo que está clasificada en 4 categorías (ligera, moderada, severa y muy severa) con base en el impacto que tiene la degradación respecto al impacto económico en las tierras agrícolas (Dregne, 1985; Dregne y Chou, 1992).

En general, las clases de degradación ligera, moderada y severa son reversibles, pero la clase muy severa no puede ser rehabilitada económicamente (Dregne y Chou 1992). A esta última clase pertenecen áreas de los continentes Asiático y en América, México es uno de los países subdesarrollados y con numerosa población en donde también se ve en graves situaciones para hacer frente al fenómeno, que en algunos casos llega a ser irreversible.

Según datos recientes, el 70% de todas las tierras secas, en el mundo, dedicadas a la agricultura tienen algún grado de degradación especialmente en términos de suelos y cubierta de vegetal.

Casi el 30% de tierras secas utilizadas para la agricultura de riego, sufren uno o más tipos de degradación, como las inundaciones, o la salinización.

Respecto a la pérdida anual de tierras con pastizales y matorrales, no es posible hacer una estimación confiable debido a que algunos procesos de degradación involucrados no han sido incluidos en tal estimación: entre ellos pueden estar la movilización de dunas de arena y la expansión de áreas urbanas sobre las antiguas tierras arbustivas (Williams y Balling, 1996).

A escala mundial, la población afectada directamente por los procesos de degradación de las tierras secas asciende a 200 millones de personas e indirectamente más de 700 millones (Williams y Balling, 1996) están afectadas o en riesgo de repercusiones por esos procesos que impactan tanto a países desarrollados como subdesarrollados, pero estos últimos son los que tienen menos posibilidades de luchar contra estos fenómenos debido a diversas causas naturales y de índole social, cultural y económica (Mouat, 1995; GEO 2000).

Hasta ahora no es posible dar una estimación confiable global de todas las formas de desertificación, aunque existen evidencias de la degradación de suelos en las tierras secas del mundo. Puede afirmarse que el nivel de degradación de los ecosistemas de estas tierras sólo está parcialmente entendido (Williams y Balling, 1996), lo cual dificulta su evaluación.

Pese a ello, se conoce lo suficiente como para saber que la desertificación ha aumentado de manera acelerada durante los últimos 20 años y que los ecosistemas de las regiones subhúmedas secas (cuyos rangos de precipitación varían entre 750 a 1500 mm) se están viendo fuertemente afectados. Aunado a esto, se espera que debido al aumento de la población, que juega un papel determinante, también aumente el número de ésta que se vea perjudicada, (Mortimore, 1993). En el Cuadro 1.1 se muestra el crecimiento de la población y su impacto en el medio ambiente durante diversas etapas de la humanidad.

Cuando la población mundial era menor a mil millones, el impacto de sus actividades en el medio no era relevante. Pero a partir de su incremento hasta los dos mil millones, ya se manifestaron los impactos del fuego, la deforestación y la erosión del suelo acelerada. Posteriormente el daño al medio ambiente ha sido continuo y más intenso.

Cuadro 1.1- Crecimiento de la población humana y su impacto global

<i>Impacto global en el medio ambiente</i>	<i>Población (en millones)</i>	<i>Época en que se afectó el medio ambiente</i>
Desertificación	5 mil	1988
Diversidad de especies reducida		
Contaminación del aire	4 mil	1978
Contaminación del agua		
Salinización		
Erosión del suelo acelerada	2 mil	1930
Deforestación		
Fuego	1 mil	1850
	500	300
	100	5 000 A.C.
	5	10 000 A.C.

Fuente: Modificado de Williams y Balling, 1996.

Según la opinión de GEO 2000 respecto a las tierras agrícolas, se afirma que teóricamente *"la tierra cultivable del planeta es suficiente para alimentar tanto a la población actual como a la futura, sin embargo la distribución de los suelos más aptos no coincide con la distribución demográfica mundial"*.

Al parecer esto podría generar debates ya que como se observa en el cuadro 1.1. los valores de crecimiento demográfico indican que la población está aumentando de manera muy acelerada, sobre todo en los países subdesarrollados, y no parece posible que en el futuro, los recursos sean suficientes para abastecer a la vasta población. Aunque paralelamente a este aumento demográfico se busquen y se apliquen nuevas técnicas de cultivos, o se encuentren recursos alternos, aún es incierto si la humanidad alcanzará autosuficiencia en cuestión alimentaria.

1.2 Causas de la desertificación

Las *causas de la desertificación* como se cita en la definición, se deben principalmente a factores, *naturales* y *humanos*, los que con frecuencia se manifiestan conjuntamente.

Los factores naturales no actúan aisladamente ni al mismo tiempo, y en ocasiones dan lugar a otros; Le Houérou (1994) cita como principales: *el clima, el relieve, el estado del suelo y de la vegetación natural*.

Dentro del clima existen eventos extremos y persistentes como la *sequía*, que ocurre en casi todos los regímenes climáticos (World Meteorological Organization -WMO-, 1997), y es considerada como un detonador de la desertificación, por lo que se le cita como el más relevante.

La *topografía* interviene básicamente como una agravante de la erosión hídrica y por tanto en las modificaciones del relieve.

El estado del *suelo*, en el que están implicados la textura, la estructura y la química, entre otros aspectos constituye un factor principal de la desertificación (Le Houérou, 1994).

Los factores humanos que desencadenan los procesos de desertificación son numerosos y complejos, algunos investigadores como Williams y Balling (1996) u Ortiz *et al.* (1994) citan las principales causas, de acuerdo al enfoque de las investigaciones. Por ejemplo Ortiz *et al.* (1994), hacen énfasis en que el impacto antrópico sobre la degradación de la tierra se debe a la falta de educación, al uso irracional de los recursos y la falta de concientización, aspectos que se presentan principalmente en los países subdesarrollados.

Por su parte, desde la perspectiva de Winckler (1993) destaca como factores más importantes que influyen en la desertificación, los siguientes:

- El desarrollo de la población. Por ejemplo, la tasa de crecimiento del Sub-Sahara se ha incrementado de 2.7% a 3.1% entre los años 1965-1980. Los factores que han contribuido al incremento de la desertificación son: la pobreza y la consecuente degradación del medio ambiente, la baja producción agrícola, la demanda de mano de obra, el rol de la mujer y su participación cada vez más activa en las labores agrícolas, la falta de acceso que tiene la mujer a la educación y los recursos.
- Factores climáticos, como valores extremos de la precipitación y sequías prolongadas que dificultan el desarrollo de prácticas alternativas y tradicionales de uso de la tierra.
- Causas estructurales como la economía nacional e internacional adversa.

Otros autores como Le Houérou (1994), *Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México* (PACD, 1993) y Oropeza y Alfaro (1994), coinciden en señalar entre diversas causas, la sobreexplotación de los recursos naturales.

Sumadas a las causas anteriores, Williams y Balling (1996), el PACD (1994) y Zonn y Orlovski (1987), Thomas y Middleton (1994) citan también: el sobrepastoreo, las inundaciones, la salinización, las sequías, el agotamiento de las corrientes y los cuerpos de agua, el uso inadecuado de tecnologías, la construcción de caminos, trabajos de exploración geológica, extracción de minerales y obras civiles y de irrigación.

Todos estos factores pueden actuar en diferentes combinaciones o de manera independiente, baste con describir la siguiente correlación referida al sobrepastoreo.

El sobrepastoreo sucede cuando el ganado consume más biomasa vegetal que la que puede incrementarse durante un año (disminución de la productividad vegetal). Además los animales afectan directamente las plantas y la capa superficial del suelo. El exceso en la capacidad de carga de los pastizales ocasiona la disminución o desaparición gradual de valiosas plantas forrajeras y la sustitución por especies poco o no palatables. Por una parte, el continuo apisonamiento del suelo por el ganado y la remoción de los pastos provoca numerosos efectos como la disminución de la infiltración, aumento del escurrimiento superficial y a su vez, la disminución de la humedad; así, se incrementa la erosión hídrica. Por otra parte, la falta de humedad en los pastos produce la xerofitización de la vegetación, la disminución de la capa forrajera, y el desarrollo de la erosión del suelo; a su vez esta erosión repercute reduciendo la producción de los pastos, y se reduce también su superficie ya que se abandonan los terrenos que se convierten en tierras estériles (Zonn y Orlovski, 1987).

Para el PACD (1994) las causas antropogénicas son las relacionadas con la pobreza y subdesarrollo, así como las resultantes de tecnologías modernas para la producción agropecuaria.

Bullock (1995) y Le Houérou (1996) también coinciden en que las causas directas de la desertificación son las acciones humanas, particularmente la deforestación y los cultivos intensivos.

Con el desarrollo de las sociedades, la tecnología y las guerras, se están generando nuevas formas de desertificación, al respecto Zonn y Orlovski (1987) mencionan que una causa grave de este proceso son las operaciones militares. En la actualidad aún es frecuente observar las huellas que han dejado los conflictos bélicos. En los terrenos de El Alamein y Bir KhaKeim todavía se observan los carriles de los tanques que operaban en la Segunda Guerra Mundial, numerosas especies vegetales que crecían ahí no se han restablecido. En la Península del Sinaí y en la frontera Irán-Irak también surgieron áreas desertificadas.

Aunado a lo anterior, las pruebas de proyectiles de guerra que generan contaminación grave para la atmósfera y los materiales radioactivos causan destrucción en grandes áreas del desierto (cientos o miles de hectáreas). El uso de gran cantidad de proyectiles durante una guerra puede liquidar la vegetación, causar grave erosión del suelo y por esto la recuperación ecológica en tales territorios sería muy lenta.

Las armas químicas y biológicas también provocan consecuencias ecológicas muy severas y procesos de desertificación irreversibles. Por ejemplo el NAPALM y los defoliadores.

Cabe señalar que algunas causas de la desertificación, también pueden considerarse como consecuencias, ya que algunas pueden originar nuevamente un proceso que actúe como *causa*, tal es el caso de la destrucción o la remoción de la cubierta vegetativa y de la salinización de los suelos.

El Cuadro 1.2 muestra diversas causas, naturales y antrópicas de la desertificación, según varios autores. Lo que se puede apreciar es que las diferentes causas no se contraponen, más bien se complementan y a la vez, esto es un reflejo de la gran complejidad que representa el análisis de la desertificación.

En la Figura 1.2 se muestran diversas actividades humanas que causan la degradación de la tierra, como (2a) la tala excesiva de los bosques para obtener madera y combustible; el uso de maquinaria pesada que destruye la vegetación, el pastoreo excesivo que también va eliminando la cubierta vegetal; (2b) la quema de vegetación para fines agrícolas y expansión de la población.

Cuadro 1.2 Causas naturales y antrópicas de la desertificación, según varias fuentes.

Causas de la desertificación	A U T O R E S						
	Escala mundial			Escala nacional			
	DREGNE 1992	LE HOUEROU 1994	WILLIAMS Y BALLING 1996	MEDELLIN -LEAL 1978	PACD 1993	OROPEZA Y ALFARO 1994	SEMARNAP 1999
Agotamiento de corrientes y cuerpos de agua superficiales y subterráneos.						X	
Deforestación							X
Expansión de los campos de dunas y arenas marinas.		X	X				
Fluctuación en el nivel freático							X
Fenómenos atmosféricos como sequías, heladas, granizadas y tormentas Incendios forestales			X			X	X
Incremento de la presión sobre las tierras de cultivo de temporal		X				X	
Inundaciones	X	X			X		X
Salinización y sodización	X	X	X				X
Propagación del lirio acuático							X
Erosión acelerada por viento y agua	X						
Degradación de la cubierta vegetal	X					X	
Abuso de pesticidas fertilizantes y detergentes				X			
Asentamientos humanos sobre suelos fértiles						X	
Depósito de desechos urbanos e industriales en ecosistemas aledaños y lejanos a asentamientos humanos.			X			X	X
Desarrollo incontrolable del turismo		X					
Desmante de la tierra que no es apropiada para los cultivos de temporal.		X			X		
Deterioro de zonas por tipos sofisticados de entretenimiento y diversión.				X			
Deterioro de zonas por el uso inapropiado de vehículos automotores						X	
Inadecuada tenencia de la tierra				X			
Sobrecultivación		X					X
Sobreexplotación de los recursos naturales		X		X		X	X
Sobrepastoreo continuo		X					X
Urbanización y desarrollo de los sistemas de comunicación		X					
Uso inadecuado de tecnologías en zonas agrícolas.				X	X	X	
Pérdida de control al emplear el fuego para ciertas labores agrícolas y pecuarias.						X	
Mal manejo y abandono de tierras agrícolas							X

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 1.2 Actividades que degradan la tierra.

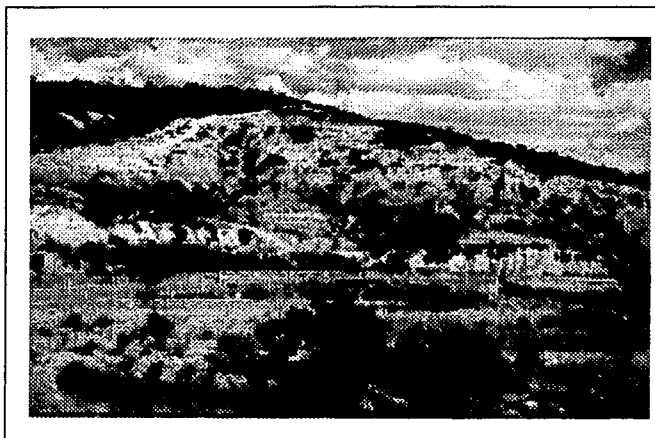


Figura (2a)

- Tala excesiva de los bosques para obtener madera y combustible.
- Uso de maquinaria pesada que destruye la vegetación.
- Pastoreo excesivo que también va eliminando la cubierta vegetal. (Estado de Oaxaca. Cortesía Oralía Oropeza).

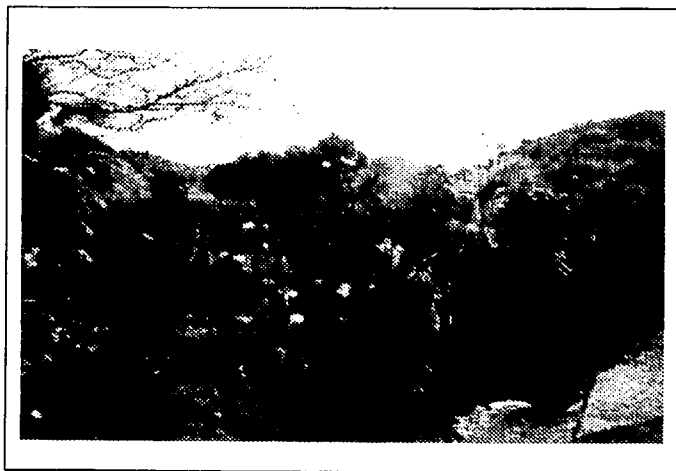


Figura (2b)

- La quema inducida de vegetación para preparar el suelo con fines agrícolas. (Estado de Oaxaca. Cortesía Oralía Oropeza).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3 CONSECUENCIAS O EFECTOS DE LA DESERTIFICACIÓN

Son diversas las consecuencias del fenómeno y como se señaló antes, éstas pueden volver a actuar como causas; a continuación se destacan algunas de ellas:

- *Erosión acelerada del suelo.* Puede originarse por agua o por viento y dejar expuesto el subsuelo o roca. Cuando la erosión es producida por agua se denomina *hídrica* y está asociada a la remoción del suelo de las tierras en declive lo que genera erosión laminar o sea el desgaste de la capa de suelo arable por impacto de la lluvia. Cuando la *erosión hídrica* es severa, se forman surcos, cárcavas profundas y movimientos masivos de terrenos, que suceden en tres etapas que son: a) el desprendimiento del suelo en partículas individuales, b) transporte de las partículas de suelo y c) depositación de las mismas (Ortiz et al; 1994; PACD, 1994). Este tipo de erosión disminuye la productividad de los suelos agrícolas, en algunas ocasiones hasta en un 100%.

La erosión eólica es producida por el viento al desprenderse partículas del suelo. Ocurre preferentemente en zonas áridas y semiáridas con suelo seco y suelto con poca o sin vegetación, en donde actúa el viento lo suficientemente fuerte para mover las partículas del mismo y una gran extensión de terreno. En las zonas húmedas puede ocurrir en áreas con lluvias estacionales cuando la vegetación es escasa o no existe (Ortiz et al, 1994; PACD, 1994).

- *Destrucción/remoción de la cubierta vegetativa.* Debido a incendios naturales o inducidos, a sobrecultivos que desgastan los suelos, a la tala de vegetación como especies madereras, o para combustible, o forraje para uso ganadero.
- *Salinización del suelo asociada con la pérdida de vegetación.* Los suelos se tornan improductivos. El mal drenaje también provoca la reducción de la infiltración y permeabilidad y se acumulan las sales.
- *Inundación y salinización asociada a las tierras de riego.*
- *Compactación y encostramiento de los suelos provocando una disminución de infiltración y aumentando del escurrimiento.*
- *Alcalinización de los suelos.*

- *Alteración de los microclimas.* Debido a la destrucción de la cubierta vegetal, al enfriamiento o calentamiento de la atmósfera, debido al aumento de la superficie del albedo y por lo tanto al incremento de la evapotranspiración.
- *Disminución de la fertilidad del suelo y de rendimientos agrícola.* Por el mal uso de agroquímicos, por inundaciones y baja precipitación.
- *Disminución de la diversidad biológica*
- *Empobrecimiento, migración rural y deterioro de la calidad de vida de la población.*

(Dregne y Chou, 1992, Dregne, 1995, Oropeza y Alfaro, 1997, Williams y Balling, 1996)

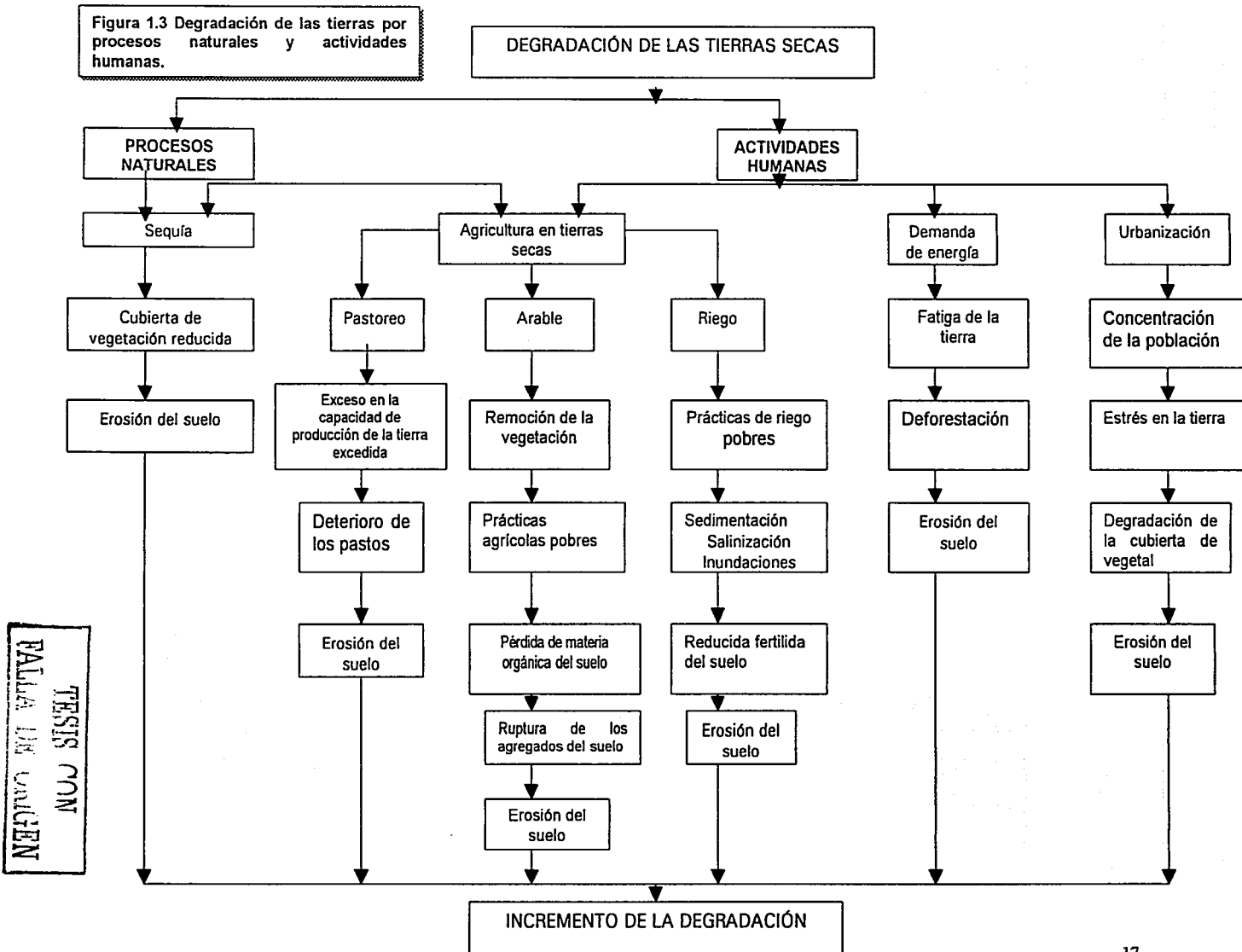
En la Figura 1.3 se aprecia que la degradación de las tierras es originada por procesos naturales y por actividades humanas. Los primeros son desencadenados por las sequías que llegan a provocar la erosión del suelo y en consecuencia a disminuir la capa de vegetación.

El pastoreo aunque en ocasiones estimula el crecimiento de las plantas, se torna perjudicial cuando la presión sobre el suelo, se excede. Por ejemplo en casos donde el ganado se concentra alrededor de un cuerpo de agua, los pastizales son destruidos en un radio aproximado de 5 o 6 kilómetros (Zonn y Orlovski, 1987).

Por su parte, el cultivo intensivo también genera degradación de los suelos ya que al aumentar la población se requieren áreas más extensas para la agricultura; por ejemplo, aunado al aumento en la extensión, está la baja precipitación pluvial que en algunas regiones del norte de África (Egipto, Libia, Túnez, Argelia y Marruecos) ,World Atlas of Desertification, 1997, es de 150 a 250 mm anuales y donde la población se ve en la necesidad de continuar cultivando sin opción de mejorar las condiciones agrícolas. En consecuencia, los suelos se van deteriorando, manifestándose en la pérdida de materia orgánica, y fertilidad reducida, por mencionar algunos procesos, que finalmente generan la erosión de ellos y se produce un incremento de la degradación que afecta a las tierras secas, formándose así un ciclo (Williams y Balling, 1996; Coronato y Bertiller, 1996). Un ejemplo de esto es el caso sucedido en 1998 en el estado de Chiapas, México, cuando la tormenta tropical *Javier* provocó que el material erosionado de las partes altas se depositara en los valles y se produjo sedimentación y anegamiento quedando cubiertas amplias extensiones de terrenos de cultivo con la consecuente pérdida de la fertilidad y la mortandad de árboles frutales. Algunos datos sobre estos desastres fueron reportados por las fuentes: Reins:

Suiza, Lloyds Cas Wk, IFRC y Us Gov:NOAA. (EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database 2003).

Figura 1.3 Degradación de las tierras por procesos naturales y actividades humanas.



1.4 CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, la definición de clima citada en la Guía de Prácticas de Climatología" (Linés, 1990) es la siguiente:

"*Clima* es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un período suficientemente largo en un dominio espacial determinado"

A su vez, el *cambio climático*, según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático es un fenómeno que se refiere a cualquier cambio en el clima en un lapso de tiempo relativamente largo (IPCC, 2001), que puede ser, por ejemplo hasta de 10 años, debido a una variabilidad natural o como un resultado de la actividad humana.

Hasta hace algunas décadas se pensaba que los cambios climáticos globales y regionales a gran escala ocurrían de manera gradual y a escalas de tiempo de muchos siglos o milenios (Adams *et al.* 1999), sin embargo diferentes investigaciones enfocadas al comportamiento del clima durante la era Cuaternaria, durante el periodo Holoceno (entre 10 000 y 100) y el último milenio, han revelado que ha habido cambios abruptos o alteraciones a escalas variables de tiempo; algunos cambios se presentan a escalas de miles de años o de entre 3 y 100 años (Adams *et al.* 1999; Loockwood, 2001; Stocker, 1999; Overpeck y Wegg, 2000; Mann, 2001).

En este trabajo se utilizará la definición del IPCC que es la más aceptada actualmente. Sin embargo a continuación se exponen algunas definiciones de varios autores con la finalidad de mostrar la controversia que ha existido para llegar a una definición única.

Los términos *cambio climático*, *variación climática*, *fluctuación climática* y *variabilidad climática* con frecuencia se han usado indistintamente en la literatura (Jaúregui, 1997) Sin embargo, para algunos autores existen diferencias tanto espaciales como temporales. Aunque para otros es de uso común el término *cambio* o *cambios climáticos* para referirse a cualquiera de las inconsistencias climáticas en diversas escalas de tiempo.

Barring (1993) revisó numerosas definiciones al respecto y concluyó que la incompatibilidad de definiciones produce diferencias considerables en el uso actual de los términos dependiendo del contexto y autor. Asegura que posiblemente esto no represente un problema dentro del ámbito científico, pero pueden surgir dificultades cuando la información climatológica es interpretada por personas no especialistas, por ejemplo en un contexto socioeconómico o político.

La diferencia entre los términos *cambio climático*, *variación climática* *fluctuación climática* y *variabilidad climática* todavía es confusa. Diversos autores los han definido de diversas maneras. Las terminologías revisadas por Barring (1993) en su artículo son las utilizadas dentro de la estructura de algunos de los principales programas relacionados al clima.

El término *inconsistencia climática* se utiliza de manera general para indicar *cualquier cambio climático*, *variación*, *fluctuación* etc., sin considerar el patrón de escalas de tiempo, naturaleza de la fuerza o si ésta es externa o interna al sistema del clima.

Asimismo, algunos términos para describir las inconsistencias climáticas están basados en el lenguaje coloquial. En otros no se considera la escala del tiempo ni el término *variabilidad climática*. Esto junto con otros aspectos ha generado una problemática que fue reportada desde 1963 por el Grupo de Trabajo sobre Fluctuaciones Climáticas de la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés) y en 1966, por Mitchell *et al.*, en Barring, 1993.

Debido a la complejidad que involucra el uso de estos términos, a continuación sólo se señalan algunas propuestas de terminologías, citadas en Barring (1993), a fin de ejemplificar la diversidad de criterios:

Mitchell *et al.* (1966) sugirieron una terminología para especificar la escala de tiempo de un cambio climático, donde ellos denotan que las inconsistencias climáticas de una duración menor de 10 años deben considerarse como una "variabilidad muy rápida para ser considerada como cambio climático".

Otra terminología sugerida por Nas (1975) está basada en la idea de dividir las inconsistencias climáticas relacionadas a fuerzas internas o externas del sistema climático. El autor define los siguientes términos: "estado climático" (climate state) como el promedio durante un periodo medio de meses a décadas; "variación climática" como la diferencia entre estados climáticos, "cambio climático" en sentido general y a la vez como sinónimo de *variación climática*, "anomalía climática" que es la desviación de un estado climático particular de la media de numerosos estados climáticos y finalmente, "variabilidad climática" que corresponde a la varianza entre un número de estados climáticos.

Landberg, (1976) propuso una terminología dividida de acuerdo a la escala de tiempo y a sus causas físicas:

Revolución climática (> 10⁶ años)

Cambio climático (10⁴ – 10⁶ años)

Fluctuación climática ($10^1 - 10^4$ años)

Interacción climática (< 10 años)

Alteración climática (10-? años)

Los cuatro primeros los relacionan a causas naturales y el último a causas antropogénicas. Esta terminología no fue aceptada ampliamente y no fue consistente con la revisión hecha en la Conferencia de la Desertificación de las Naciones Unidas (UNCOD) en 1977. Hare, (1983), se refirió a ésta como arbitraria pero necesaria y aportó variantes tales como el *ruido climático*, aunque tampoco ha sido ampliamente aceptado.

Más adelante, en 1990 el reporte del Grupo de Trabajo del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ofrece la siguiente interpretación: "las fluctuaciones del clima ocurren a muchas escalas como resultado de procesos naturales; con frecuencia esto se refiere como una *variabilidad climática* natural. El *cambio climático* usado en este reporte es el que puede ocurrir durante el próximo siglo como resultado de las actividades humanas."

Barring (1993), finaliza su revisión considerando que existen algunos peligros por el uso de estas terminologías inconsistentes. No obstante, al no haber aun definiciones aceptadas definitivamente, parece natural que los investigadores usen varias terminologías.

También el *cambio climático* ha llegado a ser sinónimo del impacto debido al incremento del efecto de invernadero (particularmente por "quema de combustibles fósiles") y tiene connotaciones asociadas a: "calentamiento global" y a la "elevación del nivel del mar".

Dentro de varios programas de investigación se han realizado intentos para definir toda esta terminología, pero en muchos casos ha resultado contradictorio.

El uso de estos términos en la literatura sobre México, ha sido revisado por Jaúregui (1997) quien señala que los diversos enfoques referidos a las inconsistencias climáticas incluyen diversas escalas de tiempo, desde las paleoclimáticas hasta las que utilizan datos históricos. Asimismo, refiere que el término *cambio climático* se usa para indicar las inconsistencias climáticas causadas principalmente por el calentamiento global del planeta, debido al efecto de invernadero, y *variabilidad climática* es un término que comúnmente se enfoca a las inconsistencias debidas a las fluctuaciones de temperatura y precipitación pluvial.

Con base a lo anterior, en este trabajo los términos se utilizarán según lo referido en Jaúregui (1997).

Así el cambio climático es un fenómeno que puede originarse por variaciones a escala global como las glaciaciones o por actividad volcánica intensa, por mencionar

algunos. En la actualidad una manifestación muy evidente de la alteración climática, es el *calentamiento global del planeta*, debido al aumento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como *gases de efecto invernadero* o *gases de invernadero*, ya que quedan en suspensión en la atmósfera, sin permitir que el calor de la superficie de la Tierra escape, alterando la temperatura y creándose así un incremento en el efecto invernadero que afecta a los ecosistemas. A su vez entre las manifestaciones de este calentamiento se reconocen las *variaciones de temperatura y precipitación*, así como *cambios en el nivel de los océanos, desplazamiento de las zonas áridas y de los glaciares* (Michaels y Balling, 2001).

Con respecto a la temperatura, según los datos climáticos de los últimos 100 años, muestran un incremento del orden de 0.4 a 0.5°C (IPCC, 2001; Ortega-Ramírez, 1994); por otra parte, desde el año 1979, satélites y sondas meteorológicas han registrado datos, indicando que la temperatura media global se incrementó entre 0.15 y 0.05°C en las regiones tropicales y subtropicales, debido principalmente a la emisión de gases de invernadero de origen antrópico (IPCC, 2001; Suplee, 1998).

Respecto a la precipitación, se han observado cambios en el patrón de distribución temporal y espacial, así como la intensificación de fenómenos extremos, entre los que pueden citarse los ciclones y las sequías (IPCC, 2001).

Los cambios en el nivel del mar se manifiestan en un ascenso de éste entre 0.1 y 0.2 metros durante el siglo XX. Por otro lado, se ha detectado el movimiento de las bandas climáticas esto es, por ejemplo, que las regiones con clima templado ahora son más cálidas y las regiones de desiertos se han extendido, tal como lo reportan Bryson y Baerreis, 1967 (citado en Sagan *et al* 1983). Para el desierto de Rajasthán que hace miles de años fue asentamiento de la civilización del Valle de la India y era una región relativamente árida pero mucho más húmeda de lo que actualmente es. Esto se debe a la "carencia de lluvia causada por el descenso de la atmósfera, determinado por el enfriamiento irradiado por el polvo suspendido, lo que a su vez es causado por la ausencia de vegetación debida al sobrepastoreo".

Junto con las primeras, parte de la vegetación se ha adaptado a un clima diferente. Los glaciares también experimentan retroceso en su área y en algunos casos se ha reportado su desaparición total (IPCC, 2001).

Existe también un retroceso importante en la cubierta de hielo en el polo norte. Los estudios reportados hasta el año 2000 indicaron que ésta cubierta ha disminuido casi un 40% desde hace 20 o 40 años y posiblemente los hielos perpetuos del océano Ártico se están reduciendo un 7% cada década. Estos valores son resultado de algunos estudios realizados desde el año 1978, mediante el monitoreo con satélites, y en la década de los 90 por datos obtenidos de submarinos norteamericanos, durante 5 cruceros realizados por el Ártico para comparar el grosor de los hielos, con datos obtenidos en años anteriores (Goss, 2000).

Las estimaciones que se realizaron para evaluar las evidencias respecto a la temperatura, precipitación, cambios en el nivel del mar y retrocesos de los casquetes glaciares tienen un nivel de confiabilidad entre 66 y 90%, según la clasificación citada en el *3er Reporte del Grupo de Trabajo No.1 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático* (IPCC por sus siglas en inglés).

Asimismo se reporta que el actual calentamiento global no puede ser explicado por actividad volcánica o por incremento de la radiación solar (IPCC, 2001), como podría especularse, pues estos fenómenos tienen repercusiones relativamente breves como para considerar su influencia.

Al citar los gases de invernadero, cabe señalar que el vapor de agua es el gas de origen natural que actúa mayormente como gas de invernadero y que de hecho es el que ha mantenido una temperatura "adecuada" en la Tierra, para el desarrollo de la vida (Michaels y Balling, 2001). Pero en este trabajo se citan únicamente los gases de invernadero de origen antropogénico por ser los que contribuyen a acelerar el calentamiento global, entre los que destaca el bióxido de carbono (CO_2) por ser el de más altas emisiones (Williams y Balling, 1996; Rosenfeld *et al*, 2000; IPCC, 2001; Gay y Estrada, 2001). Otros gases importantes son: el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3), el bióxido de azufre (SO_2), Programa Nacional de Acción Climática, (1999).

En la década de los 90 se realizaron estudios y se desarrollaron modelos con los que se puede predecir el comportamiento del clima en el futuro. Estos indican que el aumento de la temperatura a escala planetaria, puede afectar la precipitación y la velocidad del viento, incrementando las posibilidades de eventos climáticos como las tormentas y las precipitaciones torrenciales, los ciclones y las sequías (GEO 2000). Es un hecho que los gases de invernadero mencionados están aumentando la temperatura de la atmósfera del planeta, pero también se han detectado otros tipos de moléculas que están siendo

inyectadas a la atmósfera, son los clorofluorocarbonos (CFC's), que además de ser gases de invernadero, tienen efectos devastadores por destruir la capa de ozono, protectora de la radiación ultravioleta (Sagan, 1996). Estas moléculas forman parte de productos y desechos de la tecnología contemporánea y aunque la cantidad de ellos se ha ido reduciendo, su efecto ya representa un gran peligro al haber dañado la capa de ozono en la atmósfera (Sagan, 1996; Michaels y Balling, 2000).

Con estas alteraciones atmosféricas, el comportamiento de algunos elementos climáticos tiene efectos severos en los ecosistemas terrestres. Entre los elementos cambiantes más importantes en la actualidad están: *la concentración atmosférica de CO₂, la precipitación, la humedad del aire, la temperatura y la radiación solar*. Probablemente causen transformaciones muy significativas en los ecosistemas terrestres del futuro (Kirschaum, 1995):

Concentración de CO₂. Hasta ahora el CO₂ es el gas que más contribuye al calentamiento atmosférico, debido a que diversas actividades humanas han estado aumentando su concentración en la atmósfera, principalmente desde que comenzó la Revolución Industrial hace casi 200 años (Erickson, 1992; Magaña, 1994).

El CO₂ y otros gases de invernadero han existido en la atmósfera durante gran parte de la evolución de nuestro planeta. Este se encuentra depositado en las capas interiores de la Tierra formando parte del petróleo, en el fondo oceánico contenido en los restos de algunas especies de animales marinos, en los continentes forma parte del suelo y de la vegetación ya que ésta lo utiliza para realizar la fotosíntesis y, en suspensión en la atmósfera. Este gas cumple un ciclo en la naturaleza, conocido como el *ciclo del carbono* (Figura. 1.4). El CO₂ es liberado hacia la atmósfera mediante la respiración de la vegetación, por la emisión de los suelos desprotegidos de la capa vegetal, y por erupciones volcánicas (Erickson, 1992).

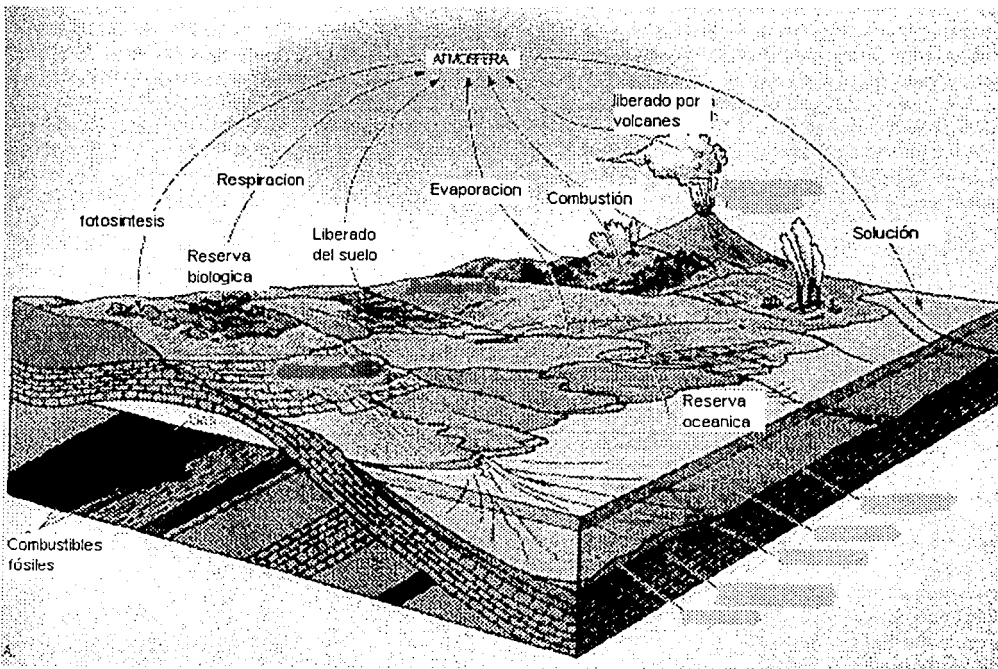
Regresa a la superficie mediante la captura o secuestro al ser absorbido principalmente por los bosques. También ingresa al océano por acción del oleaje, después de ser depositado en las profundidades oceánicas como las zonas abisales, llega a formar parte de las capas que se encuentran en la zona de subducción donde se producen fenómenos volcánicos, y por erupción volcánica, nuevamente es liberado hacia la atmósfera (Erickson, 1992; Murck *et al*, 1997).

El CO_2 también actúa como fertilizante en las plantas; en menor grado en las plantas como el maíz y en mayor grado en las plantas como el trigo.

Dicho ciclo se había mantenido en equilibrio ya que siempre la naturaleza había tenido el tiempo suficiente para reciclar el CO_2 . Sin embargo, este ciclo se ha ido alterando con las actividades humanas. Desde entonces las actividades antropogénicas han modificado drásticamente el entorno geográfico y entre otros cambios ambientales pueden inducir a un cambio climático (Sagan *et al*, 1983).

Figura 1.4 Ciclo Global del CO_2

El CO_2 se que encuentra en interior de la corteza y sobre la superficie terrestre es liberado hacia la atmósfera mediante erupciones volcánicas, por respiración y combustión de la vegetación. En el fondo oceánico es donde se concentra la mayor parte del bióxido de carbono conteniendo el 60% el total existente en el planeta.



Fuente: Murck *et al*, 1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la Figura 1.5 el CO₂ procedente de la combustión del carbón y el petróleo pueden obstaculizar la irradiación de calor al exterior (al crearse el efecto invernadero y modificar el clima global) y en la Figura 1.6 los bosques fijan el CO₂ mediante la fotosíntesis y lo expulsan por respiración. Las áreas deforestadas solo pueden emitirlo, nunca fijarlo.

Las mediciones respecto a la concentración de CO₂ atmosférico indican que ha aumentado debido a causas antropogénicas de 315 ppm en el año 1957, a 350 ppm en 1988 (Jaramillo, 1994) y en 1997 (Jakosky, 1998) y a 367 ppm en el 2000 (IPCC, 2001). (Un valor de 367 ppm ó partes por millón, por ejemplo, significa que si se tiene una porción de aire con un millón de moléculas, 367 de éstas son moléculas de CO₂).

El valor actual de 367 ppm es el más alto que ha existido en la historia de la humanidad.

La atmósfera actual contiene aproximadamente 700 000 millones de toneladas de carbono y la actividad humana la aumenta en casi 1% anual, es decir que cada año se emiten 7000 millones de toneladas de CO₂ debido a la quema de combustibles fósiles y por la destrucción de bosques (Sagan, 1998; Suplee, 1998) y la mitad de estas emisiones son absorbidas por las plantas terrestres y marinas (Suplee, 1998).

En la Figura 1.7 se aprecia el aumento de este gas durante las últimas décadas. Los datos utilizados para esta gráfica se obtuvieron de un observatorio atmosférico situado en Mauna Loa, Hawaii, en donde no existen grandes concentraciones urbanas ni industriales por lo que no deberían registrarse altos valores del CO₂; sin embargo, este gas es dispersado a distintas latitudes por acción de los vientos (Sagan, 1998).

Figuras 1.5 y 1.6

Figura 1.5. En la Figura 1.5 el CO_2 procedente de la combustión del carbón y el petróleo pueden obstaculizar la irradiación de calor al exterior (al crearse el efecto invernadero y modificar el clima global)

Figura 1.6. Los bosques fijan el bióxido de carbono mediante la fotosíntesis y lo expulsan por respiración. Las áreas desforestadas solo pueden emitirlo, nunca fijarlo.

Figura 1.5 Ciclo del CO_2 alterado

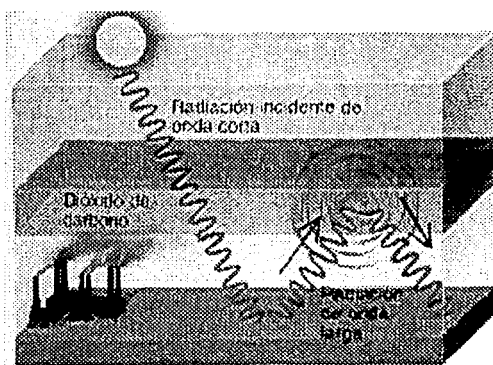
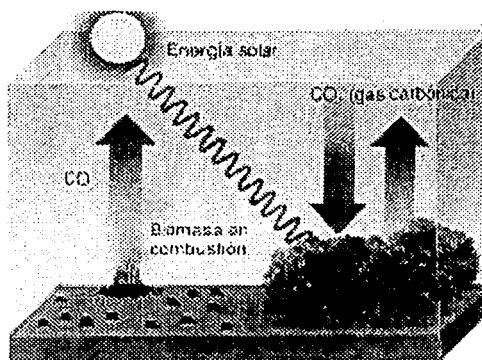


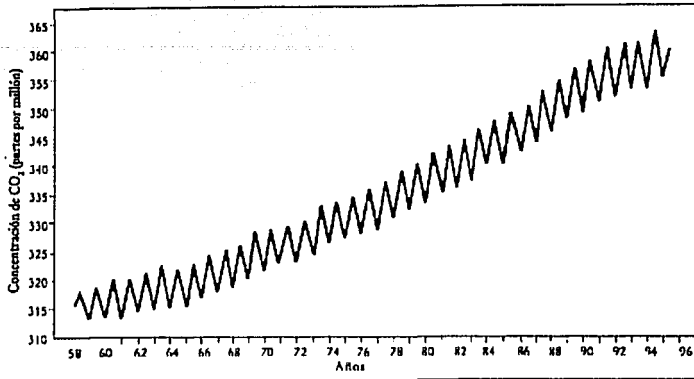
Figura 1.6 Ciclo del CO_2 sin alterar



Fuente: Atlas del Mundo Aguilar, 1994.

TESIS CON
FALLA DE
CONTEN

Figura 1.7. Incremento en la concentración del CO₂.



Se muestra la acelerada concentración del gas CO₂ desde mediados del siglo pasado y a finales del mismo.
Fuente: Sagan, 1998.

TESIS COM
FALLA DE CALIDAD

Las causas del aumento del CO₂ son el uso industrial y doméstico de combustibles que contienen Carbono (petróleo, carbón, gas natural y leña), la deforestación (que provoca la descomposición de la materia orgánica) y la quema de la biomasa vegetal, pero el principal generador actual es el uso persistente e ineficiente de los combustibles fósiles, los cuales han aumentado a una tasa de 4.3 % anual desde la Revolución Industrial.

Estimaciones recientes indican que la deforestación de los bosques tropicales podría contribuir con casi 35 a 50% de dichas emisiones, pero aún existe mucha incertidumbre sobre los flujos de carbono debidos al cambio en el uso de la tierra, sobre todo en los trópicos.

La pérdida de los bosques aumenta la reflectividad de la superficie talada o sea que hay mayor cantidad de radiación solar que es reflejada al espacio. En ocasiones, al disminuir la evaporación del área talada decrece la lluvia, especialmente en las selvas húmedas. Aunado a esto los árboles pueden ser más vulnerables a las epidemias (Sagan *et al*, 1983).

Los principales gases de invernadero de origen antrópico están citados en la Tabla 1.2, se aprecia que tres de ellos permanecen en suspensión en la atmósfera hasta 100 años o más y aunque el CO₂ es el más abundante, ya que representa el 56% de este tipo de

gases, otros como los CFC's, el metano y el óxido nitroso también contribuyen al efecto invernadero (Figura 1.8).

Tabla 1.2 Principales gases de invernadero cuya concentración está aumentando en la atmósfera como consecuencia de diversas actividades humanas.

GAS	ORIGEN	PERMANENCIA EN LA ATMOSFERA
Bióxido de carbono (CO ₂)	Combustibles fósiles Deforestación Quemas	100 años
Metano (CH ₄)	Arroz, Ganado Combustibles fósiles Quemas	10 años
Oxido nitroso (N ₂ O)	Fertilizantes Deforestación Quemas	170 años
Clorofluorocarburos (CFC)	Aerosoles Refrigerantes Espumas	60-100 años

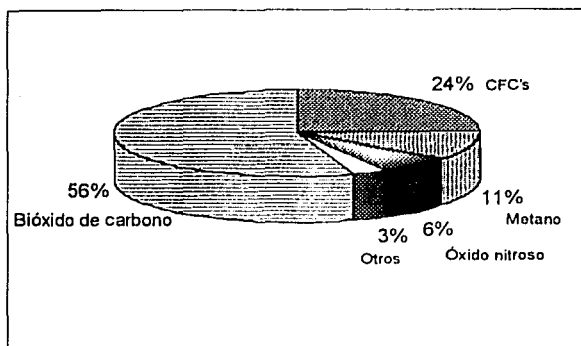
Fuente: Modificada de Graedel y Crutzen, 1989, en Jaramillo, 1994.

El metano (CH₄), aunque permanece menos tiempo en suspensión atmosférica, es 20 o 30 veces más eficaz para absorber la radiación infrarroja, por lo que aun pequeñas cantidades de este gas pueden tener gran efecto (Erickson, 1992). Se calcula que este gas ha causado el 15% del calentamiento en la era actual y es liberado a la atmósfera por diferentes causas como: las bacterias de los arrozales, la basura en descomposición, la cría de ganado y el procesamiento de combustibles fósiles (Suplee, 1998).

En el caso de que la concentración de metano aumentase a mayor velocidad que el CO₂, en el futuro podría tener un papel más importante como gas de invernadero (Erickson, 1992; Pavlov *et al*, 2000).

TESIS CON
FALLA DE CUBRIMIENTO

Figura 1.8. Algunos gases de origen antropogénico que contribuyen al efecto invernadero



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fuente: Modificado de Williams y Balling, 1996.

Nota: Estos autores no especifican el porcentaje de vapor de agua generado por las actividades humanas, mismo que también interviene en el efecto invernadero.

Los datos estimados respecto a la concentración atmosférica del CO₂ para este siglo se han calculado dentro de escenarios climáticos asumiendo entre otros aspectos, los del incremento de población y sus necesidades socioeconómicas; estos datos aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1.3. Concentración de CO₂ para el siglo actual, según algunos escenarios climáticos.

Fecha	Población global (miles de millones)	Concentración de CO ₂ (ppm)	Cambio Global de temperatura (°C)	Elevación global del nivel del mar (cm)
2000	6.1-6.2	367	0.2	2
2050	8.4-11.3	463-623	0.8-2.6	5-32
2100	7.0-15.1	478-1099	1.4-5.8	9-88

Fuente: IPCC, 2001

El uso del carbón se ha diversificado y actualmente más del 85% de las necesidades de energía comercial mundial son cubiertas por combustibles fósiles (Magaña, 1994). Las alternativas a este hecho son otras fuentes de energía que pueden utilizarse para mitigar el cambio de clima, pero solo constituyen una parte de la solución al problema de la concentración de CO₂ por esos combustibles.

Hasta ahora no existe una solución definitiva; aunque la hubiera, los efectos del daño aun permanecerían por 100 años, en parte debido a que el tiempo del reciclado del CO₂ es de 400,000 años (Jakowsky, 1998). Este hecho contribuye a que el CO₂ junto con los otros gases de invernadero constituyan un peligro devastador para la vida y provoquen un cambio climático (Vera, 1998).

En etapas antiguas han existido concentraciones del CO₂ mucho más altas que las actuales, pero sucedieron en periodos de miles de años, mientras que las concentraciones actuales se dan en pocos años (Magaña, 1994).

Los esfuerzos por encontrar soluciones han llevado a la opción del llamado *secuestro del carbón* que se refiere a la búsqueda de reservas para almacenar este elemento, en vez de permitir que se eleve a la atmósfera (Rosenfeld *et al*, 2000). El secuestro de carbón existe de manera natural, es el que absorben árboles, plantas y los océanos.

En la década de los 90 se estudiaron las posibilidades de capturar CO₂ de fuentes estacionarias (como una fábrica química o una planta eléctrica) para inyectarlo en el océano o bajo tierra. Algunos organismos que realizaron los estudios fueron International Energy Agency (IEA), Greenhouse Gas Research and Development Program, así como programas del gobierno y de la industria de varios países.

En octubre de 1996 se puso en marcha un proyecto del secuestro del carbono en los campos de gas natural *Sleipner*, en el Mar del Norte, a casi 240 km de la costa de Noruega, y desde entonces se han inyectado 20 000 toneladas de CO₂, (a través de conductos parecidos a los utilizados para transportar petróleo) en la capa de arenisca, a 1000 metros bajo el lecho marino. El procedimiento es contrario al de bombeo, que se hace para extraer petróleo y gas de las profundidades marinas. El CO₂ se inyecta en el océano bajo la capa termoclina que se localiza aproximadamente entre 100 y 1000 metros de profundidad, en la cual la temperatura disminuye drásticamente con la profundidad, por lo que el agua tiene mayor densidad y el gas inyectado queda atrapado bajo esta capa de agua fría. Para que esta capa se mezcle con el agua superficial pasarían siglos pues asciende muy lentamente. Este gas puede introducirse al mar ya sea disolviéndolo a profundidades de 1000 metros o inyectándolo a 3000 metros para crear un lago de bióxido de carbono.

En otras formaciones geológicas como formaciones acuíferas salinas (también en *Sleipner*), depósitos de gas y petróleo agotados, cavernas, domos de sal explotados, se pueden almacenar cientos o miles de gigatoneladas de carbono.

En algunos proyectos se considera que el bióxido de carbono debe ser capturado con fines comerciales, por ejemplo, para purificar gas natural antes de ser vendido (Herzog *et al*, 2000).

El problema con este tipo de proyectos es el alto costo del equipo utilizado para la captura del bióxido de carbono, por lo que nuevos proyectos necesitarán que tanto el gobierno como la industria cooperen financiando las tecnologías requeridas que puedan ser usadas a gran escala, o bien disponer de una tecnología que reduzca los costos (Herzog *et al*, 2000).

Otra opción para reducir la cantidad de CO₂ es la reforestación, ya que cuando los árboles crecen absorben este elemento de la atmósfera que almacenan como carbón en forma de madera.

Algunas compañías han iniciado las prácticas de reforestación, aforestación (plantación de árboles en suelo no reforestado) y agroforestería (integración de árboles con cultivos agrícolas).

Estas prácticas las han realizado dentro de diversos programas en países como Estados Unidos, Noruega, Brasil, Malasia, Rusia, Australia y Guatemala (Herzog *et al*, 2000), y actualmente en México.

Se ha enfatizado el efecto de este gas en el calentamiento global, porque su efecto también es importante en la degradación de la tierra y por tanto en la desertificación.

La precipitación y la humedad del aire. Determinan la disponibilidad de agua para las plantas. Estas requieren de un ambiente acuoso mayor o menor para efectuar sus procesos de vida. Si el suelo está húmedo las plantas pueden reemplazar el agua transpirada con agua del suelo, pero si continúan extrayendo agua del suelo y ésta no es repuesta por lluvia o riego, el contenido de las plantas disminuye y es dañada la función fisiológica (Hsiao, 1973; Bradford y Hsiao, 1982, citados en IPCC, 1995^a; Harzallah *et al*, 1996).

La temperatura. En la media global se ha elevado por el efecto de los gases de invernadero, incluido el CO₂, los incrementos son mayores principalmente en las latitudes altas y durante el verano e invierno (Gates, *et al.*, 1992, Greco *et al*, 1994, citados en IPCC, (1995a).

En algunos casos el incremento de temperatura puede ser benéfico para el crecimiento de la planta debido a que reduce el daño por enfriamiento, pero en otros casos las temperaturas altas pueden dañarla. Las temperaturas extremas con frecuencia son más importantes en determinar la respuesta de las plantas que las temperaturas promedio.

Por otro lado, si el calentamiento global reduce la frecuencia de temperaturas extremadamente bajas, las plantas pueden sobrevivir a altas latitudes o altitudes y los cultivos agrícolas pueden crecer por periodos largos del año sin ser dañados por las heladas.

La *radiación solar*. Cuando la superficie absorbe gran cantidad de radiación solar se producen cambios en el balance energético, que pueden manifestarse en temperaturas más altas en la superficie y cerca de ésta, y producen mayor evapotranspiración.

Asimismo, las plantas utilizan la energía luminosa y la transforman en energía química sintetizando materia orgánica a partir del CO₂ atmosférico mediante el proceso conocido como fotosíntesis (Enciclopedia Salvat 1999), que es muy importante para mantener el equilibrio de este gas atmosférico; por el contrario, si la cubierta vegetal es escasa la radiación solar es absorbida por la superficie terrestre y no retorna al espacio creándose así un calentamiento en la parte cercana a la superficie.

Los aerosoles son partículas que actúan como parte del sistema climático a través de la absorción y dispersión de la radiación terrestre y solar. Pueden causar calentamiento en la atmósfera pero los efectos climáticos a escala global aún son inciertos (Jennings, 1993). Los aerosoles de origen antropogénico proceden de múltiples fuentes como la industria, la transformación de áreas rurales en regiones denudadas que se convierten en fuentes de polvo permanentes. A pesar de que estas partículas permanecen un corto tiempo (una semana) en la Troposfera, tienen efecto en la reducción de la visibilidad, pueden ser causantes de cambios climáticos ya que su emisión es constante (Galindo, 1983).

1.4.1 Impactos del cambio climático y variabilidad climática global.

Entre las manifestaciones más evidentes que producen cambios climáticos están los fenómenos de variabilidad climática global: la temperatura media global superficial que se ha incrementado durante el siglo XX llegando a valores entre 0.6 y 0.2. La precipitación se ha incrementado entre 0.1 a 1% por década en gran parte de latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio Norte. El calentamiento global debido al aumento de emisiones de los gases tipo invernadero (IPCC, 2001). Otras manifestaciones son las sequías, que repercuten en la agricultura la cual anualmente experimenta variaciones del clima. Igualmente se ve afectado el uso del suelo (por ejemplo la destrucción de los bosques para uso agropecuario, Jaramillo, 1994) y actividades como la ganadería, la pesca, la generación

de energía eléctrica y las comunicaciones. Sumado a esto la salud humana también se ve perjudicada por las condiciones meteorológicas extremas.

Lo anterior también está ligado al fenómeno de la desertificación. Por ello, en la actualidad uno de los retos en el estudio del cambio climático es el de distinguir cuáles de las alteraciones que hoy en día experimente el clima, son de origen natural y cuáles son de origen antrópico (IPCC, 1996, citado en Magaña y Morales, 1999), para mitigar en lo posible los efectos de tales alteraciones.

Los países subdesarrollados son los más perjudicados por los efectos climáticos, debido a su población numerosa y a graves índices de pobreza; los agricultores se ven obligados a cultivar en áreas marginales y vulnerables, en sitios propensos a las inundaciones o pendientes altas y cuando se remueve la vegetación para estos fines los sitios quedan deforestados por lo que se puede provocar, en corto tiempo, el aumento de la escorrentía y la erosión del suelo, avalanchas e inundaciones (GEO, 2000). Así están expuestos a ser impactados por eventos climáticos.

Una de las alteraciones climáticas de origen natural que tiene mayor impacto climático y que actualmente tiene mayor difusión, es el fenómeno "*El Niño Oscilación del Sur*" (ENSO, por sus siglas en inglés), asociado a la variabilidad climática natural, cuyos efectos son evidentes en muchas partes del mundo ya que la interacción del océano con la atmósfera produce variaciones climáticas, inundaciones y calentamiento atmosférico local. Por ejemplo, los registros de temperatura indican que en Bangkok el sobrecalentamiento se ha elevado 1.2°C en los últimos 50 años, en la Antártida los hielos se redujeron 3000 km² en 1998, en algunos lugares la primavera se adelantó una semana con respecto a los 20 años anteriores; los años 1990, 1995 y 1998 han sido los más calientes desde 1400. Los eventos de *El Niño* se presentan con más frecuencia desde la década de los 80 en comparación a los años anteriores y las tormentas y los huracanes son más intensos actualmente (Magaña y Morales, 1999).

La ocurrencia de El Niño también se ha presentado con frecuencia en épocas antiguas; lo cual se determina a partir de estudios realizados en sedimentos, dendrocronología y estudios de las burbujas en el hielo, como es el caso de los eventos El Niño que sucedieron entre los años 1700 y 1750 (Jones et al. 2001).

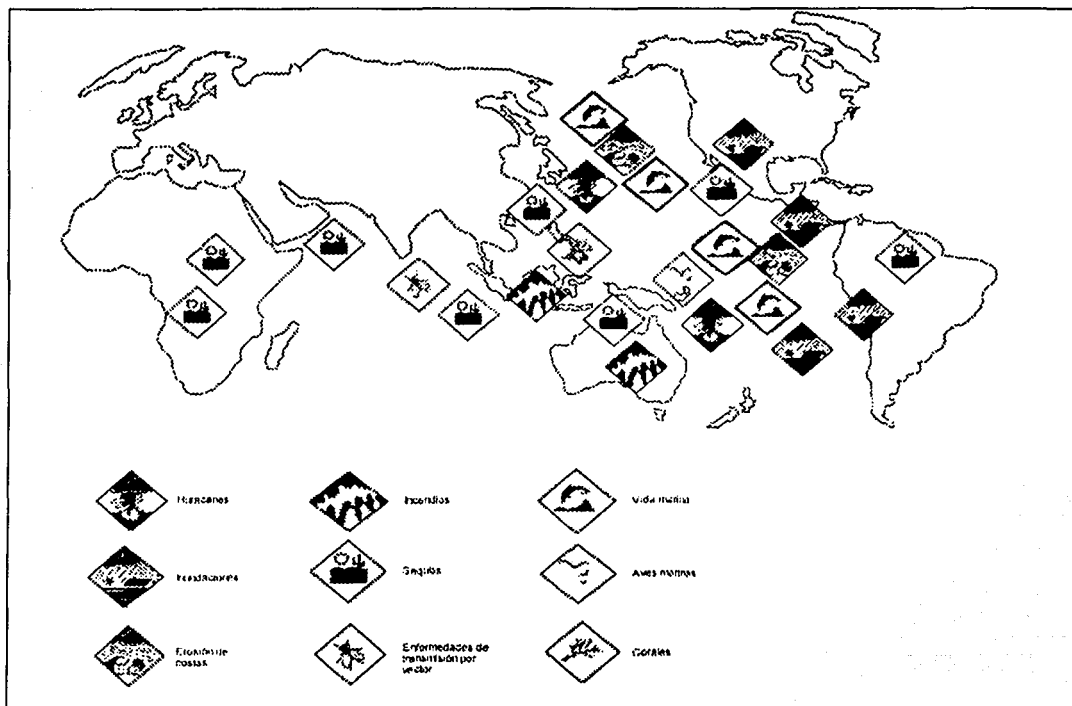
Este fenómeno consiste en oscilaciones extremas de temperatura y precipitación en algunas regiones del mundo y el término que lo identifica es El Niño-Oscilación del Sur (Díaz y Markgraf, 1992, citado en Magaña y Morales, 1999). Las primeras manifestaciones de éste

se apreciaron en los mares del Pacífico tropical del este y el término se originó para nombrar una corriente marina procedente del sur que corría a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, y que se presentaba al aproximarse la época navideña.

La superficie del mar se sobrecalienta entre 0.5°C y 2°C y las corrientes cálidas se extienden a lo largo del Ecuador por efecto de una onda oceánica. Este aumento altera los patrones de convección profunda, la formación de nubes cúmulus de gran altura y con ello el calor que transporta a la atmósfera. El desplazamiento de esta fuente de calor atmosférica (las nubes cúmulus) produce cambios en el clima (WMO, 1999). Cuando se desencadena El Niño los vientos alisios se debilitan y las aguas muy cálidas que suelen viajar al oeste del océano Pacífico, retroceden hacia la costa americana, miles de kilómetros, transportando nubes convectivas y lluvias muy intensas (Vialard y Queno, 1998).

Los efectos de El Niño provocan lluvias torrenciales y concentradas que ponen en grave riesgo la seguridad de la población (principalmente la asentada en las zonas costeras), dañan las tierras de cultivo, perjudican asentamientos humanos e industriales, destruyen obras civiles afectando de manera negativa a varios sectores de la economía regional, Figura 1.9 (Magaña y Morales, 1999).

Figura 1.9 Efectos de El Niño relacionados con otros eventos.



Fuente: Modificado de Magaña y Morales, 1999.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La Figura 1.10 indica las regiones que se vieron afectadas principalmente por sequías, y otros desastres así como algunas de las consecuencias que se presentaron en algunos países, en los distintos continentes asociados al evento El Niño 1982-1983 (Glantz, 1996).

Otro fenómeno de la misma importancia que ENSO es "La Niña", también una anomalía que se presenta en el Pacífico tropical del este, (Magaña y Morales, 1999) se caracteriza por producir efectos contrarios a El Niño, al menos en los trópicos.

Consiste en un enfriamiento periódico de una zona extensa del Océano Pacífico. Este evento puede alternarse con El Niño (Kelly, 1998) y su intensidad varía de un evento a otro. Algunos de sus efectos han ocasionado que por ejemplo en Australia o Indonesia en vez de producirse sequías, llueva más de lo normal. Por otro lado, en la superficie del mar correspondiente al Pacífico Mexicano Subtropical las temperaturas son bajas de 16 a 19°C y se extienden hasta latitudes cercanas a Cabo San Lucas, casi 23° (Trasviña *et al* 1999).

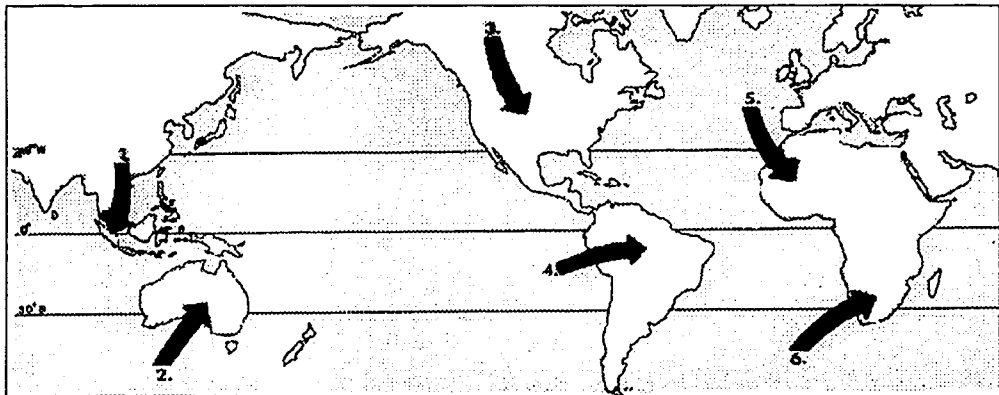
Aún existe mucho por saber de estos fenómenos ya que su ocurrencia no es periódica. Después de un evento El Niño, no siempre sigue uno La Niña. Además la intensidad de los dos fenómenos varía de un evento a otro. Ambos fenómenos se han presentado con frecuencia, pero los que destacan son: *El Niño 1982-83, 1986-87, 1991-92, 1997-98* o de *La Niña en 1988-1989* y son evidencia de que el número de población afectada aumenta por condiciones extremas en el clima (Magaña y Morales, 1999).

A causa del evento El Niño de 1982-1983 destacan las sequías sin precedentes ocurridas en Australia y en México, entre otras muchas consecuencias. Como resultado de este evento, el número de muertos en el mundo ascendió a 1700 (Vialard y Queno, 1998).

Figura 1.10 Algunos de los impactos climáticos asociados al evento El Niño 1982-83.

1. Indonesia se vio afectada por una sequía severa, disminuyó la producción de cultivos, principalmente el arroz; se desencadenaron enfermedades, malnutrición y cientos de muertes.
2. Australia tuvo su peor sequía del siglo. Se produjeron enormes pérdidas de ganado y agrícolas.
3. En la parte oriental de Estados Unidos el efecto de El Niño fue favorable porque el invierno fue el más cálido en 25 años. Sin embargo también se produjeron deslizamientos de terreno en la Costa de California, inundaciones en los estados del sur y sequías en el norte.
4. En Perú y Bolivia se presentaron sequías severas así como en Brasil, en donde se vio afectada la producción de alimentos, la salud humana y el medio ambiente.
5. Las sequías se presentaron en gran parte del continente Africano y nuevamente en la región del Sahel.
6. En el sur de África se presentaron unas de las peores sequías del siglo. En varios países su economía fue devastada y algunos se vieron en la necesidad de pedir ayuda a la comunidad internacional.

TESIS CON
FALSA DE ORIGEN



Fuente: Glantz, 1996.

Entre las numerosas actividades humanas que originan alteraciones climáticas está la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, la urbanización y los incendios que tienen gran efecto sobre el cambio climático a escala global y local.

El cambio climático altera principalmente al ciclo hidrológico, también tiene efecto sobre el albedo, pues la reducción de la capa de vegetación (que actúa como reguladora del clima) provoca el aumento de éste, la reducción de lluvia y en muchos casos el aumento de temperatura.

Aunque a través de la historia geológica, ha habido numerosos cambios climáticos de origen natural, las especies sobrevivientes se han adaptado a ellos, sin embargo los efectos climáticos originados por los humanos se dan de manera muy acelerada (Sagan, 1998).

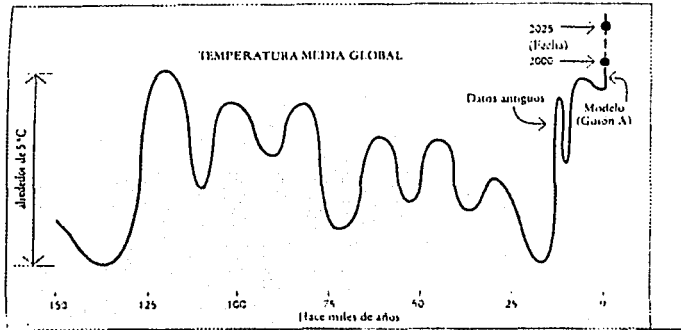
Para comprender las alteraciones del clima de origen antrópico, los climatólogos desde el siglo XIX, comenzaron a reunir datos relacionados a los cambios observados y así intentar comprenderlos, tales como: las periodicidades de las mareas, la oscilación de las manchas solares, la variación del nivel del mar, cambios en el albedo, las variaciones en el crecimiento de algunos organismos, los anillos de crecimiento de los árboles, y los registros históricos asociados a variaciones climáticas (Ortega-Ramírez, 1994).

Por lo anterior se considera que se está produciendo el cambio climático más rápido, observado desde que apareció la civilización (Sagan, 1998).

En la Figura 1.11 se aprecian los cambios climáticos sucedidos durante miles de años (Sagan, 1998; Florescano y Swan, 1995), el cambio que comenzó hace aproximadamente en los últimos 10, 000 años (Sagan, 1998) y la tendencia al incremento de la temperatura de manera más "acelerada" y asociada con las actividades humanas, que contribuyen a que esta alteración climática se manifieste tan rápido por lo que es posible que la naturaleza no tenga suficiente tiempo de equilibrar el daño causado. (Jaramillo 1994).

Figura 1.11.- Incremento de la temperatura media global.

Se muestra que el cambio climático actual es el más rápido observado desde que apareció la civilización. Ello afectará a los bosques y a la vida silvestre que están confinados en zonas aisladas y no podrán trasladarse cuando cambie el clima.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fuente: Sagan, 1999.

La teoría del cambio climático no ha sido desarrollada lo suficiente como para que proporcione todas las respuestas acerca del efecto de invernadero. Aun se requiere más investigación de física atmosférica y de las interacciones atmósfera-oceano, para entender el clima y formular pronósticos más exactos.

1.5 RELACIONES DESERTIFICACIÓN- CLIMA, CLIMA - DESERTIFICACIÓN

En este apartado se retoman los aspectos que se abordaron por separado en los párrafos anteriores, con el fin de destacar las interacciones de los diversos procesos de la desertificación y el cambio climático.

Efecto de la desertificación en el clima

Los procesos de desertificación que tienen influencia sobre el clima son de origen natural e inducidos por el hombre. Todos ellos contribuyen a que se produzcan alteraciones climáticas durante periodos de tiempo de décadas o siglos, desencadenando lo que se conoce como *la variabilidad climática y el cambio climático*, citados anteriormente.

Sequía. Uno de estos procesos naturales es la sequía, que cuando se presenta en serie, origina alteración del clima ya que los niveles muy bajos de precipitación, generan más

evaporación y se reduce la cubierta vegetal. Esto provoca que las prácticas del uso de la tierra sean limitadas o nulas.

La sequía es la consecuencia de la reducción de la cantidad de precipitación en un periodo de tiempo que puede ser una estación o más, frecuentemente está asociada a otros factores climáticos como las altas temperaturas, fuertes vientos y baja humedad relativa.

Afecta al medio ambiente debido al daño que produce en las plantas y las especies animales, altera el hábitat de la vida salvaje; facilita los incendios forestales y de pastizales, la degradación de la calidad del agua y erosión del suelo. También afecta a los sectores económicos como la agricultura o a las actividades recreativas y en los sectores sociales tiene efecto en la seguridad pública, la salud; asimismo provoca conflictos entre los usuarios del agua, migración rural y reducción en la calidad de vida(WMO, 1997).

Deforestación. Como proceso de la desertificación en las tierras áridas semiáridas y subhúmedas secas también altera el clima. Debido a la reducción de la vegetación se produce mayor reflectividad en áreas deforestadas y se incrementa la evaporación del suelo. También por esta causa se reducen los niveles de precipitación local (Warren, 1993; Williams y Balling 1996).

Quema global de biomasa. La alteración del clima también es provocada por la quema de biomasa causada por incendios inducidos y en ocasiones por incendios naturales.

Incendios. Los incendios inducidos, debidos a la quema de vegetación son fuentes significativas de aerosoles atmosféricos que se mantienen en suspensión durante largo tiempo y también contribuyen al calentamiento de la atmósfera.

Las actividades humanas que alteran al clima son de diversa índole, principalmente tienen influencia en las temperaturas del aire cercanas a la superficie. Como se mencionó anteriormente, a escala global, las actividades que generan la emisión de gases de invernadero como bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), amoniaco (NH₃), producen calentamiento de la atmósfera (Plan Nacional de Acción Climática, 1999) teniendo fuerte impacto en los climas de las regiones de tierras áridas (Pagiola, 1998).

Sobrepastoreo. También provoca la disminución de la cubierta vegetal y con ello el aumento de albedo, ya que el suelo, sin esta cubierta queda expuesto a la radiación solar que es altamente reflejada.

A su vez, estas variaciones causan cambios en la humedad y la temperatura del suelo, así como en la velocidad de la erosión.

Para la evaluación de áreas desertificadas el efecto que tiene el albedo es muy importante ya que a medida que se van deforestando áreas extensas de terreno, éste va en aumento. Existen diversos estudios al respecto, sin embargo solo se mencionará el siguiente a manera de ejemplo.

Sagan *et al.*, (1983), relacionaron los cambios del clima global con las alteraciones en el albedo global, tanto en el milenio como en los últimos 25 años, considerando los procesos de desertificación, salinización, deforestación en zonas templadas y tropicales y la urbanización que modifican más el uso del suelo.

Los datos utilizados para los cálculos se obtuvieron de relatos históricos de civilizaciones antiguas de hace 4600 años, aproximadamente, en los que se describen áreas con algún tipo de vegetación, la cual está ausente actualmente.

Los mismos autores, para los últimos años del milenio anterior, calcularon el área global con las mismas categorías en el uso de la tierra y después emplearon estudios particulares en regiones limitadas para determinar la fracción de la alteración originada por los humanos.

Las medidas de albedo varían dentro de los diferentes usos de la tierra que existen debido principalmente a: cambios temporales causados por el ángulo zenit solar, a la alteración estacional de la vegetación y parcialmente a variaciones reales de dicho albedo dentro del mismo tipo de uso de la tierra. Los resultados indicaron que el albedo de la superficie aumentó durante los 25 años que se analizaron en el estudio.

En general, aunque el cambio climático sucede en periodos de tiempo largos por causas naturales, las actividades humanas están acelerando parte de los procesos que están involucrados en éste. El reemplazo de los bosques por campos agrícolas modifica los ecosistemas. Los climas locales y regionales se ven altamente afectados ya que se libera menor cantidad de agua por evapotranspiración para formar nubes y por lo tanto no se produce lluvia, Estos cambios son locales pero su efecto puede ser global (Watson *et al* 1998).

Efecto del clima en la desertificación

Aún es difícil determinar con certidumbre las consecuencias del clima sobre la desertificación. En la siguiente sección se muestran varios ejemplos que explican la influencia del clima sobre la desertificación.

El clima tiene un gran impacto sobre los suelos de las tierras áridas, la vegetación, los recursos de agua y el uso de la tierra.

Expansión y retroceso de las zonas áridas. Aunque la aplicación de modelos predictivos todavía tiene resultados poco claros, algunos autores señalan que las alteraciones climáticas influyen en la extensión o disminución de las zonas áridas. Se observa que cuando éstas aumentan su área, también aumenta su vulnerabilidad.

Roberts y Baker (1993) mencionan que en el África Intertropical la última transición climática importante de régimen seco a húmedo ocurrió hace aproximadamente entre 13,000 y 11,000 años (antes del presente), al final de la fase árida del Pleistoceno; desde entonces la zona semiárida se ha expandido y retraído durante miles de años. Estos autores, aplican dos modelos basados en el estudio de sedimentos de varias cuencas, entre ellas las de los ríos Nilo y Níger para estudiar el impacto que tuvo el clima en los paisajes semiáridos de dicha región Africana. Con el primer modelo (Langbein-Schumm) se asume existieron condiciones de equilibrio entre el clima, la vegetación y la erosión, aunque no siempre. Con el segundo modelo (Knox) resulta que los cambios en la precipitación causaron desequilibrio entre el clima, la vegetación y la erodabilidad de las laderas.

Los efectos del clima pueden manifestarse a través de la pérdida de la humedad en la cubierta vegetal y de los suelos.

Estos cambios también modifican la extensión y distribución de las tierras secas; pueden intensificar los problemas de humedad disponible y la ocurrencia de sequías, mediante cambios en la variabilidad del clima.

De acuerdo con Goudie (1994), las zonas áridas son las primeras en tener una respuesta ante el calentamiento global, pero no todas responden de la misma manera respecto a los cambios en la precipitación.

Entre los cambios más importantes se encuentran los relacionados con las modificaciones del relieve en el corto plazo, por ejemplo la formación de terrazas, el coluviamiento (detritos rocosos producto del intemperismo, que se desplazan ladera abajo por efecto de la gravedad), tormentas de polvo, formación de dunas e incremento de la densidad del drenaje, entre otros.

Una de las incertidumbres asociada con la predicción climática para un mundo más cálido es la naturaleza de dichos cambios. Por ejemplo, Budyko e Izrael (1991), citados por el mismo autor, creen que bajo condiciones de un calentamiento muy marcado, las zonas áridas de latitudes medias y bajas situadas en el Hemisferio Norte serían más húmedas y en

condiciones de menor calentamiento (aproximadamente 1°C), regiones como el Sahara serían más húmedas, pero las planicies de Estados Unidos o las estepas de la ex -Unión Soviética serían más secas. En ambos casos los cambios se atribuyen al efecto y trayectoria de los ciclones.

El impacto de los cambios en la precipitación como ya se mencionó, estaría dado principalmente por las sequías pero también el exceso de precipitación o el derretimiento de los hielos son causas de la desertificación, ya que se tendrían consecuencias significativas desde un punto de vista geomorfológico.

Elevación del nivel medio del mar. Ésta, como resultado de la expansión térmica de las capas superiores de los océanos y el derretimiento del hielo puede afectar el relieve y en consecuencia a los humedales salados de las zonas costeras áridas, pues son ecosistemas altamente vulnerables y pueden desaparecer al quedar sumergidos o por intoxicación debido al exceso de sales.

A pesar de lo anterior, aún es muy difícil aseverar la respuesta de las formas de relieve del desierto y procesos asociados a los efectos del calentamiento global. Pero al parecer, estos son con frecuencia insignificantes en comparación con los efectos de las actividades humanas.

El río Colorado, en la frontera norte de México, es quizá la mayor evidencia del cambio antropogénico a un río, ya que durante algunos años acarreó gran parte de sedimentos en suspensión (125-160 millones de toneladas al año) a su delta en el Golfo de California. Muchas áreas son altamente susceptibles a los efectos de la intervención humana y se incrementarán mientras la población aumente.

Clima y relieve. Según Sayago y Toledo (2000), el efecto del clima sobre el relieve no siempre actúa de la misma manera, por ejemplo, en el caso de la variabilidad de la lluvia pueden generarse cambios geomorfológicos diferentes en dos ambientes climáticos distintos. Los autores estudiaron dos sitios en Argentina y compararon los efectos morfodinámicos debido al incremento de la lluvia. El primer sitio corresponde a la selva tropical húmeda de Yunga al noroeste del país y el segundo sitio, a los valles intermontanos semiáridos al oeste. En ambos casos los estudios se basaron en un incremento del 25% de la lluvia entre los años 1979 y 1990. En la selva tropical, los resultados reportados muestran que después de este incremento, durante los primeros años, se produjo transporte de sedimentos y posteriormente una disminución en la pérdida de suelos debido a que la cubierta vegetal era más alta. En el caso de los valles semiáridos se reportó que cerca del río San Ignacio

sucedieron cambios radicales en el uso de la tierra ya que al incrementarse el área de cultivo, la erosión fue mayor, también se apreció pérdida de suelos, movimientos de masa y transporte de sedimento fluvial.

Diversidad biológica. Los cambios climáticos pueden tener impacto significativo en la distribución de las comunidades vegetales y animales de las zonas áridas (World Atlas of Desertification, 1997).

La flora y la fauna de las tierras secas sufren de variaciones de temperatura diurnas y estacionales además de fluctuaciones anuales en la lluvia y en la humedad del suelo. Debido a estas alteraciones los organismos han desarrollado adaptaciones complejas en el comportamiento que les permiten un alto grado de resistencia al clima (WMO 1997), pero por otro lado estas alteraciones también han provocado la pérdida de la diversidad biológica que a su vez repercute en un estrés ecológico que puede inducir la desertificación.

Clima y uso del suelo. Los efectos del clima sobre las tierras secas utilizadas para la agricultura, son diversos entre los que pueden citarse la erosión acelerada del suelo debido al viento y agua, el incremento de la salinización de los suelos y el abastecimiento del agua subterránea cercana a la superficie, reducción de la productividad de los ecosistemas de tierras secas. Según estimaciones, estos efectos se presentan en casi el 70% de estas tierras (UNEP 1992,b citado en Williams y Balling, 1996).

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) acusa que "a casi cuatro años de haber entrado en vigor la Convención Internacional de la lucha contra la Desertificación y la Sequía", pocas han sido las naciones (de un total de 180 que han ratificado) las que han puesto en marcha programas y políticas sustanciales para evitar el avance de estos efectos, la muerte de suelos, alguna vez fértiles (El Universal 17-jun-2001 a). Asimismo advierte que más de 100 países con una superficie total de millones de hectáreas (entre ellos México) se hallan gravemente afectados por la desertificación, provocada ésta por la gran presión que se ejerce sobre la tierra ante el incremento demográfico y la pobreza (El Universal 17-jun-2001 b).

Se ha mencionado que las alteraciones climáticas afectan de manera *negativa* a la población humana y al medio ambiente, y aunque el enfoque de este trabajo se refiere precisamente al efecto negativo, cabe mencionar que, al menos en parte, puede haber beneficios derivados de estas alteraciones. Por ejemplo algunas observaciones del comportamiento climático indican que el efecto de invernadero está contribuyendo a que en algunas regiones del mundo el crecimiento de la vegetación sea mayor en intensidad y en

espacio. Esta es una manifestación un tanto reciente, por lo que no es posible saber si este hecho podría equilibrar tal efecto negativo y si es posible que suceda.

Según el reporte científico de Tucker (U.S. Environmental Protection Agency Global Warming, 2002), se muestra que la vegetación en regiones de los continentes Americano y Euroasiático, es más verde y que este cambio de color está asociado a cambios estacionales así como a la sequía o a la lluvia abundante.

Tucker, investigador del Centro Goddard de la NASA ha estudiado dichos cambios y señala que la Tierra se está convirtiendo en un invernadero más verde, ya que las plantas han crecido más de lo usual en partes del Hemisferio Norte del planeta. La vegetación se volvió más exuberante y florida y las plantas observadas a más de 40 grados de latitud norte, representan una franja estrecha desde Nueva York a Madrid y Beijing, las cuales han crecido más desde 1981. A partir de esta fecha se han realizado observaciones hechas mediante satélites al menos una vez al día desde julio de 1981.

Las posibles causas son las altas temperaturas, quizá ligadas al incremento de gases invernadero en la atmósfera.

En algunas áreas se nota que la vegetación no se ha expandido pero se ha incrementado su densidad.

Se ha detectado que los patrones y magnitudes de calentamiento en el continente Americano y en Eurasia son diferentes por lo que también existen diferencias en la vegetación examinada.

El verdor de la vegetación está muy asociado a los datos de temperatura de miles de estaciones en ambos continentes.

El verdor en Eurasia es persistente; lo es también en áreas de Europa Central donde hay vegetación y tierras boscosas.

Se reportan cambios estacionales en algunas partes del planeta por ejemplo: la primavera se presenta con anticipación de una semana y el otoño se demora 10 días (U.S. Environmental Protection Agency Global Warming, 2002).

Este hecho tiene implicaciones importantes ya que uno de los gases de invernadero es el bióxido de carbono y al incrementarse la vegetación, ésta puede estar absorbiendo este gas. Esto puede ser de gran ayuda en la predicción de cómo los gases de invernadero afectarán el clima en las próximas décadas.

Hasta ahora los modelos climáticos predicen un mayor calentamiento global pero será necesario que en nuevos estudios se considere también este incremento de vegetación y las prácticas de uso del suelo, para saber hasta dónde puede ser benéfico este hecho, para el medio ambiente.

A continuación se resume, con algunos ejemplos, cómo se encadenan los procesos de la desertificación y el cambio climático a través de intrincadas y complejas relaciones de causa-efecto (Figura 1.12), a través de la historia

Los conocimientos acerca del cambio del clima en el Medio Oriente en los últimos 50, 000 años aún son insuficientes pero los datos disponibles hacen suponer que hace 15-25 mil años se formaban pequeños glaciares en las zonas montañosas de Irán, Afganistán y Turquía. Hace 11 mil años predominaba el clima frío en Irán y comenzó un cambio radical en el clima, con duración de 5500 años, cuando aparecieron robles en las zonas alpinas. Desde entonces, al parecer, no ha habido un cambio considerable. Sin embargo para comprender la relación del cambio climático y la desertificación hay que tomar en consideración la historia del poblamiento de esta región. Ya desde hace 12 000 años existía una sociedad que vivía de la caza y la pesca. Hace 8000 años las comunidades se extendieron ampliamente, cultivaban trigo y cebada y poseían cabras y ovejas. Hace 2000 años la geografía de esta región cambio drásticamente al producirse bastantes migraciones que dieron cambios en la actividad agrícola. El desarrollo de la agricultura permitió abastecer a un mayor número de migrantes. Además el campo proporcionaba casi todo el combustible, como la madera y el estiércol, que era consumido por la población (Huges, 1981; Beaumont, 1987).

Ya en el siglo XX, con el advenimiento de la tecnología y el crecimiento de los asentamientos humanos las necesidades aumentaron y había que abastecer a la población con madera y otros combustibles y se extendieron los terrenos para el cultivo de plantas forrajeras.

En el Norte de Jordania se produce grave erosión debido a las pendientes escarpadas, pero también por la tala de los bosques, el pastoreo excesivo de ovejas y cabras y el cultivo de cereales. Esto último conduce a la denudación de la tierra durante la estación de lluvias por lo que se pierde la capa de suelo y se hace imposible la agricultura.

En el siglo pasado la gente comenzó a emigrar y la gente joven abandonó el campo. Por esto bajó la producción agropecuaria en Medio Oriente.

Asimismo, en Irán ha habido migración de la población rural hacia las ciudades. A partir del pastoreo excesivo la vegetación se agotó ya que el ganado se estimaba más valioso que ésta, y se pensaba que la vegetación podría recuperarse. Pero aunado a esto y por la tala de árboles se provocó la degradación de la vegetación. Entre los años 1940 y 1950 se produjeron una serie de sequías prolongadas que causaron intensas tempestades de arenas y de polvo. Por ello muchas personas abandonaron algunas aldeas como la de Khar en donde el sistema de irrigación se deterioró.

En países del Medio Oriente, diversos oasis han sido afectados, las tierras agrícolas cercanas han caído en el abandono debido a la falta de agua y la población se ve en la necesidad de abandonar sus tierras Beaumont (1987).

Egipto es una de las más antiguas y grandes civilizaciones, ha sobrevivido gracias a la fertilidad y alta productividad de la tierra a lo largo de su historia.

Pero actualmente la población creció bastante y los recursos son limitados. Ha llegado a una situación de riesgo por desertificación alta a muy alta en casi todo el país. El clima es muy árido y la agricultura depende casi en su totalidad del riego. La franja que ocupa el área de cultivo es de aproximadamente 10 km de ancho.

La mayoría de la población está concentrada en el 2.5% del área total del país (o sea en el área cultivada) en donde existen casi 1800 personas por km².

La actividad agrícola es muy intensiva y el uso de fertilizantes fuerte, pero su uso no es el más adecuado, por eso se pierde casi el 10% de la producción agrícola al año, debido al deterioro de la fertilidad del suelo (Kishk, 1993).

También en Egipto las tierras cercanas al oasis Siwa fueron abandonadas, los huertos y palmares así como otros árboles se trataron de restablecer por parte del gobierno pero resultó un fracaso. En este caso la desertificación fue causada por la mineralización fuerte de las aguas freáticas y se produjo un aumento acelerado en el contenido de las sales en el suelo. Esto requería gastos considerables así que los campesinos emigraron a Libia a trabajar en la explotación petrolera. Se produjo falta de mano de obra, los sistemas de drenaje se tornaron menos eficientes y creció la salinización de los suelos (Beaumont, 1987).

Los procesos de desertificación afectan entre un 8 y 10% del territorio total europeo, incluyendo distintos grados de degradación. La región Mediterránea es la más sensible a las condiciones climáticas semiáridas, con sequías estacionales, extrema variabilidad de lluvias y lluvias súbitas de gran intensidad son características de esta región. Además el relieve es

desigual, con laderas escarpadas que favorecen la erosión del suelo y grandes pérdidas de la cubierta forestal a causa de repetidos incendios forestales.

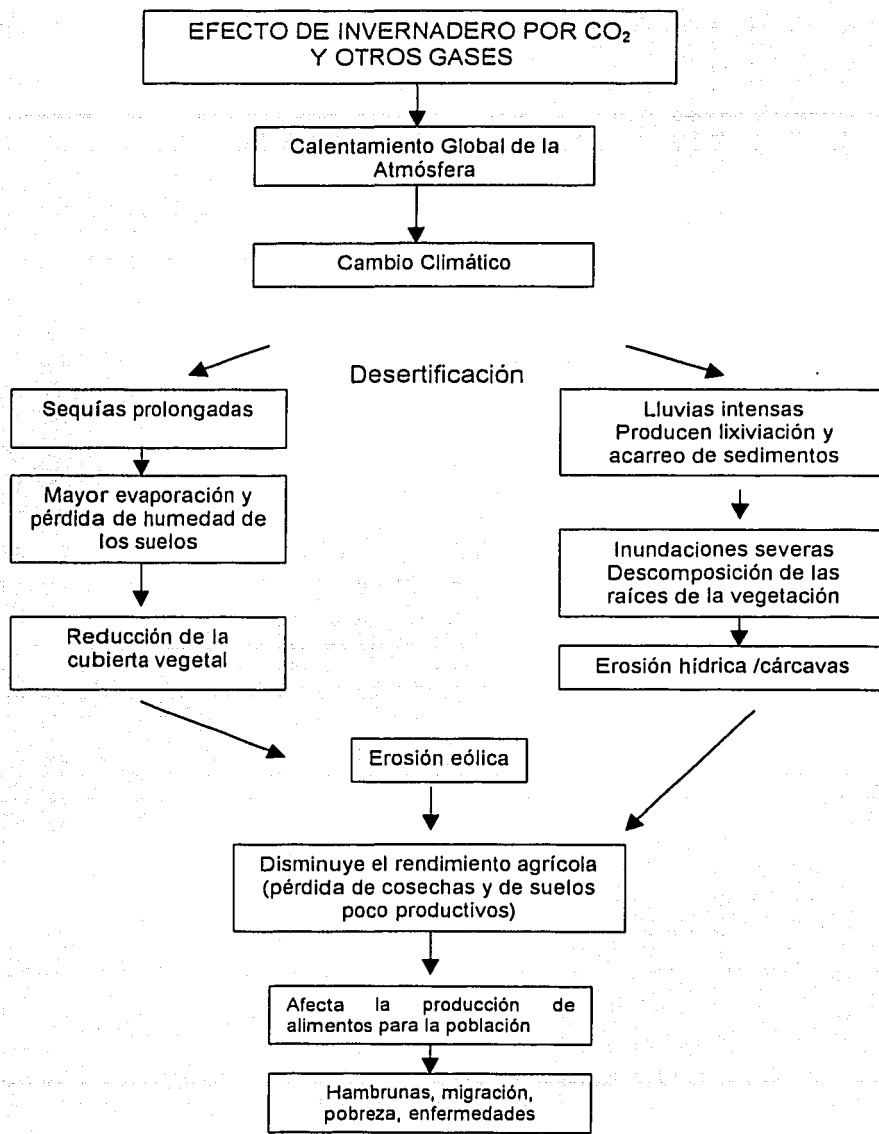
La parte costera del Mediterráneo Español es la única con alto riesgo de desertificación; España y Portugal principalmente presentan erosión hídrica y salinización.

Esta es una visión global, actualmente los siguientes aspectos relacionados con el uso del suelo son los responsables de los procesos de la desertificación y el cambio climático:

- La intensificación agrícola
- El abandono de las tierras
- La expansión urbana
- El aumento de la actividad industrial
- Desarrollo de transporte
- Aumento del turismo

(Rubio y Racatalá, 1998)

Figura 1.12 Relación de la desertificación y el cambio climático.



Fuente: Manso y Alvarez, 2001.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS ÁRIDAS Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA DESERTIFICACIÓN EN MÉXICO.

De acuerdo con la definición de la desertificación las zonas más vulnerables son las áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por esta razón, el objetivo de este capítulo es la caracterización de dichas zonas en el país.

Asimismo, se describen los aspectos relevantes que históricamente han causado un impacto ambiental y desertificación en México.

2.1 Definición, características generales y distribución de las zonas áridas de México.

México está situado en el continente americano a una latitud N de 14°30', 32°42' y una longitud W de 86°42' y 118°22'. La superficie es de 1'958,201 km² y gran parte de ésta corresponde a la gran franja desértica y semidesértica mundial en donde están localizados los desiertos de Sonora y Chihuahua. Sin embargo, por las características geográficas tiene gran variedad de paisajes: desiertos, selvas y bosques así como, zonas de nieves perpetuas y glaciares (Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México, PACD, 1994). Según el Atlas Nacional del Medio Físico (INEGI, 1988), los climas existentes, en el territorio mexicano están integrados en 97 tipos y subtipos, pero los climas predominantes son los secos, y las zonas con estos climas son las más susceptibles a la desertificación.

La definición de las zonas áridas en México presenta una problemática en cuanto a la determinación de sus límites espaciales y el conocimiento de sus particularidades. Por ejemplo, aún existen divergencias entre las interpretaciones de la aridez como principal elemento para delimitar las zonas áridas, y hasta ahora no existe una definición precisa desde el punto de vista conceptual (Hernández y García, 1997). Sin embargo las zonas áridas generalmente se definen como "aquellas en donde el potencial de evapotranspiración excede a la precipitación anual y la principal característica de las precipitaciones es su presencia errática, además de su aleatoriedad tanto estacional como anual" (Hernández, 1992).

2.1.1 Principales causas naturales que originan las zonas áridas en México.

Tomado textualmente y de acuerdo con Hernández y García (1997) las principales causas meteorológicas de la presencia y extensión de las zonas áridas son las siguientes:

- a) "Por su situación entre los 14° y 32° de latitud norte, está afectada en su porción boreal por el cinturón de las altas presiones subtropicales del Hemisferio Norte, que consiste en dos enormes celdas anticiclónicas: la del Atlántico o Bermuda-Azores y la del Pacífico del norte con derivaciones sobre el continente, especialmente en invierno. A lo largo de esta franja, que se sitúa en promedio a los 30° de latitud norte, el aire es descendente y se opone a todo tipo de precipitación.
- b) Estabilización de la atmósfera por corrientes marinas y surgencias de aguas frías: las zonas áridas del noroeste de la Península de Baja California que se desplaza de norte a sur, paralelamente a la costa del Océano Pacífico, con la consiguiente formación de una capa de inversión de temperatura que tiene unos 700 metros de espesor, y sobre la cual se forman nubes horizontales de las que se desprende muy poca precipitación; por otra parte, los desiertos de las costas del Mar de Cortés, tanto en Sonora como en Baja California deben, en parte, su existencia a una surgencia de aguas frías del fondo del mar, que también tiene un efecto estabilizador de la atmósfera.
- c) El efecto de sombra pluviométrica ocasionada por las barreras montañosas que se deja sentir, prácticamente en todas las áreas interiores del país, en donde las montañas se presentan como obstáculos a la penetración de los vientos húmedos del mar.

La constancia en dirección de los vientos provenientes de los océanos vecinos, unida al relieve complicado del país, crea áreas de escasa precipitación a sotavento de las montañas que se presentan a su paso; así las laderas inclinadas directamente hacia el rumbo de barlovento, de donde provienen los vientos húmedos son mucho más lluviosas que las laderas contrarias.

- d) Por si esto fuera poco, la República Mexicana se ensancha considerablemente en su parte norte, y el interior de este macizo continental queda muy alejado de los mares, que son la fuente primordial de la humedad de la atmósfera."

Según la misma autora (Hernández, 1992) entre los indicadores para delimitar estas zonas de México se encuentran los que utilizan la evaporación en mm; el cociente precipitación anual en mm/evaporación anual en mm; el cociente de Lang; precipitación anual en mm/temperatura media anual en °C (P/T); el índice pluvial en % de Thornthwaite y el Sistema de Köppen modificado por García. Aplicando los indicadores mencionados, la autora obtiene superficies que se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Porcentaje de la superficie de las zonas áridas del país con base en cinco criterios de aridez.

Índice o sistema utilizado	Muy árido %	Árido %	Semiárido%	TOTALES %
Evaporación	-	23.25	23.0	46.3
Índice de Lang (P/T)	23.1	15.2	12.8	51.1
Cociente P/E	23.1	16.5	26.0	65.6
Índice pluviométrico de Thornthwaite	27.7	31.1	18.6	77.4
Sistema Modificado	21.0	14.4	18.8	54.2

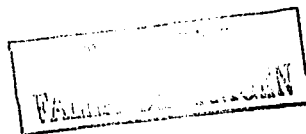
Fuente: Modificado de Hernández, 1992.

Como puede observarse existe una variación de 46.3% a 77.4%, al respecto, la autora señala que el método menos exacto es el de la evaporación pues la medición de este parámetro no refleja las condiciones climáticas que permitan la delimitación en tanto que los otros índices son más confiables al definir las zonas áridas.

Las *zonas áridas* (con clima de desierto o clima BW) y *semiáridas* (con clima de estepa o clima BS) también han sido definidas con base en diversas características, como son las formaciones vegetales considerando sus mecanismos de resistencia a la sequía; por el tipo de drenaje endorreico y por la distribución de los tipos de suelos; sin embargo el límite se rige, en forma natural, por la dinámica cíclica del clima, por lo que su extensión varía en las épocas de sequía y en las épocas de mayor precipitación, (Medellín, 1978). De manera que la característica más importante, en estas zonas, es el clima que determina en gran medida las condiciones de aridez en ellas.

Además de la cantidad de precipitación y el índice de aridez, deben considerarse otras variables como son la eficiencia de la precipitación en el crecimiento de las plantas que, a su vez, está relacionada con las épocas del año en que se presenta la precipitación y la temperatura, un ejemplo de ello es el siguiente, en el que pueden existir valores de precipitación similares pero con diferentes tipos de clima:

En tres estaciones climatológicas con cantidades semejantes de precipitación (Tecate, Baja California Norte, 328 mm; Parras Chihuahua, 359 mm y Xiquila, Oax., 364 mm) pero con diferente distribución anual de la precipitación, en la primera llueve en invierno (s) y su clima es templado subhúmedo Ca; la segunda tiene un régimen intermedio (x'(w)) en que la lluvia, aunque escasa, se presenta en todas las épocas del año y su clima es árido BSo,



en la tercera, la temporada lluviosa es el verano ((w)w), época de mayor calentamiento y mayor evaporación y su clima es muy árido BW (Hernández y García, 1997).

Se nota una mayor eficiencia de la precipitación en la estación con régimen de invierno y menor en la estación con régimen de verano, época que para tener un clima más húmedo debe haber mayor cantidad de lluvia que en las dos estaciones anteriores.

2.1.2 Características y distribución de las zonas áridas en México.

Los criterios que se toman en este trabajo y más se han usado para definir dichas zonas son los establecidos en la Clasificación Climática de Köppen Modificada por Enriqueta García (1988). A continuación se mencionan sus principales características.

Los climas correspondientes a las zonas muy áridas, áridas, semiáridas, y subhúmedas secas tienen como características generales el régimen pluvial, que se divide en régimen de verano, intermedio y de invierno. Por otra parte, por su temperatura estos climas se dividen en cálidos y muy cálidos, semicálidos, templados y semifríos, debido a que sus temperaturas medias anuales oscilan entre los 5°C y los 18°C (García *et al.* 1989, Hernández, 1992)

1) Zonas muy áridas (BW).

El clima de estas zonas se localiza a altitudes menores a 1500 m.s.n.m. La temperatura media anual es mayor de 18°C para los más cálidos y entre 5 y 12°C para los semifríos (Atlas Nacional de México, 1990). Las temperaturas absolutas máximas y mínimas oscilan entre los valores de 44.4 a 57°C y de -14.0 a 7.0 °C respectivamente (Hernández, 1992)

El régimen pluvial puede ser de verano, intermedio o de invierno. La precipitación media anual es de 257 mm. Poseen extrema aridez con 12 meses secos.

En el desierto de Baja California, aunque existe una región sumamente seca, donde se registra la menor precipitación del país, con 89.2 mm anuales, no se reportan años completos sin lluvia (Hernández, 1992).

2) Zonas áridas (BS y BS₀).

Clima BS, árido.

Las zonas con clima árido del país se encuentran bordeando a las muy áridas. Algunas regiones en donde se localiza son: la parte norte de la altiplanicie mexicana, la parte central y noroeste de la península de Baja California, y zonas interiores del centro y sur del país en donde la influencia de los vientos húmedos marinos es escasa. Este clima árido es intermedio entre el BW, muy árido y el A ó C, que son húmedos, por eso en algunas zonas que limitan con estos climas se presentan valores de precipitación mayores.

La temperatura media anual varía de 5°C a mayor de 22°C y la temperatura media del mes más frío se registra entre -3°C y >18°C (García, 1987).

El régimen de lluvia es de verano. Por su localización al norte o al sur del país, presentan diferencias relevantes en cuanto a la temperatura y precipitación. En el norte de la altiplanicie la oscilación de las temperaturas medias mensuales es extremosa o muy extremosa; la precipitación se produce únicamente en verano y es originada por movimientos conectivos del aire. El máximo de precipitación se presenta en invierno y tiene un largo periodo de sequía en verano.

En el sur la oscilación de la temperatura es baja; la precipitación se ve influenciada por los ciclones tropicales por lo que el nivel de lluvias es elevado y el régimen se extiende hasta fines de verano o de otoño (García, 1987).

Por las condiciones térmicas los climas BS se subdividen en cálidos, semicálidos, templados y semifríos.

El clima BS₀ es el más seco de los áridos.

Se localiza en las zonas más cálidas del país, como en la Cuenca del Balsas que alcanza una temperatura media anual de 28.8°C.

Por sus condiciones térmicas se subdividen en cálidos, semicálidos y templados por lo que se localizan desde altitudes menores de 10 hasta los 2,150 m.s.n.m.

La temperatura media anual varía entre 23.2 y 16.8°C y el valor extremo es de 30.1°C. Las temperaturas máxima y mínima absolutas son de 57.0 °C y -16°C respectivamente (Hernández, 1992).

La precipitación media anual está entre 346.2 mm y 551.8 mm., y el número de días con heladas, anuales es de 10 a 25. La evaporación anual es mayor a 2000 mm.

3) Zonas semiáridas (BS₁). El clima semiárido bordea al anterior, al árido. Es el menos seco de los semiáridos.

Se localiza a altitudes que varían entre los 220 y los 3,000 m.s.n.m. La temperatura media anual oscila entre 16.2 y 24.0°C. Las temperaturas medias absolutas son de 49.5°C, la máxima y de -16.0°C, la mínima (Hernández, 1992).

Estas zonas tienen un régimen pluvial de verano o intermedio. Su precipitación alcanza entre 200 y 791.5 mm anuales y tiene entre 8 y 10 meses secos al año (Hernández, 1992).

4) Zonas subhúmedas secas (Aw_0). Por sus condiciones térmicas los climas de estas zonas se dividen en muy cálidos y cálidos, su temperatura media anual es mayor de 18°C. La temperatura del mes más frío también es mayor a los 18°C.

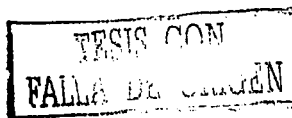
Estos climas son los menos húmedos de los Aw. Su régimen de lluvias es de verano y el valor promedio de la precipitación anual es de 913 mm (García, 1989) (Ver tabla 2.2)

Tabla 2.2.- Temperatura y precipitación correspondientes a algunas estaciones climatológicas que representan a cada zona climática.

Zonas climáticas correspondientes a las tierras áridas			
ZONA CLIMATICA	ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	TEMPERATURA (en °C)	PRECIPITACIÓN (en mm)
BW	25-033 Los Mochis (Sinaloa)	24.9	301.2
	26-008 Villa Juárez (Sinaloa)	23.6	259.2
BS ₀	16-049 Eréndira, El Infiernillo (Michoacán)	29.1	599.5
	26-064 Tesia (Sonora)	26.2	452.1
BS ₁	25-006 Bamiconi (Sinaloa)	24.4	709.0
	25-012 Las Cañas (Sinaloa)	23.8	562.2
Aw ₀	25-013 La Concordia (Sinaloa)	24.5	925.1
	24-042 Las Adjuntas (San Luis Potosí)	24.9	975.8

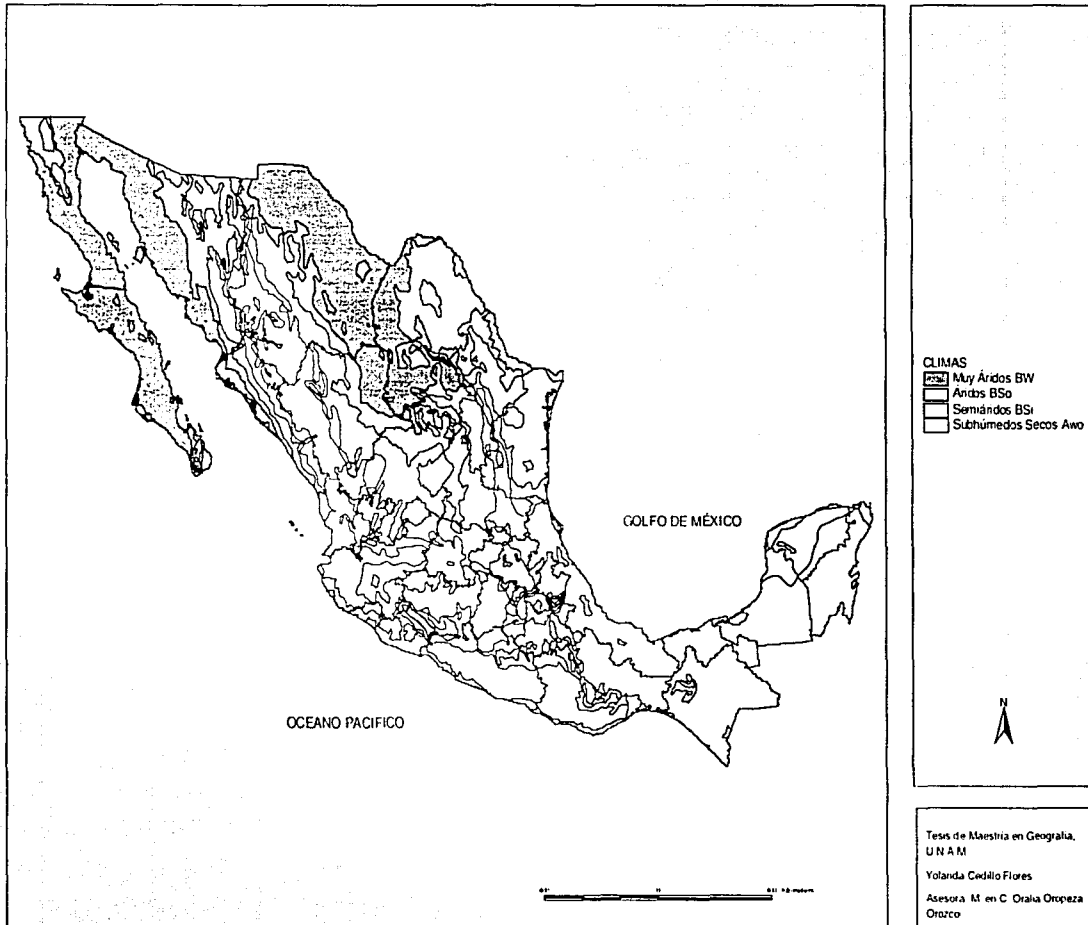
Fuente: García, 1987

Una buena aproximación de la delimitación geográfica de estas zonas climáticas se muestra en el mapa realizado por García *et al.*, (1992) en el que además de la



temperatura y la humedad, se han incluido los parámetros relieve y vegetación (Oropeza y Alfaro, 1997). Ver figura 2.1.

Figura 2.1 Distribución de las Zonas áridas y subhúmedas secas de México.



Fuente: Atlas Nacional de México, 1990.

CLIMAS
 Muy Áridos BW
 Áridos BSo
 Semiáridos BSr
 Subhúmedos Secos Awo



Tesis de Maestría en Geografía,
 UNAM

Yolanda Cecilia Flores

Asesora M en C Oralia Orozco
 Orozco

Elaboro Carlos Enriquez
 Guadarrama

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
 INEGI

Los porcentajes de cada tipo de clima que están representados en el país están dados en la tabla 2.3.

Los datos que aparecen en este cuadro se calcularon con base a García *et al*, (1992).

Los estados que presentan mayor porcentaje de las zonas áridas son:

Baja California con 92.18% de zonas muy áridas.

Coahuila con 51.79 % de zonas áridas.

Aguascalientes con 97.56 % de zonas semiáridas.

Morelos con 60.17% de zonas subhúmedas secas.

Tabla 2.3 Porcentaje de las Zonas Áridas en México.

Estados	Superficie en km	Área de las zonas áridas en %			
		Muy áridas	Áridas	Semiáridas	Subhúmedas secas
Aguascalientes	5567.74			97.56	2.43
Baja California	73437.29	74.85	16.88	2.16	7.97
Baja California Sur	71645.50	92.18	4.92	0	0.46
Campeche	55921.29			0.60	14.80
Coahuila	150812.90	38.85	51.79	9.35	
Colima	5732.15			12.47	49.09
Chiapas	74087.16				4.70
Chihuahua	247125.80	49.82	12.59	15.34	5.90
D.F.	1475.97			0.97	15.83
Durango	122134.50	16.71	16.49	24.84	13.78
Edo. De México	22208.24			5.41	10.69
Guanajuato	30353.85		3.27	40.47	50.19
Guerrero	63643.10		0.60	4.88	30.38
Hidalgo	20689.33		3.20	5.45	6.37
Jalisco	77999.44		0.37	12.92	42.48
Michoacán	58388.71		4.91	10.64	37.54
Morelos	4872.04				60.17
Nayarit	27882.79			3.00	33.79
Nuevo León	63607.85	3.08	28.18	52.89	11.38
Oaxaca	92762.94		2.49	7.90	19.37
Puebla	34094.34		1.84	19.79	31.11
Querétaro	11556.76			53.64	32.16
Quintana Roo	43200.28				5.45
San Luis Potosí	60526.88		23.57	51.01	6.62
Sinaloa	55141.42	16.87	14.77	23.60	22.91
Sonora	180934.35	45.64	28.67	21.16	2.79
Tabasco	24586.22				
Tamaulipas	77227.34		9.64	61.98	20.8
Tlaxcala	3973.89		1.76	6.93	24.33

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Veracruz	70826.35			0.21	6.09
Yucatán	39314.51			11.15	54.3
Zacatecas	74619.22	2.56	25.24	54	18.18
	1946350.19				

Fuente: Datos calculados con base a García *et al*, 1992

La superficie y el porcentaje que comprenden cada una de estas zonas climáticas son los siguientes:

La *zona muy árida* abarca 271 632.2 Km² que corresponden al 13.96% de la superficie total nacional.

La *zona árida* con 418 845.23 Km² equivale al 21.53% de la superficie total nacional.

La *zona semiárida* con 364 553.89 Km² es igual al 18.74% de la misma superficie.

La *zona subhúmeda* seca abarca 278 150.3 Km² o sea el 14.29% de la superficie nacional.

De acuerdo con estos datos las zonas áridas son las de mayor extensión, sin embargo la zona que presenta mayor concentración de población es la subhúmeda seca, con un 24.38% del total nacional, por lo que es considerada la más vulnerable a los procesos de desertificación.

Las características de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas son propicias para que se desencadenen fenómenos naturales asociados a la desertificación. Por ejemplo, en regiones donde la cubierta vegetal es destruida debido a sequías severas o inundaciones, el suelo queda expuesto a procesos erosivos que lo degradan, la capacidad de infiltración de los suelos se reduce y se intensifica el escurrimiento superficial y el nivel de los mantos acuíferos disminuye.

A su vez estas alteraciones naturales son causantes de cambios en las condiciones climáticas. A éstas se suman las actividades humanas que también favorecen las alteraciones climáticas y que en muchos casos tienen un efecto nocivo.

Muchos ecosistemas áridos han sido destruidos o deteriorados; otros, a pesar de sus condiciones áridas, conservan especies adaptadas (más de 3000 especies vegetales están adaptadas) y pueden prosperar en ellos. Otros ecosistemas con ambientes poco áridos y con alto o reducido potencial biológico se ven convertidos en ambientes estériles y se destruye su equilibrio ecológico debido a las actividades humanas irresponsables que los empobrecen. Como consecuencia, la desertificación ha ido avanzando en nuestro país y según datos de hace dos décadas, se perdían anualmente entre 100 000 y 200 000 hectáreas de suelos (Roldán y Trueba, 1978).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2 Breve evolución histórica de la desertificación en México.

En este apartado se hace una reseña de los principales aspectos históricos que han influido en la degradación del ambiente y particularmente en la desertificación. Asimismo se mencionan las orientaciones o enfoques predominantes que han tenido las investigaciones sobre la desertificación en el país.

Para comprender como se ha manifestado la desertificación en las zonas mencionadas es necesario conocer los antecedentes sobre el proceso de deterioro ambiental en el país, sobre todo el deterioro provocado por las actividades humanas. Este ha existido desde épocas remotas, pero actualmente ha alcanzado proporciones mayores, prácticamente a escala global. La degradación de numerosos ecosistemas ha sido tan intensa que han perdido su capacidad productiva (PACD, 1994).

Es de importancia considerar la problemática de la población rural mexicana que involucra numerosos aspectos históricos relacionados con el deterioro ambiental y por tanto con la desertificación. De manera breve a continuación se exponen algunos de estos aspectos.

Etapa precolonial. Durante esta etapa la agricultura casi no se practicó en las zonas áridas sino que se realizaba en las zonas subhúmedas y en superficies reducidas que se desmontaban con fuego y se cultivaban con coas. Se hacía uso únicamente de la energía humana y la organización de las actividades agrícolas fue de tipo familiar ya que casi todos los miembros de la familia colaboraban (Trueba, 1978).

La tecnología se caracterizó por ser autónoma y con bastante conocimiento del medio ambiente ya que conocían bien los ciclos agrícolas para determinar las épocas de lluvias y heladas. La actividad agrícola se hacía sobre las chinampas, en el valle de México (Atlas Nacional de México, 1970) y por parte de la población maya en la selva, se permitía la recuperación de la misma y así en algunos casos, se evitaba el deterioro ecológico. La población no requería de recursos de apoyo por parte del estado ya que la tierra era propiedad comunal (Trueba, 1978).

En ésta época comenzó el deterioro ambiental debido al aumento de la población y al asentamiento de ésta en diversas áreas del país. La tala de bosques con fines de uso maderero y el cultivo de nuevos productos trajo consigo la eliminación o sustitución de especies vegetales que modificaron las condiciones climáticas a escala local (Oropeza, 1992; Oropeza y Alfaro, 1997).

Para evaluar el impacto antropogénico en el medio ambiente se han llevado a cabo estudios paleoambientales del periodo holocénico con los que se ha podido reconstruir parte del deterioro ambiental en el centro del país. Se han obtenido datos a partir del análisis de las propiedades físicas y químicas de muestras de sedimentos lacustres, de los minerales magnéticos y de registros paleoecológicos de los lagos situados en el Eje Neovolcánico, además de evidencias arqueológicas. Se ha comprobado que debido a cambios climáticos naturales, el nivel de los lagos varió y a finales del Holoceno (hace aproximadamente entre 4500 y 5000 años) el clima se tornó más seco. Sumado a estos eventos naturales, los registros indican que la agricultura de las antiguas civilizaciones asentadas alrededor de los lagos de Pátzcuaro, La Hoya, La Piscina de Yuriria, entre otros, fue erosionando las tierras. Esta etapa coincide con un periodo de extrema sequía que se presentó hace aproximadamente 1400 y 850 años antes del presente, y muchos sitios fueron abandonados. La evidencia del impacto al medio ambiente, originado por las civilizaciones prehispánicas del centro de México no se observa después de la conquista española ya que parece haber un periodo de restablecimiento de los ecosistemas, quizá debido a la disminución de la población indígena (O'Hara *et al.* 1994 y Metcalfe *et al.* 1994).

Cabe señalar que aunque el deterioro ambiental se inició con el desarrollo de las culturas antiguas en el centro del país, éstas también mostraron conciencia de la degradación del medio ambiente, así como de los recursos y por ello realizaron prácticas de conservación de suelos (Oropeza, 1992).

Un ejemplo del cuidado del medio ambiente por las culturas indígenas queda demostrado en un estudio llevado a cabo por Barrera y WinklerPrins (2001). Estos autores refieren que desde hace 3 500 años, los indígenas purépecha de Pátzcuaro, Michoacán practicaron la conservación de la fertilidad de la tierra. También Farshad y Barrera (2001) señalan que en San Francisco Pachátaro, Michoacán, tampoco se muestran signos de degradación de la tierra.

En la etapa colonial, continuó efectuándose el tipo de agricultura en la que participaban los miembros de las familias, pero los colonizadores también entregaron tierras en calidad de propiedad privada lo cual permitió a la iglesia, entre otros propietarios, adquirir un número importante de propiedades rurales y urbanas. La producción agrícola básicamente era para autoconsumo.

Con la llegada de los españoles también se introduce la ganadería, esta actividad ha contribuido grandemente al deterioro de las tierras.

El impacto ecológico durante la etapa colonial fue intenso debido a la tracción animal en las áreas de cultivo, se exportaban algunos productos tropicales a Europa y las minas requirieron altos volúmenes de madera para usarse como puntales (Trueba, 1978).

Etapla independiente. En el siglo XIX conocido también como la etapa Independiente, la tecnología agrícola que comenzó a utilizarse fue el arado con bestias de tiro y se inició la construcción de carreteras y molinos.

A mediados de ese siglo también se decretaron leyes expropiatorias que produjeron pérdidas de propiedad de las tierras para la iglesia y afectó también a las comunidades indígenas a quienes se despojó sin que hayan tenido la capacidad y los recursos para oponerse a tal hecho. Los particulares aprovecharon para adquirir ranchos haciendas a precios sumamente bajos (Trueba, 1987).

Paralelamente a lo anterior en ésta época se explotaron bastante los recursos naturales (mineros y forestales) al propagarse las regiones agrícolas y ganaderas. Los efectos de la revolución industrial trajeron consigo el deterioro de medio ambiente, que ha ido en aumento hasta la época actual (Oropeza y Alfaro, 1997).

Etapla contemporánea. Con la revolución de 1910 aparecieron nuevos modelos de organización en el campesinado. Con el crecimiento de la población la producción se tomó insuficiente. Entonces se intentó una reorganización y se modernizaron las actividades agrícolas mediante el otorgamiento de créditos que permitieron la adquisición de tractores e insumos químicos.

La tecnología en esta etapa ya estaba muy transformada por lo que se seleccionaban y desarrollaban semillas mejoradas. Se utilizaron equipos de bombeo con motores de explosión o eléctricos y tractores para acondicionar el suelo. Además de productos químicos para fertilizar y combatir las plagas.

Pese a los cambios sucedidos en las etapas mencionadas, los campesinos temporaleros fueron quedando en un rezago sin alcanzar la modernización tecnológica pretendida que suponía convertir a los campesinos mexicanos en algo parecido a granjeros norteamericanos o europeos, por lo que gran parte de la tecnología tradicional quedó obsoleta. Este grupo se vio incapacitado para adquirir los productos tecnológicos por los precios inaccesibles. El campo se fue abandonando porque se puso énfasis en transformar al país de una sociedad rural a una sociedad industrial y urbanizada, así las inversiones preferentemente se dirigieron a la industria y en la capital del país (Trueba, 1978).

A pesar del acelerado proceso de urbanización, aún en la década de los ochenta, la población rural en México seguía siendo casi la mitad de la población total del país

Además de los aspectos naturales, otros de índole antrópica, como la existente división de clases sociales, que comprende una gama desde los campesinos sin tierra, jornaleros rurales, hasta los empresarios que (en muchos casos son dueños de vastos predios y de recursos de agua y grandes inversiones que les permiten obtener enormes producciones) han contribuido al deterioro de las tierras agrícolas, debido al mal manejo de las mismas – uso intensivo, monocultivos, abuso de fertilizantes y plaguicidas, etc.-. En esta división de clases, muchos campesinos no poseen predios similares a los de los empresarios, sino superficies pequeñas de una o dos hectáreas por lo que no pueden obtener una decorosa subsistencia familiar. Aunado a esto la topografía accidentada, carencia de agua y falta de equipo para producción crean una gran problemática en el ámbito agrícola y degradación de los terrenos para este uso (Trueba, 1978).

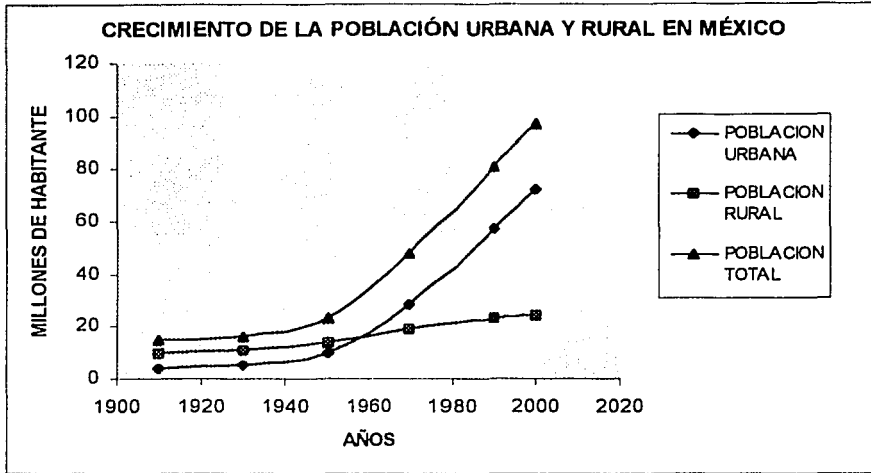
Ya en esta etapa el nivel del impacto ambiental es grave, debido al incremento acelerado de la población y por lo tanto ya es evidente el agotamiento de las tierras de cultivo así como el inadecuado manejo y el abandono de estas, (ver tabla 2.4). Los datos muestran que la población urbana es la que se ha incrementado más que la rural principalmente después de la década de los años treinta.

Tabla 2.4. Crecimiento de población en México (1910-2,000)

CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL EN MÉXICO			
AÑO	POBLACION URBANA	POBLACION RURAL	POBLACION TOTAL
1910	4 351 172	10 809 197	15 160 369
1930	5 540 631	11 012 091	16 552 722
1950	10 983 483	14 807 534	23 791 017
1970	28 308 556	19 916 682	48 255 238
1990	57 959 721	23 289 924	81 249 645
2000	72 759 822	24 723 590	97 483 412

ENC. 2007
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.2. Crecimiento de población en México (1910-2,000)



Fuente: Anuario Estadístico (2001)

El deterioro causado al medio ambiente, en particular a las tierras agrícolas durante la etapas mencionadas ha originado que ya desde finales del siglo XX, las zonas áridas y semiáridas sean consideradas como de gran vulnerabilidad a la desertificación y por ello se han llevado a cabo estudios al respecto.

Los primeros estudios científicos para evaluar la pérdida de los recursos edáficos del país comienzan a realizarse hasta los años cuarenta del siglo XX, como señala Llerena *et al.*, (1992) citado en Oropeza y Alfaro, (1997). Y por la revisión bibliográfica y cartográfica de los últimos autores, se sabe que la mayoría de las investigaciones están enfocadas a la erosión hídrica, y en menor proporción a las investigaciones sobre la erosión eólica y la salinización, pero también muy importantes ya que todos estos fenómenos se deben al mal manejo de las tierras agrícolas, ganaderas y forestales.

Las características de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas las hacen vulnerables a los efectos de la desertificación, pero éstos, no suceden con igual intensidad por eso existen varios estudios con los que se ha intentado conocer, cada vez mejor, el

grado de desertificación de acuerdo a los procesos más evidentes. Conviene afirmar que se han utilizado diversas metodologías (diferentes escalas, criterios e indicadores, conceptos, entre otros), en los estudios asociados a la degradación de suelos o a la desertificación, por lo que los resultados difieren respecto a la extensión, tipo y grado de los procesos.

Algunos autores han dividido al país en regiones con objeto de indicar cuáles son los procesos erosivos dominantes; por ejemplo, en la regionalización presentada por García, (1978), basada en la visión sinóptica de las imágenes de satélite y en fotografías aéreas y apoyada por la literatura existente, se distinguen dos grandes regiones:

- A) Tierras extratropicales: subhúmedas, áridas y semiáridas.- principalmente en Baja California, con vulnerabilidad fundamentalmente, a la erosión hídrica, eólica y sedimentación en tierras bajas.
- B) Tierras tropicales.- están representadas básicamente por regiones de Chiapas en las que la vulnerabilidad por erosión hídrica es severa, con suelos pobres y delgados (García 1978).

Con respecto a la erosión hídrica, en 1982, Estrada y Ortiz, por parte de la Universidad de Chapingo, realizaron un plano de erosión hídrica con escala 1:2,000,000 (mapa original), para conocer los niveles de afectación de este fenómeno; los clasificaron en erosión ligera, moderada, alta y severa. Los resultados indicaron que un 63.41% de la superficie del territorio nacional presentaba erosión hídrica y que sólo un 8.62% correspondía a erosión severa, por lo que no se consideraba un problema crítico. Los niveles de erosión por estados se aprecian en la tabla 2.5, en donde Guanajuato y Michoacán son los estados que tienen mayor porcentaje de erosión severa con 43% y 35% respectivamente.

Ortiz y Estrada (1993) también evaluaron el grado de erosión eólica, mediante la elaboración de un trabajo en el que aplicaron la Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos de la FAO, en escala 1:2,000,000. El resultado fue que un 93.8% del territorio nacional estaba afectado por la erosión eólica, en distintos grados y dado que sólo el 17.6% correspondía a un grado muy severo, el problema tampoco se consideró crítico.

Otros datos citados en el PACD, (1994) revelaron que el principal proceso de deterioro era la erosión hídrica, afectaba al 85% del territorio nacional, Por otro lado la erosión eólica afectaba al 60% de la superficie del país.

En forma severa y extrema, la erosión hídrica afecta en más del 45% de su superficie a los siguientes estados: Aguascalientes, Guanajuato, Coahuila, Michoacán, Zacatecas,

Jalisco, Nuevo León y San Luis Potosí. La erosión eólica afecta principalmente a los estados de San Luis Potosí, Morelos, Hidalgo, Nuevo León, Baja California, Querétaro y Zacatecas con más del 80% de la superficie estatal (PACD), ver tabla 2.5

Tabla 2.5 Superficies y niveles de erosión hídrica por estados

Estados	Sup total del Edo. Km ²	Erosión Ligera %	Sup. Km ²	Erosión Moderada %	Sup km ²	Erosión Alta %	Sup. Km ²	Erosión Severa %	Sup km ²
Ags.	5,589	0	0.00	19.78	1,005.51	56.04	3,132.29	24.17	1,351.18
B.C. Norte	70,113	18.37	12,885.35	72.69	50,967.56	8.77	6,155.75	0.15	104.33
B.C. Sur	73,677	3.34	2,467.37	81.30	59,905.59	13.16	9,697.36	2.18	1,606.66
Camp.	51,833	100	51,833	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
Chis.	73,887	58.17	42,984.75	29.91	22,104.85	8.36	6,180.45	3.54	2,616.94
Chih.	247,078	25.67	63,445.12	53.11	131,238.15	15.88	39,245.58	5.32	13,158.14
Coah.	151,571	8.47	12,842.00	25.76	39,056.18	58.68	88,951.5	6.99	10,603.49
Col.	5,455	53.06	2,894.48	13.26	723.62	33.67	1,836.88	0.0	0.0
D.F.	1,499	33.33	499.66	9.52	142.76	47.61	713.81	4.76	71.38
Dur.	119,648	24.18	28,935.88	42.02	50,276.76	21.01	25,138.38	12.78	15,296.97
Gto.	30,589	7.33	2,366	23.38	7,154.33	25.78	7,886.66	43.09	13,182.0
Gro.	63,794	53.37	34,052.57	36.61	23,356.57	5.64	3,601.71	4.27	2,728.57
Hgo.	20,987	29.64	6,222.56	36.92	7,749.91	22.64	4,751.77	10.78	2,262.75
Jal.	80,127	27.42	21,980.12	26.33	21,103.01	19.83	15,895.84	25.03	20,061.25
Mich.	59,864	29.07	17,407.67	19.19	11,490.21	16.122	9,651.77	35.60	21,314.34
Mor.	4,941	56.69	2,801.19	11.47	566.90	31.83	1,572.89	0.0	0.0
Méx.	21,461	19.82	4,254.84	42.18	9,052.49	12.75	2,737.34	25.23	5,416.32
N. León	64,555	18.33	11,837.85	33.93	21,905.55	42.93	27,713.84	4.79	3,097.75
Oax.	95,364	53.83	51,341.12	27.84	26,549.88	4.22	4,027.86	13.44	12,821.09
Pue.	33,919	41.38	14,037.33	29.46	9,995.45	19.16	6,499.77	9.98	3,386.43
Q. Roo	50,350	100	50,350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S. L. P.	62,848	17.77	11,172.98	35.73	22,457.68	32.71	20,558.28	13.77	8,659.05
Nay.	27,621	58.16	16,066.21	32.72	9,054.12	5.70	1,576.69	3.39	937.95
Sinaloa	58,092	54.34	31,568.04	16.97	9,861.47	25.36	14,735.53	3.21	1,870.28
Son.	18,4934	24.27	44,892.37	39.63	73,295.98	27.45	50,765.09	8.64	15,980.55
Qro.	11,769	47.52	5,593.18	22.77	2,680.06	28.71	3,379.21	0.99	116.52
Tams.	79,829	66.36	52,975.89	17.52	13,988.33	11.04	8,819.95	4.22	3,370.68
Tab.	24,661	88.00	21,703.91	3.84	948.5	8.19	2,008.58	0.0	0.0
Tlax.	3,914	32.30	1,264.52	10.77	421.50	56.92	2,227.97	0.0	0.0
Ver.	72,815	60.28	43,893.95	29.47	21,463.06	8.75	6,376.29	0.86	626.24
Yuc.	39,340	100	39,340.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zac.	75,040	16.83	12,635.19	35.49	26,634.75	35.57	26,694.07	12.09	9,075.98
Total del país	1,967,183	36.424	716,545.10	34.325	675,236.84	20.462	402,533.11	8.627	169,717.22

Fuente: Estrada y Ortiz, 1982.

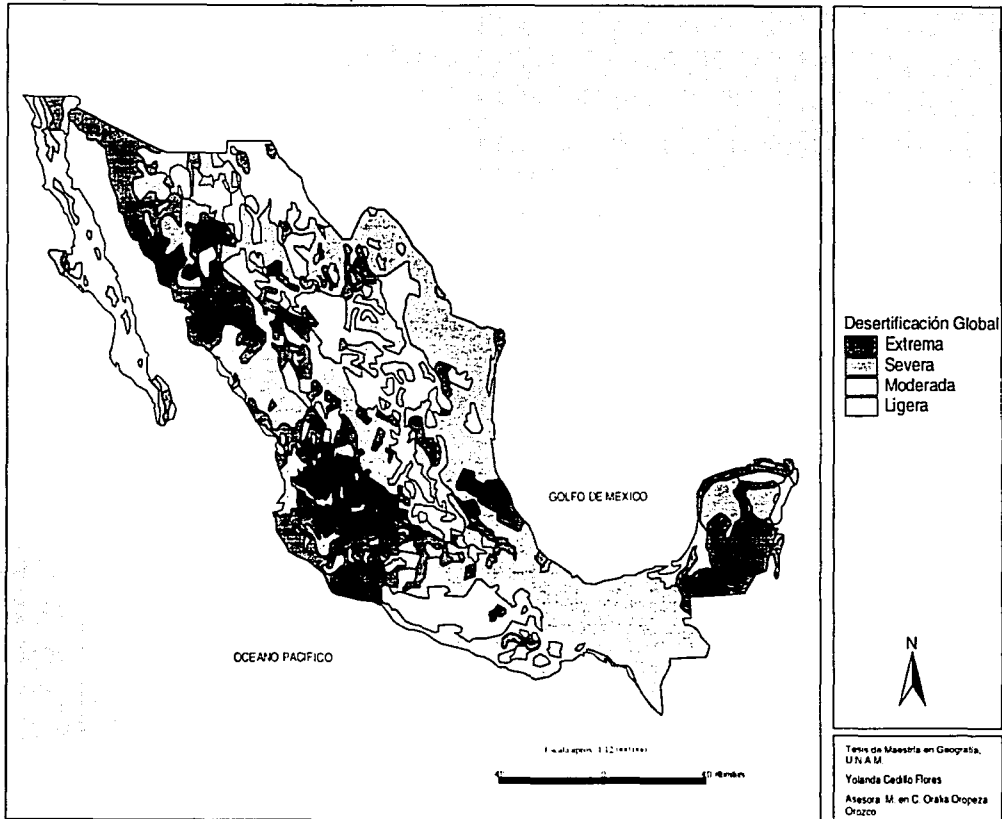
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la figura 2.3 se muestra un mapa realizado por el PACD, 1994, donde se puede identificar que casi todo el país tiene problemas de desertificación global (es decir, se consideran los principales procesos de desertificación: erosión hídrica y eólica, salinización, degradación física, química y biológica), pero más que desertificación podría decirse que el fenómeno se confunde con la degradación de tierras ya que también incluye todas las zonas climáticas.

Las diferentes metodologías para evaluar la erosión hídrica y eólica citadas anteriormente, no permiten conocer las condiciones reales del estado de erosión del país. Sin embargo, nuevos estudios que se están realizando han mejorado esta perspectiva.

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

Figura 2.3 Desertificación Global de la República Mexicana



Fuente: PACD, 1994

Por otra parte, se realizó un estudio que permite tener un conocimiento de los grados de vulnerabilidad al cambio climático y a la desertificación en el país, éste forma parte del proyecto "Estudio de País: México".

Los resultados muestran que las zonas áridas y semiáridas están consideradas como de gran vulnerabilidad a la desertificación debido en gran parte a su posición geográfica y a la sobreexplotación de sus recursos. Sin embargo, también en otras zonas con climas más húmedos se está manifestando de manera acelerada el mismo proceso. Más del 90% del país es vulnerable a la degradación de tierras (desertificación), en grado moderado y alto. Dado que es un fenómeno complejo aún es insuficiente la información de las variables involucradas en este estudio (Oropeza y Alfaro 1997; Oropeza, 2000).

Otro estudio con el que se evaluó la degradación de los suelos fue el realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el año de 1997; los resultados se presentaron en un mapa con escala 1:4,000,000. Posteriormente, en 1999 se generó otro mapa escala 1:1,000,000 en cuya memoria se reportó que el 64 % de los suelos del país presentaban problemas de degradación en diferentes niveles. Se concluyó que el proceso dominante de degradación de suelos era la erosión hídrica con una superficie afectada de 73'606,690 ha, equivalente al 37% del territorio mexicano; la erosión eólica con un 15% y la degradación química en un 7% (Nieves *et al*, 2001 a; SEMARNAP, 1999).

También se encontró que la degradación eólica afectaba principalmente las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas (en 15% de la superficie nacional); y la degradación química (salinización y contaminación por desechos urbanos e industriales) con efecto principalmente en zonas agrícolas, comprendiendo un área de 13 millones de ha, 37%.

Debido a la falta de información más detallada sobre la degradación del suelo causada por el hombre, se elaboró una nueva evaluación, mucho más precisa, a nivel regional, escala 1:250,000.

La información resultante forma parte del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2000-2006 formulado, organizado y coordinado por la SEMARNAT.

El proyecto elaborado se basó en la metodología de Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el Hombre, conocida como ASSOD por sus siglas en inglés (1997).

Con esta evaluación reciente de los suelos, la SEMARNAT (2002) pretende, entre otros aspectos, precisar los procesos, tipos, niveles de afectación, extensiones afectadas y reconocer las principales causas de la erosión y degradación de los suelos en México.

Los estudios indican que en todo el territorio mexicano la degradación del suelo a causa de las actividades humanas tiene dos orígenes:

- a) El desplazamiento del material del suelo ya sea por erosión hídrica o erosión eólica, que genera pérdida de suelo superficial y deformación del terreno.
- b) El deterioro interno del suelo por tres causas, químicas (cuando se pierden nutrimentos), biológicas (por desequilibrio de actividades microbiológicas) y físicas (por compactación, inundación o aridificación).

La evaluación se realizó a *nivel nacional*, por *regiones hidrológicas* y por *regiones ecológicas*, por lo que la información puede ser utilizada con diferentes enfoques y usuarios de numerosas disciplinas. En la tabla 2.5 únicamente se muestran los datos correspondientes al nivel nacional sin citar los de las regiones mencionadas.

Tabla 2.6. Porcentaje de la superficie afectada por los procesos de degradación del suelo.

Proceso de degradación del suelo	Superficie nacional afectada (%)	Estados más afectados (%)	
Química	18.3	Yucatán 53.2	Chiapas 33
Hídrica	11.4	Guerrero 31.3	Michoacán 26.9
Eólica	9.4	Chihuahua 28.7	Tlaxcala 26.6
Física	5.9	D. F 43.6	Tabasco 37.6

Fuente: SEMARNAT (2002).

Con respecto a los tipos de degradación, SEMARNAT (2002) presenta una clasificación un tanto diferente a la que se encontró en la bibliografía correspondiente a fechas anteriores a la elaboración de esta memoria sobre evaluación de suelos, ya que cada tipo de degradación es presentado con algunas divisiones o subtipos como se muestran en el cuadro 2.1, considerando que puede ser el resultado de la escala más detallada que se utilizó.

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

Cuadro 2.1 Clasificación de los tipos y subtipos de degradación del suelo.

Tipo de degradación	Subtipos
Degradación química	Declinación de la fertilidad Polución Salinización
Erosión hídrica	En el suelo superficial Con deformaciones del terreno como cárcavas
Degradación física	Compactación del suelo Pérdida de la función productiva (por cubrimiento de asfalto o concreto)
Erosión eólica	En el suelo superficial

Fuente: SEMARNAT (2002)

Cabe señalar que a diferencia de esta clasificación, en la información consultada en otra bibliografía se señala a la erosión hídrica y eólica como parte de la degradación física.

Se concluyó que los factores que causan los procesos anteriores son principalmente las actividades agrícolas (38.8%), le siguen el pastoreo (38.4%), la deforestación (16.5%) y la urbanización (3.5%) y la explotación de la vegetación para consumo (2.4%).

Las conclusiones generales de esta evaluación son:

- Los suelos degradados por la acción del hombre abarcan el 45% del país.
- El principal proceso de degradación es químico (18.3%) y le siguen:
 - Erosión hídrica (11.4%)
 - Erosión eólica (9.4%)
 - Erosión física (5.9%)

Los estados con mayor degradación global de suelos son Tlaxcala (73.9%), Yucatán (71.3%) y Tabasco (70%).

Comparando los resultados con los de estudios anteriores de Estrada y Ortiz (1982), Ortiz y Estrada (1993), el PACD (1994) y SEMARNAT (1999), sobre la evaluación de la degradación de los suelos generada por el hombre, se aprecia que se obtuvieron porcentajes mayores a los reportados por SEMARNAT, esto se debe al tipo de metodología utilizada.

Asimismo se distingue que anteriormente se consideraron como los procesos más significativos de la desertificación, a la erosión hídrica y a la erosión eólica sin discriminar

causas naturales o humanas. Sin embargo, en este último trabajo reportado en SEMARNAT (2002), el proceso de degradación primario es la erosión química.

Finalmente en otros datos referentes al deterioro del suelo de las zonas áridas, amplias extensiones de suelo se han degradado y según estimaciones de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 700 millones de toneladas de suelo fértil se pierden anualmente en México. Esta cifra es mayor a las aproximaciones citadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que reportó pérdidas de suelo equivalentes a 460 millones de toneladas anuales, todas vinculadas con las lluvias y el viento. (PACD, 1994, El Universal 17-jun-2001(a)).

Afrontar los efectos de la desertificación es una labor difícil en nuestro país, por una parte debido a la complejidad del fenómeno (El Universal 17-jun-2001 (a)), además la velocidad de desertificación es mayor que la velocidad de recuperación de los suelos en los sistemas dedicados a la producción agrícola, pecuaria y forestal (Ortiz y Estrada, 1993). Por otra parte la dificultad radica en la situación económica y social existente en nuestro país ya que más de 20 millones de personas habitan las zonas áridas y semiáridas del país (El Universal 17-jun-2001 (a)), situación que será tratada más adelante.

CAPÍTULO 3. CAUSAS ANTROPOGÉNICAS Y EFECTOS DE LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO.

Es muy difícil separar las causas naturales de las antropogénicas pues actúan en estrecha relación, toda vez que un mismo proceso de desertificación y cambio climático puede ser originado tanto por la naturaleza como por el hombre, o sus efectos se pueden manifestar de diferentes maneras, definir los límites entre éstas causas y efectos es muy complejo de tal forma que el análisis, en ocasiones, parecerá un tanto repetitivo. En los siguientes dos capítulos se analizan los principales procesos de la desertificación y el cambio climático, separándolos según sean sus causas antropogénicas (capítulo 3) y de origen natural (capítulo 4), así como sus efectos o consecuencias negativas para los ecosistemas y para las actividades humanas en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México.

Entre las numerosas **causas antropogénicas** que desencadenan los procesos de la desertificación y el cambio climático, se encuentran causas directas como: la transformación de las áreas naturales para las actividades agropecuarias, el cultivo en suelos frágiles, la reducción del tiempo de descanso de la tierra, la falta de prácticas de fertilización química y orgánica, el mal manejo, la quema y sobrepastoreo de los pastizales, incendios forestales inducidos por el hombre y la tala excesiva con diferentes fines; y causas indirectas como: las industrias (petrolera, termoeléctrica, química, etc.) altamente contaminantes y emisión de gases con efecto invernadero, el crecimiento acelerado de la población, incluyendo al turismo. Otras causas más que son determinantes en la degradación de la tierra o desertificación se refieren a la explotación inmoderada y uso irracional de los recursos en general, así como a la falta de educación y concientización (PACD, 1994, Ortiz *et al*, 1994).

Ordenando y agrupando las causas antropogénicas, que están muy relacionadas entre sí, a continuación se analizan las siguientes:

1. Emisión de gases de invernadero
2. Cambio de uso del suelo y degradación de la cubierta vegetal (Deforestación)
3. Sobrepoblación y urbanización (políticas de estado que afectan al medio ambiente)
4. Explotación de los recursos
5. Uso inadecuado de tecnología
6. Salinización

3.1 Emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.

De los gases que contribuyen al efecto invernadero y se relacionan con la desertificación el más importante es el CO₂ que se produce cuando se utilizan combustibles fósiles para generar energía y cuando se talan y queman los bosques. Otros gases son el metano y óxido nitroso cuyas emisiones proceden de las actividades agrícolas, los cambios del uso de la tierra y otras fuentes; el ozono se genera indirectamente por los gases de escape de los automóviles (Lozano, 1998; Tecnología Ambiental, 1998).

Otros gases que contribuyen al efecto invernadero son los productos químicos artificiales llamados halocarbonos (CFC, HFC y PFC) emitidos por procedimientos industriales (Tecnología Ambiental, 1998).

En México los principales emisores de gases de invernadero son el sector energía (por el uso de combustibles fósiles) con 83.8 MtC (Gay y Martínez, 1995; citado en Ordóñez, 1999), el cambio en el uso del suelo y la forestería con 30.2 MtC (Masera *et al.*, 1995 y 1997; citado en Ordóñez, 1999),

Por otro lado, las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero para el año 1990, reportadas por INEGI-INE-(2000), fueron:

Bióxido de carbono (CO ₂)	444 449 Gg. (Gigagramos)
Metano (CH ₄)	3 641.66
Óxido nitroso (N ₂ O)	11.78

Durante el evento "Adaptación y Mitigación del Cambio Climático", llevado a cabo en junio del 2002, en la Ciudad de México, (Torre de Ingeniería, UNAM), se hizo énfasis en que los estudios de los gases de invernadero se enfocan principalmente al CO₂ porque es el gas que más se emite y procede en un 85% de equipos de combustión.

Por parte de PEMEX, se elaboró el primer inventario de gases de efecto invernadero en 1995 y se continúa cuantificando la emisión de estos gases. Los datos indican que las emisiones se redujeron un poco, ya que en el año 1999 se emitieron 41, 553 toneladas de este tipo de gases y para el 2001 la cifra fue de 40, 046 toneladas aproximadamente (Fernández, 2002 comunicación oral).

La quema de combustibles es la actividad que está provocando un aumento en la cantidad de carbono atmosférico, ello a su vez, genera problemas de desertificación locales y regionales como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos. Estos problemas surgen cuando, por ejemplo, en una región, la población se abastece de leña que utiliza como combustible, y sin planeación se talan áreas extensas de bosques. Como resultado se va degradando la cubierta vegetal y el efecto de la erosión se acentúa al quedar el suelo casi o totalmente desprotegido de vegetación; la limitada cantidad de vegetación y el deterioro de los suelos impide la infiltración, ya que el agua de la lluvia deja de ser absorbida y en las reservas acuíferas el bajo suministro de agua reduce el nivel de captación, lo que en casos graves puede originar el agotamiento de estas reservas.

El principal efecto dañino se hace más notorio en las grandes ciudades ya que la calidad del aire es deficiente, la temperatura es más alta debido a que se crea la "isla de calor", se produce la lluvia ácida que afecta la biodiversidad citadina y se desencadenan diversas enfermedades entre los habitantes, como sucede en la Ciudad de México (Jáuregui, 2000).

3.2 Cambio de uso del suelo y degradación de la cubierta vegetal (Deforestación)

Este apartado, se refiere al inadecuado uso de la tierra. Cada tipo de tierra tiene características que hacen que su uso sea específico, pero no siempre se le da el uso apropiado. En México, se han detectado varias condiciones, por ejemplo, cuando el uso es el adecuado pero el mal manejo es tal que se llega a un punto de desequilibrio lo que facilita la degradación, en otras el uso puede ser inadecuado pero hay un buen manejo y no se genera degradación, (Ortiz *et al.*, 1994).

La degradación de los suelos debido a los cambios de uso del suelo representa una gran problemática porque causa procesos de desertificación que van limitando su productividad y modifica las condiciones ambientales que ocasionan también cambios en las condiciones climáticas.

Los cambios en el uso del suelo también suceden por necesidades de cultivar alguna especie o, como se mencionó, por desconocimiento del uso más adecuado que debe aplicarse a un suelo. Uno de estos cambios se manifiesta en áreas cercanas al lago Cuitzeo, en donde una gran extensión de áreas agrícolas se convirtieron en vegetación secundaria arbustiva, disminuyendo su potencial en la década de los años setenta (López *et al.* 2001).

El cambio de uso del suelo en el aspecto agrícola, genera también la necesidad de altos requerimientos de agua para riego. El 80% del agua en el país se utiliza para el sector agrícola porque en muchos casos se siembran productos inadecuados para los tipos de suelos locales o la población precisa de estos productos (Székely, 2002 comunicación oral).

Uno de los procesos relevantes asociado al cambio del uso del suelo es la degradación de la cubierta vegetal como consecuencia de la deforestación. Las actividades humanas en muchos casos dañan la cubierta de vegetación y se propicia un desequilibrio ecológico. Cuando la cobertura vegetal, particularmente la cobertura forestal, es talada, como consecuencia, desaparecen extensas áreas de vegetación que dejan al suelo sin protección, se produce menor cantidad de lluvia, la temperatura tiende a elevarse y disminuye la humedad de los suelos ya que aumenta la evaporación y se reduce la infiltración, se favorecen los procesos erosivos, por lo tanto, entre otros efectos, se degrada la tierra, se incrementa el albedo y se altera el clima. Por el contrario, el beneficio al mantenerse la asociación boscosa es que retiene agua, ésta se infiltra en el subsuelo y se forman manantiales evitándose así que ocurra erosión, (Ortiz *et al.*, 1994). Además, actúa como una capa protectora de las laderas ante fenómenos catastróficos, (impacto de las tormentas, movimientos de masa, etc).

A escala local los efectos de la deforestación se reflejan en la degradación de los suelos, cambios en el microclima y pérdida de la diversidad de especies, a escala regional, afectan el funcionamiento de las cuencas hidrográficas y de asentamientos humanos y, a escala global contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático global. (Bocco *et al.*, 2001).

La deforestación, como se ha visto desde el primer capítulo, es uno de los detonadores de la desertificación y, puede ser generada por cambio de uso del suelo, incendios inducidos, prácticas agrícolas erróneas, además de las particularidades naturales de la capa del suelo. La deforestación es un proceso cuyo desarrollo, sobretodo se ha acelerado en regiones intertropicales, debido a políticas de incremento de la productividad económica (usos maderables), Zoon y Orlovski, 1987.

La deforestación es una actividad que se practica en México, en algunos casos, para utilizar los recursos que reditúan altas ganancias económicas, como son la venta de maderas bien cotizadas o para habilitar terrenos como plantíos de vegetación "ilegal". En otros, por necesidades de asentamientos de la población, creación de nuevas carreteras, trabajos de exploración geológica o bien de zonas industriales y de recreación. En ambos

casos es común que la deforestación se realice de manera indiscriminada y que casi no haya control por parte de las autoridades responsables de cuidar el medio ambiente.

En el país se presentan cambios de uso del suelo donde existen casos en los que la regeneración de la vegetación resulta poco probable debido al tipo de especies que se eliminan. En la costa occidental del territorio, el cambio en el uso del suelo representa una amenaza ya que, de manera drástica, el bosque tropical se ha transformado en pastizal, en los últimos 50 años (Cotler, 2001). Aunado a esto ocurre pérdida de suelo, nutrientes y agua, situación que cuando tiene lugar en las regiones húmedas, se torna más grave (Mass et al. 1988, citado en Cotler, 2001).

México es uno de los países con mayor deforestación a nivel mundial. Anualmente se pierden extensas áreas de bosques templados y selvas por los procesos de deforestación. Aunque la tasa de deforestación no se conoce con precisión se han reportado diversas cifras. Masera *et al.*, (1995a) menciona que según datos de 1990 la tasa de deforestación variaba entre 370 y 670 mil ha /año para los bosques templados y selvas. Con estos datos se estimaba que la deforestación para los primeros era de 1% y para las segundas de 2% al año. En Masera *et al.*, 1997 (citado en Bocco *et al.*, 2001), se señala que a principios de los años noventa se perdían anualmente 720,000 hectáreas de bosques, selvas y vegetación semiárida. Y, Oropeza y Alfaro, (1997) encontraron que, durante la década de los 90, la destrucción de la cubierta vegetal por diversas causas oscilaba de 329 mil a 1.5 millones de hectáreas anuales.

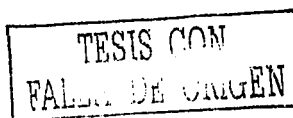
En la tabla 3.1 se aprecian los porcentajes estimados para los diferentes usos del suelo.

Los bosques y selvas ocupaban una superficie de 56, 851.500 ha y la vegetación semiárida 57,638.400 ha.

Tabla 3.1 Principales usos del suelo en México

USO DEL SUELO	PORCENTAJE (%)	SUPERFICIE (ha)
Pastizales	14.2	27,933,900
Terrenos agrícolas	12.7	24,983,200
Terrenos agropecuarios	11.4	22,425,800
Bosques	15.5	30,491,300
Selvas	13.4	26,360,200
Arbustos y matorrales	29.3	57,638,400
Vegetación de desierto y dunas	1.6	3,147,400
Otros	1.9	3,737,600

Fuente: SARH, 1994, citado en Ordoñez, 1999.



La deforestación puede ocasionar la conversión del suelo a praderas y a cultivos agrícolas, los incendios forestales y la tala irracional entre otros, Tabla 3.2 (Ordoñez, 1999). El uso del suelo es una práctica que actúa también de manera bidireccional ya que origina procesos de desertificación como de cambio climático.

Tabla 3.2 Cambios en el uso del suelo

Entre los factores que tienen mayor impacto en la deforestación destacan el cambio de uso del suelo, la conversión a praderas y a cultivos agrícolas, los incendios forestales y la tala irracional.

Actividad	Bosque de pino		Bosque de encino		Selva alta		Selva Baja		Total	
	Miles de ha.	%	Miles de ha.	%	Miles de ha.	%	Miles de ha.	%	Miles de ha.	%
Deforestación	163	100	82	100	137	100	322	100	804	100
Ganadería	45	28	23	28	139	58	187	57	394	49
Agricultura	26	16	14	17	24	10	45	14	105	13
Tala	8	5	4	5	5	2	16	5	32	4
Incendios forestales	79	49	39	47	52	22	23	7	193	24
Otros	5	3	2	3	17	7	52	6	80	10

Fuente: Masera *et al.*, 1995a, citado en Ordoñez, 1999.

Actualmente, de acuerdo con el Inventario Forestal Nacional del 2000, los matorrales cubren la mayor proporción de la cubierta vegetal con casi 30%; los cultivos, el 24%; los bosques y selvas con superficies entre 15 y 17% del total nacional. Los pastizales cubren casi un 10%. No obstante lo anterior, SEMARNAT ofrece las siguientes cifras en su informe más reciente:

Bosques templado y tropical 29% los matorrales 26% agricultura y pastizales 25% zonas urbanas 0.23% datos de 1999 (INEGI-SEMARNAP en Memoria SEMARNAT-2002)

A manera de ejemplo sobre la deforestación y el cambio en el uso del suelo puede citarse el estado de Michoacán en donde los bosques constituyen el 37% de la superficie forestal distribuyéndose en 86 de los 113 municipios del estado y la deforestación estimada es de 30 a 40 millones de hectáreas anuales según los datos de SEMARNAP 2000, citado en el Atlas Forestal de Michoacán (2001). La deforestación se debe principalmente a cambio en el uso del suelo, incendios, y plagas, por citar algunos. En la visita de campo efectuada al Estado de Michoacán se observaron áreas deforestadas y algunas zonas reforestadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SE
DE LA BIBLIOTECA

Una causa importante de la destrucción de los bosques es la tala clandestina, propiciada por la insuficiente regulación federal en el transporte, transformación y almacenamiento de materias primas forestales.

La instalación y funcionamiento de industrias forestales crecieron en más de 5 veces, pasando de 339 centros de transformación y almacenamiento en 1995 a 1,893 en el año 2000. En el estado se han identificado y caracterizado 8 regiones críticas en materia de ilícitos forestales que van desde la denominada tala hormiga o de subsistencia, hasta aquella en donde participan bandas organizadas, incluso armadas para cometer esos ilícitos a gran escala.

Según este Atlas existe escasa participación en los trabajos de aprovechamiento de recursos forestales y en las actividades de protección y restauración de los bosques por parte de ejidos y comunidades del estado. Por ello, las actividades de aprovechamiento las llevan a cabo industriales o intermediarios con sus propios recursos humanos y materiales.

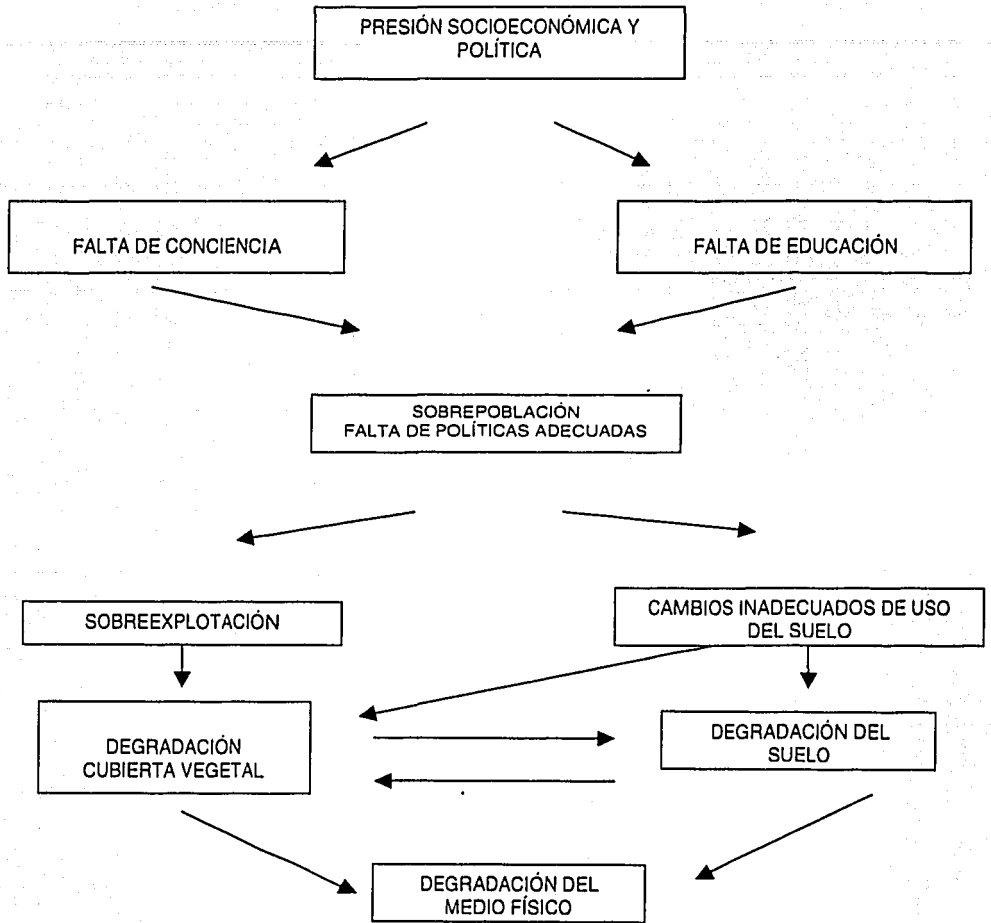
3.3. Sobre población y urbanización (políticas de estado que afectan al medio ambiente)

Por una parte, el aumento de la población origina gran demanda de recursos naturales y por otra, en muchas ocasiones, la escasa o nula planeación del manejo de estos recursos naturales desencadena y acelera los procesos de desertificación (Nuestras Tierras, 2000).

Con el aumento de la población se ha intensificado la presión sobre la naturaleza, sobrepasando la capacidad de recuperación. Esto tiene efecto tanto en sitios con grandes concentraciones humanas como en sitios con escasa población ya que en estos últimos se sobreexplotan los recursos por la demanda generada en las otras regiones (Ortiz *et al.*, 1994).

En la figura 3.1 se relaciona la falta de conciencia y de educación en la población y trae consigo cambios inadecuados de uso del suelo, sobreexplotación de los recursos naturales, que a su vez repercuten en la degradación gradual de la cubierta vegetal, del suelo y finalmente en una degradación del medio físico.

Figura 3.1 Efecto de la población sobre el medio ambiente.



Fuente: Modificado de Ortiz et al., 1994

Comúnmente, también se asocian las condiciones socioeconómicas con el deterioro ambiental, y se asegura que la pobreza extrema es determinante para la ocurrencia de la degradación de los recursos. Sin embargo en el caso de México, aunque la pobreza es un

factor importante en el deterioro ambiental, existen otros factores que son agravantes de este deterioro, como son la adopción de políticas de desarrollo, en los cuales los patrones de producción, consumo y distribución, se caracterizan por la falta de racionalidad social y ecológica (PACD, 1994).

El crecimiento demográfico en las zonas áridas y en particular en las grandes ciudades afecta al ambiente ya que aumenta la contaminación del aire, se reducen los mantos acuíferos, la vegetación es removida para crear nuevas construcciones y todo en conjunto altera el clima local.

En el país en los últimos 20 años el crecimiento demográfico urbano ha ido en aumento. En 1990 la población de las zonas áridas era de 16'640,231 habitantes y para el 2010 podría elevarse a 25'974.000 habitantes (Gutiérrez y Valdéz, 1997).

La población de las zonas áridas más las semiáridas, sumaban para 1990, 23'983,555, o sea el 29.5% de población total del país (Juárez y Rodríguez, 1997).

En el año 2000, la población que habita en todas las zonas susceptibles a la desertificación (áridas, semiáridas y subhúmedas secas), más las zonas muy áridas es de aproximadamente 53'078,919 habitantes (54.43% del total nacional) y está distribuida en 101 914 localidades (consideradas desde un habitante de acuerdo con el INEGI), ver tabla 3.3.

Tabla 3.3. Distribución de la población total en las zonas áridas.

			Población total nacional: 97,483,412	Población total en zonas áridas
Zonas	Número de localidades	Población total (habitantes)	Porcentaje %	Porcentaje %
Muy árida	17,008	6,772,120	6.94	12.75
Árida	12,924	6,195,063	6.35	11.67
Semiárida	34,290	16,340,737	16.76	30.78
Subhúmeda seca	37,692	23,770,999	24.38	44.78
Total	101,914	53,078,919	54.43	99.98

Elaboración propia.

Fuentes: García *et al*, 1992 e INEGI, 2002.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el cuadro anterior se observa que el mayor número de localidades y de población se encuentra en las zonas subhúmedas secas, correspondiendo el 24.38% al total nacional y

al 44.78% del global de las zonas áridas. En segundo lugar se encuentra la población de las zonas semiáridas con 16.76% y 30.78% del total nacional y de las zonas áridas respectivamente. Con menor porcentaje se encuentra la población que habita en las zonas muy áridas y áridas, cuyos porcentajes son 6.94% y 6.35% respecto a la población nacional y 12.75% y 11.77% del global de las zonas áridas.

Si sólo se considera la población en localidades mayores a 2500 habitantes el número de localidades disminuye a 922, sin embargo los porcentajes con respecto al total nacional y al total de las zonas áridas son muy similares, ver tabla 3.4.

Tabla 3.4. Distribución de la población mayor a 2 500 habitantes en las zonas áridas.

Zonas	Número de localidades > a 2 500 hab.	Población total (habitantes)	Porcentaje %	Porcentaje %
Muy árida	176	5,593,175	7.68	13.87
Árida	144	5,185,793	7.12	12.86
Semiárida	200	11,793,059	16.2	29.26
Subhúmeda seca	402	17,726,563	24.36	43.98
Total	922	40,298,590	55.36	99.97

Elaboración propia.

Fuentes: García *et al*, 1992 e INEGI, 2002.

Los cuadros anteriores muestran que las zonas con más presión por la población son las subhúmedas secas y las semiáridas. Esto significa que son las más vulnerables a los procesos de desertificación y en general a la degradación ambiental, pues ahí se intensifican estos fenómenos.

Este aumento de población genera que el proceso de urbanización de algunas ciudades produzca lo que se llama la *isla de calor* que consiste en la presencia de aire más tibio sobre las ciudades. Gran parte de las áreas urbanas se han extendido rápidamente quedando unidas a zonas agrícolas. El suelo natural es sustituido por construcciones, casas, pavimento, etc., lo que ocasiona se eleve la temperatura porque se absorbe la mayor cantidad de calor durante el día. Este fenómeno tiene impacto en las áreas agrícolas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cercanas a las ciudades ya que las temperaturas más elevadas pueden originar procesos de desertificación (Jáuregui, 2000).

En el caso de la Ciudad de México, la diferencia de temperatura es de 8°C, más baja en los alrededores que en el centro de la ciudad. Desde los años sesenta aparecieron indicios de un cambio en el clima repercutiendo en forma de ciclos de lluvias escasas o sequías e inviernos más severos y prolongados. Esta situación afecta a las llanuras semiáridas del norte de la ciudad, así como a la zona de glaciario del volcán Popocatepetl (Jáuregui, 2000). En otras ciudades ocurre lo mismo como en Monterrey y Guadalajara que se ubican en las zonas semiárida y subhúmeda respectivamente.

3.4. Explotación de los recursos

Se dice que existe explotación de los recursos naturales cuando las actividades humanas están enfocadas a obtener mayores ganancias como sucede en la explotación forestal y pecuaria.

Una de las muchas regiones mexicanas en donde la explotación de recursos ha sido notoria es el semidesierto de Coahuila, en donde esta actividad ha dejado rastros desde la época de la conquista española ya que cambió el estilo de vida de las poblaciones nómadas a sedentarias y el desarrollo minero requirió de grandes cantidades de madera para el apuntalamiento de la mina, así se produjo una tala immoderada de los recursos forestales (Nuestras Tierras, 2000).

Desde el siglo XIX la expansión de los asentamientos humanos y el desarrollo industrial permitió el establecimiento de industrias en detrimento de los suelos aptos para cultivos y muchas de las industrias en el país, están asentadas en lugares inapropiados; así se genera un cambio de uso del suelo en estas áreas y otras circundantes (Ortiz et al., 1994).

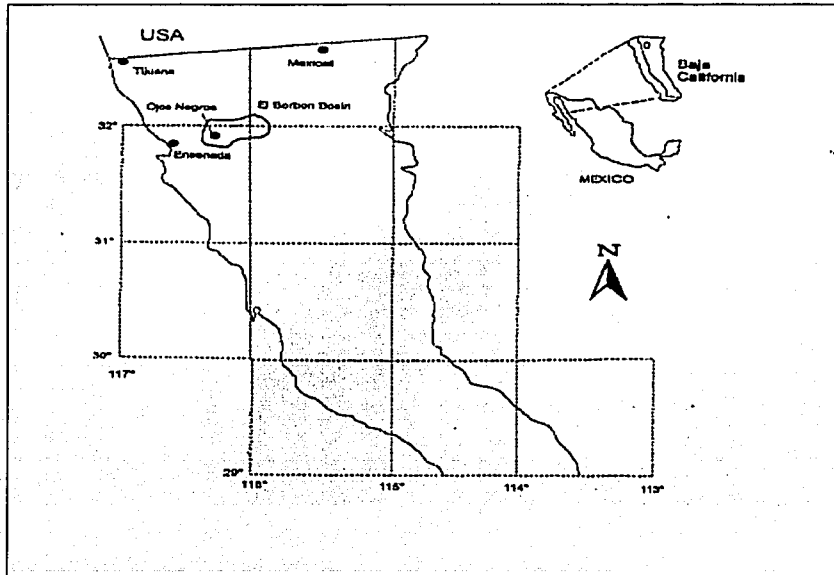
En otros casos la sobreexplotación de acuíferos, en muchos distritos de riego ha generado la salinización de los suelos (Oropeza y Alfaro, 1994).

"En México se estima hay 450 acuíferos subterráneos, de ellos casi 100 están en explotación, mismos que suministran el 50% de la extracción nacional para todos los usos. Debido a la sobreexplotación la recarga de agua subterránea se está minando a un ritmo cercano a 8 km³ por año, (INEGI, INE, 2000).

En diversas zonas áridas y semiáridas también existe sobreexplotación de la vegetación que puede estar enfocada únicamente a la extracción de algunas especies sin que se controle su utilización, por lo que estas pueden desaparecer o agotar las tierras. Por ejemplo, se explotan las siguientes especies: diferentes tipos de palmas, lechuguilla, candelilla, jojoba, cortadillo, nopal, maguey y mezquite de donde se extraen resinas, ceras, leña, fibras y aceites, entre otros. Según estudios hechos por CONAZA y la Universidad de Chapingo (El Universal, 17-jun-2001 (a); Cervantes 2002), en regiones del norte del país se explota la vegetación que florece en el desierto sobre suelos secos, mismos que conforman 53.94% del territorio nacional.

En un estudio realizado por Ponce *et al*, (2001), en el Valle de Ojos Negros, Baja California, entre 1949 y 1993, se ha analizado la posibilidad de que exista un cambio climático debido a la explotación de agua subterránea (figura 3.2). El objetivo que se pretende consiste en entender mejor el impacto antropogénico sobre el clima y el ambiente local, y su posible influencia a escala global.

Figura. 3.2 Localización de Valle de Ojos Negros.



Fuente: Ponce *et al*, (2001).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Este cambio está muy relacionado al uso y manejo del suelo que ha sido modificado por una agricultura de irrigación. El clima de este valle cambió de BSh(s)(e) a BShw(x')(e).

Por necesidades de la agricultura, en esta región se ha explotado el acuífero de Ojos Negros al no haber recursos hídricos superficiales. Principalmente se requiere el recurso para la agricultura de hortalizas que cubre un área de 2500 ha, aproximadamente 25% del Valle de Ojos Negros (Ercan, 1999, citado en Ponce *et al.*, 2001).

En este estudio se utilizó información de temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales, y la precipitación total mensual de tres estaciones climatológicas.

Los datos de temperatura utilizados comprenden tres periodos:

1948-1996	1949-1993	1967-1993
(49 años)	45 años	27 años

Los datos de precipitación utilizados comprenden tres periodos.

1960-1996	1949-1993	1967-1993
37 años	45 años	57 años

Los resultados indican que la temperatura tuvo una tendencia a disminuir en el período comprendido entre 1945 y 2000, asimismo, que la temperatura máxima extrema ha descendido un poco más de una décima de grado centígrado por año entre 1948 y 1996 (figura 3.3). También hubo un aumento casi de 50% de la precipitación, con 300 mm en la década de los 90, para una de las tres estaciones analizadas.

Además, las oscilaciones de temperatura y precipitación registradas pueden deberse a la actividad agrícola ya que se ha instalado numerosas bombas para extraer agua hacia la superficie e irrigar los cultivos. El afloramiento del agua debe ocasionar el incremento en la evaporación y la humidificación del medio ambiente además de disminución de albedo.

Dos estaciones tienen tendencias similares y requieren de mayor investigación en la otra estación se apreciaron los siguientes cambios considerables.

- El clima cambió de tipo seco árido semicálido a clima seco árido templado.
- Se manifestó reducción en la oscilación anual de temperatura.
- Hubo una disminución de 9° C en 39 años.

Respecto a la precipitación anual se presentó un aumento entre 50% y 100% y también se incrementó el número de días con precipitación.

La superficie de riego se ha extendido bastante en 30 años. Entre 1973 y 1993 el desarrollo agrícola se incrementó tanto que se requirió mayor extracción de agua.

Como resultado se han modificado tanto el balance energético como el balance hídrico que a su vez han cambiado el albedo, (Ponce *et al*, 2001).

Este ejemplo es muy singular porque las condiciones climáticas han sido benéficas para la actividad agrícola, sin embargo cabe destacar que a causa de la extracción de agua de los mantos acuíferos, probablemente éstos agotarán sus reservas y se desencadenarán una serie de procesos que conviertan a este lugar en una a región desertificada. En este caso sería conveniente realizar estudios que permitan estimar el tiempo que estos mantos acuíferos mantendrán sus reservas.

3.5. Uso inadecuado de tecnología.

Ocurre cuando se aplican tecnologías modernas para la producción agropecuaria con la finalidad de obtener altas ganancias en corto plazo, como son los cultivos comerciales, que constituyen fuertes extractores de agua y nutrimentos del suelo y olvidando la productividad del mismo a largo plazo (Ortiz *et al.*, 1994).

La mayoría de la tecnología que se utiliza en el país es aplicada en ambientes diferentes que deben ser estudiados para conocer sus características y éstos no se vean perjudicados. Entre los casos más frecuentes en que la tecnología causa afectaciones al medio y por tanto desertificación se pueden citar: el mal manejo de agua de riego y sistemas de drenaje deficientes pueden provocar empantanamiento y salinización, asimismo la aparición de plagas y enfermedades en los cultivos. La sobreexplotación de acuíferos particularmente con fines agrícolas, el uso excesivo de maquinaria agrícola, puede dañar los suelos al compactarlos, alterar el drenaje interno y modificar la estructura del suelo.

3.6. Salinización.

La salinización en los suelos, debida a la acción humana, puede ser causada por la aplicación excesiva de agua de riego, drenaje inadecuado, por riego con agua de calidad deficiente, por mala nivelación del terreno, por extracción desproporcionada de los acuíferos.

El problema de la salinidad en México se presenta fundamentalmente en las zonas áridas y a lo largo de la costa del territorio nacional, aunque también ocurre en algunas zonas húmedas con precipitaciones altas. En las zonas áridas y templadas, en cuencas cerradas se estima existen 1 millón de tierras ensalitradas. Y en las zonas de riego se calculan entre de 2 y 3 millones de hectáreas con distintos grados de salinización. Asimismo, aproximadamente entre el 20 y 30% (5.5 millones de ha) de las tierras de riego muestran

exceso de sales (se considera exceso cuando las sales pasan el límite de 4 mmhos/cm a 25°C o 15% de sodio intercambiable).

En el Valle de Mexicali, que forma parte de la desembocadura del Río Colorado (Baja California) se ubica el Distrito de riego del Río Colorado, el cual se vio afectado por la salinización del suelo. Esta situación se originó debido que el sistema de drenaje no era apto para eliminar el exceso de agua que contenía sales; aunado a esto la situación se agravó en la década de los sesenta debido a la extracción de agua salina. Para la década de los noventa, la superficie afectada por sales alcanzó entre el 80 y 90 %. Aunque se ha tratado de solucionar el problema utilizando diversas sustancias introducidas comercialmente como neutralizadoras de las sales, la solución más viable para eliminar el exceso de sales es el lavado de los suelos (Fernández, 1990).

Para el año 1994 la superficie estimada con salinización, por causas antrópicas, era de entre 500 000 ha y 1 millón de ha, principalmente por sobreexplotación de acuíferos (PACD, 1994) (Oropeza y Alfaro, 1994).

Finalmente, las consecuencias de la desertificación y el cambio climático, son numerosas, como se ha mencionado, vastas extensiones de tierra quedan improductivas, lo cual produce pérdidas económicas graves. Aunado a esta situación, en el aspecto social también se generan graves consecuencias. Miles de personas que por largo tiempo se dedicaron a actividades agrícolas se ven en la necesidad de emigrar hacia las ciudades y asentarse en la periferia de las zonas urbanas para buscar empleos diversos o emigran fuera del país en busca de oportunidades de trabajo y mejores condiciones de vida, (Arroyo, 1999; GEO 2000). En la mayoría de los casos emigran sólo los hombres, lo que genera una ruptura social e inestabilidad familiar; el grupo familiar se hace más vulnerable porque las autoridades comunitarias y gubernamentales a menudo no reconocen a las mujeres como contrapartes legítimas.

Según los estudios relacionados al cambio climático se desatarán condiciones de hambruna tanto a escala mundial como regional y México contribuirá con 10 millones de habitantes en riesgo de hambruna (Conde, 2002, comunicación oral).

Otra consecuencia de tipo social es el efecto en la salud de la población. En el evento "Adaptación y Mitigación al Cambio Climático" llevado a cabo en junio del año 2002, uno de los temas tratados fue este último. Los investigadores y expositores mencionaron que la salud humana está expuesta a ondas de calor, tormentas e inundaciones que producen agentes infecciosos asociados con el agua. Se generan plagas y alergias principalmente en

las zonas marginadas, desnutrición, además de desórdenes psicológicos, enfermedades de las vías respiratorias debido a la combustión de materia orgánica causada por los incendios (Moreno, Rosas, 2002, comunicación oral).

Aunque el tema central de este trabajo no es la vulnerabilidad, es inevitable mencionarla por estar tan ligada a los efectos anteriores.

Cabe señalar que muchos de estos efectos no se presentan de igual manera en otros países. Esto es porque algunos son más vulnerables que otros. De igual manera en México existen diferentes grados de vulnerabilidad al fenómeno del cambio climático, ya que ésta depende del impacto y de la adaptación a dicho fenómeno. La capacidad de adaptación depende de políticas correctas que se apliquen, no de estudios (Gay, 2002, comunicación oral).

CAPÍTULO 4. CAUSAS NATURALES Y EFECTOS DE LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO.

Como se mencionó en el primer capítulo, tanto la desertificación como el cambio climático son dos fenómenos que involucran numerosos procesos interrelacionados y, con frecuencia, actúan de manera bidireccional o multidireccional, ya que algún proceso que genere desertificación puede, a su vez, generar también cambio climático o, viceversa.

Por lo común, las causas naturales y antropogénicas están muy ligadas, y un mismo proceso de desertificación puede ser originado tanto por la naturaleza como por el hombre, o puede actuar de diversas maneras, como se verá en algunos casos, y por tanto, para facilitar la comprensión de estos fenómenos tan complejos, en el análisis con frecuencia se retoma y enfatiza en los aspectos ya señalados.

La desertificación debida a **causas naturales** es un evento que generalmente se produce lentamente, por lo que sus efectos, en muchos casos se notan cuando ya son severos e irreversibles. Esto dificulta o impide tomar acciones de control y prevención del fenómeno. Por ello, es preciso reconocer a tiempo los posibles impactos que podrían presentarse cuando la causa se debe a un fenómeno natural.

Se ha indicado que algunas causas naturales de los procesos de la desertificación, a escala mundial, son *la erosión hídrica y la erosión eólica, la salinización y la sodificación, el cambio climático, y las erupciones volcánicas*. En el caso de México también se observan las mismas causas, pero se presentan con diferente intensidad y frecuencia.

4.1. Erosión hídrica.

En el país la erosión hídrica ha tenido lugar a través de diversas etapas geológicas, las tierras han estado expuestas a cambios climáticos cíclicos de las épocas de glaciación y deglaciación. La serie de climas húmedos-secos-húmedos ocurridos durante el Pleistoceno entre otros fenómenos originaron depósitos lacustres por todo el país.

Este tipo de erosión "natural" está asociada a la remoción del suelo de las tierras en declive principalmente por lluvia. Como resultado de este tipo de erosión existen cuatro formas principales, caracterizadas por: (a) la erosión laminar es la remoción generalizada de la capa del suelo arable, por el impacto del agua de lluvia, (b) si la erosión es muy intensa, forma surcos (pequeños canales en la superficie del suelo), (c) también se pueden configurar

cárcavas (son surcos, pero se consideran así cuando obstruyen el paso del ganado y/o implementos agrícolas), y (d) el movimiento masivo de tierras (desprendimiento de tierra). Ortiz *et al* 1994. Cuando la erosión hídrica actúa sobre la capa superficial del suelo, disminuye la productividad agrícola, en algunas ocasiones hasta en un 100%, (Ortiz *et al.*, 1994; PACD, 1994).

Algunos efectos de la erosión hídrica en suelos del estado de Michoacán se apreciaron durante trabajo de campo realizado en esta entidad, en áreas de Tzintzuntzan, Pátzcuaro y Quiroga.

De acuerdo con el Atlas Forestal del Estado de Michoacán (2001), la erosión hídrica con deformación del terreno está presente en gran parte del estado y es la que afecta mayormente los suelos.

4.2. Erosión eólica.

La erosión eólica también es un proceso natural que ha estado presente durante millones de años, como agente modelador del relieve. En muchos casos la depositación de sedimentos en las tierras bajas, o el avance de dunas de arena propician naturalmente la desertificación (García, 1978).

En este tipo de erosión el mecanismo ocurre con el desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo provocado por el viento, principalmente en las zonas áridas y semiáridas, donde por la escasa precipitación, la vegetación no es abundante. La erosión eólica también puede ocurrir en áreas subhúmedas secas cuando la vegetación es rala o está ausente durante la estación seca. El área del ex Lago de Texcoco es un ejemplo de una región con erosión eólica y clima BS (semiárido templado) con períodos secos y fuertes vientos. (Ortiz y Estrada, 1993). En esta área, al terminar la estación de lluvias los suelos comienzan a perder humedad, además de la baja precipitación, el incremento en las horas de insolación y el aumento en la intensidad de los vientos superficiales remueven las partículas más expuestas de suelo y las transportan por suspensión. Esto produce que se formen enormes cortinas de polvo que viajan y cruzan la zona urbana de la Ciudad de México (Jáuregui, 1971).

En general, la erosión eólica afecta más a las áreas que presentan condiciones tales como suelo seco y suelto, escasa o nula vegetación, y superficie llana de gran extensión. (Ortiz y Estrada, 1993).

Los daños ocasionados por este tipo de erosión son la pérdida del suelo en el lugar de origen, y la formación de dunas en áreas adyacentes antes productivas (Ortiz *et al.*, 1994).

Ortiz y Estrada (1993) evaluaron la erosión eólica para el país y la clasificaron en cuatro clases, de ligera a muy severa. Los resultados indicaron que los estados con mayor porcentaje de superficie afectada en la escala muy severa eran: Campeche con 40.9%; Chihuahua con 36.2% y Sonora con 34.0%, lo cual confirma que en las áreas subhúmedas secas, en este caso, Campeche, puede ocurrir la erosión eólica y propiciar la desertificación.

Un ejemplo de este tipo de erosión, también se observó alrededor de la Laguna de Cuitzeo, Michoacán en donde según el mapa de degradación de suelos del Atlas Forestal de Michoacán (2001), la erosión eólica ocasiona altas pérdidas de suelo superficial en una amplia extensión del norte del estado.

4.3. Salinización y sodificación.

Los suelos salinos contienen sales solubles que en alto contenido, alteran desfavorablemente su productividad y favorecen el desarrollo de la desertificación (Ortiz *et al.*, 1994; PACD, 1994; Zárate, 1994); pueden contener gran cantidad de sodio y boro por lo que la salinización incluye la sodicidad y la concentración de boro.

Los suelos salinos son característicos de las zonas con climas áridos y semiáridos, no existen en regiones húmedas ya que en condiciones húmedas las sales solubles contenidas en el suelo y formadas por la intemperización de los minerales, comúnmente son lixiviadas a las capas interiores y hacia los mantos freáticos para después ser transportadas a los océanos. Los suelos salinos pueden ser resultado del suelo que ha estado expuesto al agua de mar (Ortiz *et al.* 1994), también pueden ser originados por los sustratos geológicos salinos o formarse también en cuencas endorreicas donde el escurrimiento provoca la acumulación de sales solubles (PACD, 1994).

Respecto al boro, este se encuentra en casi todas las aguas naturales y en cantidad variable, desde trazas a partes por millón. Este mineral es esencial para el crecimiento de las plantas pero se torna perjudicial si su nivel se eleva; comúnmente las plantas crecen con concentraciones de boro de 0.03 a 0.04 ppm y cuando llega a 1 ppm, su efecto tóxico es muy fuerte para las plantas (Ortiz *et al.*, 1994).FAO, 1984 citado en Ortiz *et al.*, 1994; PACD, 1994). El exceso de boro es frecuente en suelos salinos y su toxicidad ocurre en numerosas áreas en las regiones áridas y semiáridas.

Se ha estimado que en México existen 1 millón de hectáreas salinizadas, por causas naturales principalmente en las cuencas cerradas. En éstas es más notoria la salinización debido a que por cientos y miles de años se han acumulado sales. Algunos ejemplos son la Laguna Mairán, Coahuila y el Lago de Texcoco, Estado de México (Fernández, 1990).

4.4. Cambio climático, variabilidad climática y sus manifestaciones.

Es sabido que han existido variaciones en el clima a través de las eras geológicas, sin embargo actualmente estas variaciones están ocurriendo aceleradamente.

Estos fenómenos cuyo origen se debe tanto a causas naturales como antrópicas generan numerosos procesos que contribuyen a la desertificación en México, entre ellos destacan: las fluctuaciones de temperatura y la variabilidad de las precipitaciones, las sequías, las inundaciones, los eventos de El Niño, el cambio en el nivel medio del mar y de manera muy indirecta el retroceso de los glaciares.

A su vez, todos ellos pueden llevar consigo las siguientes consecuencias: la aceleración de la erosión hídrica y eólica y la salinización y sodificación, la reducción del espesor y la fertilidad del suelo, destrucción o reducción de la flora y fauna, con el doble papel de causa y efecto. Estas consecuencias provocan la degradación de las tierras, principalmente las dedicadas al cultivo. (García, 1978).

Debido a que los procesos mencionados están bastante asociados entre sí y, hacer una mención detallada de cada uno requeriría de un amplio espacio en este trabajo, lo cual quedaría un tanto fuera de contexto, la descripción de cada proceso se limita al nexo que tienen con la desertificación.

Reiterando, la existencia de alteraciones climáticas implica una serie de manifestaciones que no suceden de manera aislada, sino que en muchos casos se conjugan procesos que deben estudiarse simultáneamente, por ejemplo el fenómeno de El Niño que involucra tanto inundaciones como sequías.

En México, se llevaron a cabo estudios sobre el cambio climático que están integrados en un proyecto llamado "Estudio de País: México", en el que además de contar con un inventario de gases con efecto invernadero, se desarrollaron escenarios climáticos y se estimó la vulnerabilidad a diversos procesos con la finalidad de pronosticar las consecuencias que traería un cambio climático en el país. (Gay, 2000). Cabe mencionar que en dicho estudio no se analizaron los eventos El Niño que han ocurrido en el país.

En los trabajos de predicción de los efectos por un cambio climático se utilizaron tres modelos climáticos conocidos como: CCC (Canadian Climate Center), GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), basados en la circulación general y MTC (Modelo Termodinámico del clima), basado en el balance de la energía térmica. Los resultados más relevantes de la aplicación de dichos modelos se describen en este capítulo, haciendo énfasis en las tendencias de la relación entre la desertificación y el cambio climático.

4.4.1. Disponibilidad de agua.

En uno de estos estudios Maderey y Jiménez (2000), aplicaron los tres modelos anteriores que suponen que el contenido de bióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera se duplicará en los años 2025 y 2050.

Con los modelos se cuantificó la disponibilidad de agua en tres de las cuencas más importantes del país: la cuenca del sistema fluvial Lerma-Chapala-Santiago, la del río Pánuco y la del río Balsas, a continuación se mencionan los resultados obtenidos:

Con los resultados del modelo GFDL-R30, en esas mismas cuencas, se predice un aumento de temperatura de 3.7°C , un aumento de precipitación de 165 mm y una evaporación total de 200 mm. Esto originaría disminución del escurrimiento debido a la evaporación, en mayor proporción de lo que se incrementaría la precipitación.

Con el modelo CCC, el aumento de temperatura sería de 3.1°C en las cuencas Lerma-Chapala-Santiago y de 2.1°C en la del río Pánuco. Estos valores son menores a los del modelo anterior y en dos modelos (el CCC y el MTC) se registraría disminución en la precipitación. El clima de la primera cuenca se transformaría a seco y desaparecería al agua aprovechable.

En el modelo MTC la temperatura media anual aumentaría 3°C y la precipitación media disminuiría más de 200 mm en las tres cuencas (Lerma-Chapala-Santiago, la del río Pánuco y la del río Balsas. La evapotranspiración real disminuiría ya que habría menos agua disponible para su evaporación total.

De los tres modelos, el GFDL-R30 está considerado por los autores, como el más apropiado para predecir la disponibilidad de agua en las tres cuencas ante la existencia de un cambio climático. Los resultados indican que aunque la temperatura y la precipitación aumentaran, la segunda sería benéfica ya que ayudaría a tener asegurada la disponibilidad de agua, aún considerando el aumento que habría en la evapotranspiración. Otro resultado

indica que la cuenca Lerma-Chapala-Santiago es la más vulnerable porque se agotaría la reserva de agua y no habría disponibilidad de ésta para los diversos usos (Maderey y Jiménez, 2000).

El estudio realizado en estas regiones que comprenden gran parte del centro de México, es de importancia porque es la parte más afectada en cuanto al abastecimiento de agua para la numerosa población asentada y para la actividad económica que en ellas se desarrolla. La carencia de agua, ligada a otros factores afectaría a la vegetación y a los terrenos agrícolas y se desencadenarían varios de los procesos de desertificación.

En el capítulo dos se vio que, por un lado, para determinar los límites de las zonas áridas es necesario considerar otras variables además de la precipitación y la temperatura. Por el otro, no existe una medida única de la aridez, por tanto, sigue siendo un problema hacer una evaluación de la desertificación en estas áreas ya que, por ejemplo, si se usa el índice de aridez de Thornthwaite, se considera que más del 75% del país es tierra árida, (Thornthwaite, 1948, citado en Ruiz, 2000) y según García (1988, citado en IPCC, 2001), la región árida abarca un poco más del 50%. No obstante que los criterios difieren, el resultado es que gran parte del país se ve afectado por los procesos de desertificación y se vería afectado por el cambio climático.

Las evidencias de la desertificación en algunos casos son notorias a largo plazo, por ejemplo cuando tiene lugar un cambio climático global; en otros casos las evidencias se ponen de manifiesto en pocos años cuando la variabilidad del clima sucede a escala local.

Con frecuencia se asocia la variabilidad del clima con fenómenos que han tenido impacto en las actividades socioeconómicas y el medio ambiente y además pueden ser agravados por el calentamiento global y el cambio climático.

En un estudio sobre cambio climático, realizado recientemente para América Latina, incluyendo a México, se detectaron diversos indicadores que pueden estar asociados a la variabilidad climática. Estos se refieren a las corrientes marinas, la temperatura, las oscilaciones de los glaciares, la circulación general y a eventos extremos (IPCC, 2001).

Los resultados, en general, indicaron que las oscilaciones de la precipitación y de la temperatura son los factores que mayormente influyen para que se desencadenen los procesos erosivos en las zonas áridas y semiáridas del país. Para las zonas subhúmedas secas también son importante estas oscilaciones pero en este caso los valores altos de precipitación durante la temporada de lluvias llegan a tornarse más perjudiciales y se desarrolla la erosión hídrica.

Los valores de precipitación presentan variabilidad para casi todo del país y con base en estudios recientes se observa que en el noroeste de México existe una tendencia a que los valores de la precipitación invernal sean mayores contribuyendo positivamente a elevar la recarga de agua de los ríos. Un caso es el de Ensenada (situada al norte de la Península de Baja California), en donde las lluvias de invierno ocurren entre los meses de diciembre y abril, representan el 88% de la lluvia anual, (Vidal, 1994; citado en Ruiz, 2000). Asimismo la variabilidad climática interanual se ha incrementado y por ejemplo, en el sureste se manifiestan tendencias de lluvia tanto negativas como positivas (Magaña y Conde, 2000, citado en IPCC, 2001).

Se ha encontrado que en las zonas áridas del NW del país cuando la precipitación es menor, su variabilidad es mayor; los valores de lluvia anual son menores a 125 mm con un coeficiente de variación mayor de 75% (coeficiente que parece ser muy elevado). En otras zonas con valores entre 125 y 400 mm este coeficiente es de 40 a 50% (Ruiz, 2000). Este hecho hace que las zonas con estas características sean motivo de interés ya que por las necesidades de quienes las habitan, en muchas ocasiones, provocan el agotamiento de los recursos naturales.

En algunas partes del sur del país se muestran tendencias negativas o positivas de lluvias dependiendo de la orientación (debido, por ejemplo, a efectos de sombra pluviométrica) de la cuenca de captación (Aparicio, 1993; IPCC, 1996; Jáuregui, 1997; TAR WGI cap. 3; citados en IPCC, 2001).

4.4.2. Ecosistemas forestales.

Por otra parte, igualmente se ha evaluado la vulnerabilidad que tendrían los ecosistemas forestales a causa de un cambio climático utilizando también los modelos climáticos *CCC*, *GFDL-R30* y *de Sensibilidad*, este último sobre la base de un aumento de temperatura de 2° C y una disminución de la precipitación del 10%; además, se señalan las áreas que serían perjudicadas según el deterioro que presenta la vegetación actual, así como los porcentajes de vegetación que estarían expuestos a las oscilaciones del clima (Villers y Trejo, 2000).

El escenario menos severo, para el país, es el propuesto por el *modelo GFDL-R30* que predice un aumento promedio de temperatura de 3.2°C y un incremento en la precipitación del 20%, sin embargo estos cambios no reflejan alteraciones fuertes a nivel de

tipo climático. También predice una mayor distribución de los bosques tropicales húmedos y subhúmedos debido al aumento de la precipitación (Villers y Trejo, 2000).

El *modelo CCC* predice que con un aumento del CO₂ la temperatura media anual en México sería de 2.8 °C más alta que la actual y un 7% menos de precipitación anual. Los bosques tropicales secos, muy secos y espinosos (con afinidades cálidas) incrementarían su área, y un aumento de precipitación provocaría una mayor distribución de bosques tropicales húmedos y subhúmedos.

Los matorrales xerófilos del sur de Chihuahua, centro oriente de Coahuila, norte de Zacatecas y en San Luis Potosí tendrían una mayor superficie expuesta a climas más cálidos, principalmente los pastizales, matorral xerófito y bosques templados, (Villers y Trejo, 2000). En los estados de Jalisco y Guerrero los bosques caducifolios estarían propensos a ocupar zonas de mayor altitud que en la actualidad y las condiciones serían propicias para que se establecieran bosques espinosos o bosques tropicales caducifolios de tipos muy secos.

El *modelo de Sensibilidad* indica que la temperatura aumentaría 2°C y la precipitación disminuiría en un 10%, por lo que la distribución de climas cálidos se incrementaría y la humedad se reduciría (Villers y Trejo, 2000).

Se verían afectados los bosques tropicales perennifolios, subperennifolios y caducifolios pertenecientes a los climas cálidos húmedos y subhúmedos aumentando ligeramente su distribución. El límite latitudinal de los bosques espinosos se desplazaría hacia el sur debido a las condiciones de aridez, en los estados de Sonora, Sinaloa, la cuenca del Balsas e Istmo de Tehuantepec y Tamaulipas. Los bosques mesófilos más afectados serían los situados al oriente de Oaxaca y parte de Chiapas.

Los resultados obtenidos con los modelos aplicados, indican, en general, que la vegetación que se encuentra en latitudes altas sería la más sensible a los cambios de temperatura, situación que no correspondería al territorio mexicano dada su posición geográfica (latitud), con excepción de los bosques templado-fríos y semicálidos que también son sensibles al cambio climático y posiblemente desaparecerían con un incremento de temperatura. Mientras que los ecosistemas tropicales serían más afectados por los cambios de precipitación. Los resultados de los modelos predicen que aproximadamente el 50% del país se vería afectado por el cambio climático, y particularmente el modelo GFDLR30 predice habría un incremento en el porcentaje de climas subhúmedos (entre otros) de 27 a 37% de la superficie total del país.

Las mismas autoras (Villers y Trejo, 2000) también señalan que la vegetación debería tener la capacidad de respuesta para adaptarse o migrar en menor tiempo del que normalmente requieren estos procesos, pero según Markham, 1996 (citado en Villers y Trejo, 2000) es poco probable. Hacen énfasis en que los estudios de los efectos del cambio climático sobre la vegetación aún son escasos y que los existentes están más orientados al papel que juegan las plantas como fuentes de emisión o secuestro de carbono.

En el cuadro 4.1 se muestra el tipo de vegetación y su cobertura correspondiente a las áreas con climas áridos, semiáridos y subhúmedos secos, en México.

Cuadro 4.1 Correspondencia de los tipos de vegetación, según J. Rzedowski con la clasificación climática de E. García, en México.

<i>Tipo de vegetación</i>	<i>Cobertura en %</i>	<i>Humedad</i>
Bosque tropical subperennifolio	36.8	Subhúmedo 0
Bosque tropical caducifolio	44.3	Subhúmedo 0
Bosque espinoso	32.2	Semiárido
	24.5	Árido
Matorral xerófilo	26.3	Árido
	21.5	Semiárido
Pastizal	39.8	Semiárido
	21.9	Árido
Bosque templado	18.8	Semiárido
(Coníferas y <i>Quercus</i>)	18.7	Subhúmedo 0

Fuente: Villers y Trejo, 2000

4.4.3. Eventos El Niño, sequías, incendios, lluvias torrenciales y eventos extremos.

Una manifestación natural de la variabilidad climática es el fenómeno de El Niño y su contraparte La Niña.

El Niño es un fenómeno que ha ocurrido desde tiempos históricos pero hasta hace unas décadas se ha venido estudiando sistemáticamente, está muy asociado a sequías, lluvias torrenciales y huracanes y ha provocado consecuencias devastadoras en el país. Uno de los mayores desastres a causa de El Niño, ocurrió en abril y mayo de 1998 en que se presentaron severas sequías y numerosos incendios (Magaña, 1999). Cabe señalar que no siempre se produce sequía sino también puede haber intensa precipitación pluvial y además espacialmente hay variaciones de un sitio a otro.

Los estudios indican que El Niño es una posible influencia de las fluctuaciones de lluvia en México y que es una manifestación regional de la fluctuación de la circulación a gran escala del océano-atmósfera (Jáuregui, 1995).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por su parte, La Niña es un enfriamiento anormal de las aguas de la superficie del Océano Pacífico que provoca lluvias intensas, disminución de temperatura y un aumento de la velocidad de los vientos alisios ecuatoriales, que soplan del este (Tecnología Ambiental, 1998).

En México, los efectos de El Niño se reflejan en una mayor precipitación invernal y menor precipitación de verano, además de severas sequías que, en décadas recientes, han ocurrido durante veranos El Niño (Magaña y Quintanar, 1997; Magaña *et al.*, 1999).

Asimismo, durante años El Niño (en el período de 1961 a 1990) se ha observado que las tormentas tropicales y huracanes tuvieron menos efecto en México. En cambio los años sin este evento se caracterizaron por numerosas tormentas que penetraron al continente, por el Golfo de México (Jáuregui, 1995).

También se han producido severas inundaciones ocurridas en el sureste, estados costeros y centro de México, en los que las pérdidas humanas y económicas han provocado enorme deterioro en las condiciones de vida. Muchos poblados han quedado sumergidos casi en su totalidad, por las corrientes torrenciales y en consecuencia numerosa población se ha visto en la necesidad de emigrar a las ciudades, o bien hacia la frontera norte del país.

El comportamiento extremo de este evento, es parcialmente responsable de la variabilidad del clima a escala interanual en América Latina. El fenómeno del El Niño representa la fase negativa de la Oscilación del Sur; la fase positiva es la Niña (Magaña *et al.*, 1998).

Las sequías y altos niveles de precipitación pluvial asociados a El Niño han sido registrados desde hace varios siglos. De la época colonial ya existen señales de la relación que tiene la disminución de lluvias con dicho fenómeno (Jáuregui, 1995, citado en Conde *et al.*, 1999). En el cuadro 4.2 pueden verse, entre otros aspectos, las características de las sequías así como su impacto en diferentes sitios del país. Algunas sequías han sido de mayor intensidad, y su impacto también ha variado. La información de este cuadro ha sido recopilada de diversas fuentes. Los datos de sequía anteriores a 1900 son de Florescano, (1995) y los posteriores de Jáuregui, (1995), citados en Conde *et al.* (1999), la información se actualizó con datos de García *et al.* 2002 y de la Reseña Periodística del CENAPRED, (1997).

En la actualidad, se están desarrollado métodos científicos para hacer pronósticos acerca de los efectos de estas variaciones en la agricultura. Algunos métodos ayudan a

conocer los procesos de crecimiento de los cultivos a lo largo de sus diferentes etapas, pero sólo funcionan a escala local, ya que a nivel regional, con frecuencia no se dispone de datos climáticos, edáficos, ni del propio cultivo (Conde *et al.*, 1999). Sumadas a estas limitantes, además de la pérdida de las cosechas y grandes extensiones de tierras de cultivo que pierden su potencialidad, las condiciones económicas deficientes de la población campesina generan problemas que no pueden ser resueltos adecuadamente y por tanto la desertificación de los suelos llega a niveles altos, provocando, como ya se señaló, que las áreas agrícolas queden abandonadas pues la población (particularmente hombres) prefiere emigrar a otras regiones, principalmente hacia zonas urbanas o fuera del país, en busca de mejores condiciones de vida.

Al respecto, Conde *et al* (1999) hicieron un análisis de los efectos del fenómeno El Niño asociado al impacto de las continuas y, en algunos casos, intensas sequías, especialmente en las producciones de maíz de temporal, la ganadería y los incendios. En el cuadro 4.2 se presentan algunos de los eventos más intensos de El Niño y sus consecuencias.

En dicho análisis se hizo énfasis en el periodo 1997-1998, que representa un evento intenso y además se presenta un estudio de caso para el estado de Tlaxcala, donde la agricultura depende en gran medida del clima y la producción de temporal abarca gran parte del estado. Se elaboraron pronósticos climáticos para algunas regiones del estado que ayudaron a planear actividades a los campesinos y a reducir la vulnerabilidad ante condiciones climáticas extremas, particularmente a la sequía.

Es frecuente encontrar en la literatura, respecto a El Niño, el evento 1997-98 por el impacto que causó a escala tanto mundial como nacional. Son innumerables los efectos asociados con la desertificación, entre los que destacan: la escasez de agua, las altas temperaturas, mayor incidencia y diversidad de enfermedades gastrointestinales, etc; muchos de ellos reportados no sólo en trabajos de investigación sino en notas periodísticas algunas de las cuales se citan en el *Anexo 1*.

Estos eventos han repercutido fuertemente en las actividades agrícolas, en los altos índices de mortandad del ganado y en enfermedades en gran parte de los habitantes de las regiones afectadas. Sin embargo, los efectos son más graves porque como la población ha aumentado, un mayor número de habitantes está expuesto a este tipo de riesgos.

Cuadro . 4.2 Relación entre algunos de los eventos El Niño y los efectos adversos en las actividades agrícolas en México

Año	Intensidad	Región afectada	Período 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 lluvia 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 lluvia	Pérdida de cosechas, aumento en los precios de los granos
1907	M	Noreste, Centro	Enero-septiembre	Ausencia de lluvias desde el año anterior; sequía mas 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
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

FALTA DE LLUVIA
PRECIO GRAN
NOVIEMBRE

Continuación

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	No especificado	Sequía	
1993	Intensa y muy intensa	Norte y Centro (Coah., N. León., Zac., Edo. De Mex., Chih.	Abril-junio	La sequía más grave en 40 años en Coahuila.	Mueren 11 mil cabezas de ganado, mueren 3 mil en N. León, 5 mil en Zacatecas. 16 personas mueren por calor. Cientos de incendios en el norte y centro del país. Pérdida de miles de hectáreas sembradas.
1994	Intensa	Norte, Noroeste y Sur (Chih. Baja Calif. Sur y Chiapas)	Marzo-mayo		20 mil reses mueren. 54 personas mueren por deshidratación. Se pierden 12 mil hectáreas de maíz.
1995- 1996	Intensa	Norte y Centro del país. Chih., Sin., y Coah.	Marzo-julio		140 mil cabezas de ganado mueren en Chih., 5 mil mueren en Sin y 60 mil en Coah.
1997*	Severa	Noroeste, centro este.	Mayo-junio	Récord de temperatura en el D.F. con 29.7 °C desde hace 63 años. 4881 incendios forestales en 6 meses. Oscilación de temperatura de 16°C a 46.5°C en el norte.	Miles de personas afectadas por cólera, y otros males gastrointestinales por agua contaminada y falta de cloración del agua. La incidencias de enfermedades fue mayor que el año pasado. Miles de cabezas de ganado mueren. Lluvias intensas y granizadas en

REPRODUCTION
 PERMITTED
 BY THE
 NATIONAL
 ARCHIVES

					algunos estados.
1998*	Severa	Norte, noroeste, centro, península de Yucatán y sur	Marzo-agosto		Mueren 1 millón 773 mil cabezas de ganado, 20 mil aves de corral. Muerte de personas por falta de agua y altas temperaturas de casi 50°C. Numerosas presas trabajan casi al 10 % de capacidad.
1999	Grave y severa	Norte noroeste	Marzo-noviembre		Mueren más de 225 mil cabezas de ganado. Severos daños a la agricultura. Migración de la población.
2000		Norte noroeste, noreste centro	Febrero-julio		Mueren más de 235 mil cabezas de ganado y cientos de miles en peligro de morir. Deshidratación y brotes de hepatitis entre la población. Miles de hectáreas de cultivo afectadas.

Fuentes: Conde *et al*, 1999.

Completado con información de García *et al*, 2002, y Reseña periodística (CENAPRED,1997)

*Las celdas con línea punteada representan años de El Niño intensos.

n/e: no especificado.

TESIS COM
FALLA DE CALDEN

La ocurrencia de sequías en nuestro país es muy importante ya que además de actuar como un detonador y acelerador para la desertificación cada vez suceden con mayor intensidad y frecuencia (Oropeza y Alfaro, 1997).

La carencia de lluvias, que caracteriza a las sequías se debe en gran parte a los efectos del El Niño que también se manifiesta con oscilaciones en el régimen de lluvias y perjudican al ciclo agrícola de primavera-verano cuando las lluvias de verano disminuyen drásticamente. En años recientes las sequías han sido más intensas afectando principalmente al norte del país (PACD, 1994).

Algunas consecuencias por la ocurrencia de las sequías son las siguientes, (PACD 1994):

- La sobreexplotación de los acuíferos en los principales distritos de riego ha causado la salinización en superficies que varían de 500 mil a un millón de hectáreas, según diferentes estimaciones.
- La erosión hídrica y eólica en 158.8 millones de hectáreas, origina la pérdida en promedio de 2 754 toneladas de suelo por hectárea al año.

Las sequías, que afectan tanto a la cubierta vegetal como a la agricultura, se han acrecentado en las últimas décadas (Prieto, 1998). La sequía registrada en México en el verano de 1998 y la falta de lluvias en el invierno de 1997-98 provocó que la vegetación fuera muy susceptible a incendiarse en la primavera de 1998 (Muñoz et al, 1998).

La baja ocurrencia de lluvias originó escasa humedad edáfica y los productores de maíz de los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla y Michoacán se vieron en la necesidad de reducir las siembras de maíz que regularmente son realizadas de marzo a mayo. Con base en lo anterior se realizó una evaluación a partir de una encuesta aplicada a estos productores, cuyas preguntas se refirieron a las fechas de la siembra, existencia de cultivos alternativos, y la posibilidad de prácticas de conservación de agua del suelo (Muñoz et al, 1998).

Los resultados indicaron que en Chiapas se alcanzó el mayor porcentaje de casos de retraso en la siembra con 94%; en cambio en los otros estados muestreados el porcentaje fue del orden del 50%. La diferencia puede deberse a que en Chiapas la época de siembra puede estar más relacionada con la época de lluvias y en los otros estados particularmente en los valles situados a 2000 metros de altitud el inicio de la siembra debe depender más de la humedad residual en el suelo que de la ocurrencia de lluvias invernales (Muñoz *et al.*, 1998).

Por otro lado, la reducción de lluvias a causa del cambio climático ocasiona que el nivel de los mantos freáticos baje considerablemente por lo que en muchos casos el abastecimiento de agua no cubre las necesidades en una región Así sucede en La Laguna (Comarca Lagunera) cuya disminución del nivel de agua es de 1.5 m al año. Al respecto, en el Ejido

Francisco Villa, Municipio de Ciudad Lerdo, Durango, para adaptar los cultivos a esta carencia hídrica, se han realizado estudios de su comportamiento en ambientes con condiciones de humedad reducida, para lo cual se han considerado factores como la disponibilidad de humedad producto de la precipitación, el requerimiento de agua de los cultivos, el desarrollo y la producción que alcanzan los cultivos en condiciones de estrés hídrico. En el verano de 1995 se realizó un experimento con cuatro tipos de maíz, cuyo desarrollo se vio afectado por la pérdida de humedad causada por evaporación; tres tipos de maíz se vieron afectados debido a que cada una de las parcelas en las que se encontraban, tenían alta densidad de población (de cada tipo) y el requerimiento de humedad era, por lo tanto, mayor, e insuficiente para su desarrollo (Dimas *et al* 1998).

En las regiones áridas, caracterizadas por sus condiciones de aridez, generalmente se presentan sequías severas, que en los últimos 100 años han ocurrido con la frecuencia siguiente según (Florescano, 1980, citado en PACD, 1994).

- Más de 12 sequías, corresponden a los estados de Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas
- Entre 7 y 12 sequías, en los estados de Sinaloa, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México, Guerrero, Oaxaca y Yucatán.
- Con incidencia menor a siete sequías, los demás estados del país

Entre los años 1939 y 1977, la sequía disminuyó en frecuencia, pero aumentó en intensidad. En este periodo se registraron 20 sequías severas y 6 extremadamente severas, todas ellas fueron muy perjudiciales para la producción agrícola, cabe mencionar que en 1949 las pérdidas llegaron a 1.1 millones de hectáreas, que representaron el 77 % de la superficie siniestrada y en 1969 una sequía muy severa afectó 3.3 millones de hectáreas, o sea el 73% de las pérdidas agrícolas para ese año (Florescano, 1980, citado en PACD, 1994).

A pesar de las limitaciones climáticas que presentan las zonas áridas y semiáridas, es precisamente en éstas donde se localizan las áreas agrícolas más importantes, y donde se efectúa la agricultura de riego (PACD, 1994).

La sequía se ha estudiado desde diferentes enfoques: agrícola, hidrológico y meteorológico. Para este último se ha realizado un estudio asociado al cambio climático con la finalidad de predecir el grado de vulnerabilidad .

La sequía meteorológica está definida como una función del déficit de precipitación, expresado en porcentaje, con respecto a la pluviosidad media anual o estacional de largo período y su duración en una región. La amenaza de este fenómeno se acentúa debido al calentamiento atmosférico vinculado al calentamiento global y ya que éste último se ha elevado,

es de gran importancia el estudio de su efecto en el país. Hernández *et al* (2000), determinaron, evaluaron y cartografiaron las áreas vulnerables a la sequía meteorológica, a partir de un escenario base actual para el período 1950-1980 y con los modelos climáticos CCC y GFDL-R30. El resultado de ambos fue que la sequía sería extremadamente severa en condiciones de cambio climático. Con el modelo GFDL-R30 el 39.4% de la superficie del país tendría un grado severo de sequía, los estados del centro y sureste serían los más afectados, particularmente Quintana Roo resultaría el más susceptible ante un cambio climático en el 98.47% de su superficie.

Estos autores mencionan que los modelos climáticos aplicados a conocer el aumento en la severidad de la sequía predicen un aumento, en general, para todo el país.

Como ya se señaló, las sequías en muchos casos también son causantes de otro evento como son los incendios forestales con los que miles de hectáreas de bosques se pierden. En las tablas 4.1 y 4.2 se muestran las estadísticas referidas a incendios forestales en la última década del siglo pasado.

Tabla 4.1 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 en ha.	44,401	235,020	141,502	309,087	248,765	107,845	849,632

Fuente: SEMARNAP, Tomado de Delgadillo *et al.*, 1999

Tabla 4.2 Superficie afectada por los incendios, por tipo de vegetación.

Año	Total Incendios	Superficie afectada por los incendios y 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: SEMARNAP, Tomado de Delgadillo *et al.*, 1999

Se ha estimado que el 97% de los incendios forestales que ocurren en el país, se deben a causas humanas, en ocasiones involuntarias (Delgadillo *et al.*, 1999). Sin embargo, uno de los desastres ecológicos mayores tuvo lugar en abril y mayo de 1998 cuando la sequedad del terreno causada por un evento Niño muy marcado produjo numerosos incendios (Magaña *et al.*, 1999; Palacio *et al.*, 2000). Los cuales se debieron particularmente a las condiciones climatológicas que contribuyeron al incremento de la temperatura, además de que había gran cantidad de material combustible que los facilitaron. Las pérdidas económicas resultantes se estimaron en casi 230 millones de dólares (Delgadillo *et al.*, 1999). El número de incendios se

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

duplicó en comparación a los de 1992-1997 y el área afectada también fue más extensa que el de este periodo (Barkin y García, 1999).

Según la SEMARNAP (Programa para el Desarrollo Forestal, México 1996), anualmente extensas áreas forestales se ven afectadas por los incendios en el país y si los pronósticos indican que el clima se torna más cálido y seco, en el futuro, se espera que se produzcan más incendios.

Estos incendios provocan cambios en el uso del suelo y desertificación, pero los daños directos dependen del suelo y de la intensidad del incendio. Las áreas boscosas se ven afectadas y sufren disminución de la porosidad del suelo y de la infiltración de agua; incremento de la erosión; aumento de temperatura en capas superiores del suelo, en corrientes y lagos; mortalidad de la microfauna, desplazamiento físico de la fauna, extinción de especies y contaminación del aire (Delgadillo, 1999).

Un ejemplo de lo anterior sucede en el estado de Michoacán en donde los incendios, aunados a las plagas y enfermedades forestales son factores que propician la degradación de los bosques, siendo la causa principal de estos incendios, las quemadas agropecuarias, que representan hasta el 85% de los siniestros que anualmente suceden en la entidad. Entre 1995 y 2001 se combatieron 8,039 incendios que afectaron una superficie de 81,571 hectáreas de las cuales solo el 20% correspondieron a áreas arboladas. En estos mismos años Michoacán se ubicó entre los 10 estados con mayor número de incendios y mayor superficie afectada por estos siniestros, según la SEMARNAP, 2000, (Comisión Forestal de Michoacán, COFOM 2001; citado en Atlas Forestal de Michoacán). Los 6 municipios más afectados por los incendios y con mayor superficie afectada fueron Morelia, Uruapan Zacapu, Hidalgo, Arío y Tancítaro. El año 1998 fue crítico 1, 793 incendios y más de 25 mil hectáreas afectadas. En general, cuando la capa de suelo superficial es destruida totalmente, el terreno queda estéril por vasto tiempo ya que su regeneración natural se estima sucede a un ritmo de 1 cm en miles de años para algunos suelos.

Un efecto contrario a las sequías son las lluvias torrenciales originadas por el evento El Niño (por ejemplo durante El Niño 1982-83 se produjeron lluvias invernales más intensas de lo normal) y generan inundaciones severas en diversas partes del país, las que además de dañar grandes zonas de cultivo, las puede dejar improductivas y también destruye la capa de suelo de laderas montañosas, piedemontes y planicies.

El incremento de las lluvias también es perjudicial a los ecosistemas ya que los años muy húmedos pueden afectar y modificar la vegetación de una región. Por ejemplo en San Luis Potosí, en 1955, la fuerte lluvia ocasionada por numerosos huracanes causaron que los

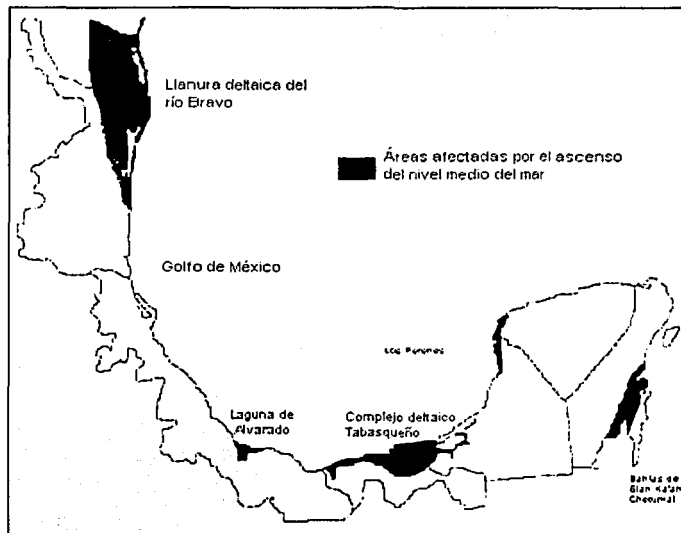
mezquites arbustivos desaparecieran como consecuencia de suelos sumamente húmedos, y la región se convirtiera en pastizal (Medellín y Gómez, 1979).

4.4.4. Cambio del nivel medio del mar.

Gran parte del territorio mexicano está constituido por zonas costeras por lo que de presentarse un cambio del nivel del mar derivado de la fusión de los casquetes de hielo polares se producirían alteraciones tanto de carácter ecológico como socioeconómico. En el Golfo de México se prevé un aumento de temperatura de 1.5°C y un incremento en el nivel del mar de 20 cm para el año 2025 (Maul, 1993, citado en Ortiz y Méndez, 2000). Debido a ello los ecosistemas situados en las costas se verían alterados por el ascenso del nivel del mar, pero no todos se verían afectados por el ascenso de temperatura.

Un estudio al respecto es el realizado por Ortiz y Méndez (2000) para la costa del Golfo de México en donde se detectaron cinco regiones vulnerables al ascenso o descenso del nivel medio del mar (Figura 4.1).

Figura 4.1 Zonas vulnerables a la oscilación del nivel medio del mar.



Fuente: Ortiz y Méndez, 2000.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los cambios en el nivel del mar tendrían efectos que repercutirían en la disminución o eliminación de algunos tipos de vegetación, cambios en la distribución de las especies así como en los mecanismos de adaptación. Un ascenso del nivel medio del mar puede provocar alguno de los procesos de desertificación o degradación de tierras como sería la salinización de los suelos por influencia de la cuña salina hacia la parte continental, o también la erosión de costas y la pérdida de la vegetación. Las zonas vulnerables a este cambio y la vegetación correspondiente aparecen en la tabla 4.3.

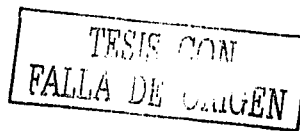
Tabla 4.3 Áreas y vegetación vulnerable al ascenso del nivel del mar.

Áreas estimadas para la vegetación y uso del suelo ubicadas en la zona considerada como área de riesgo potencial ante los impactos causados por las variaciones del nivel del mar.

Zonas vulnerables al ascenso del nivel del mar	Pantanos %	Pastizales %	Agricultura %	Campos De dunas %	Asentamientos humanos %
Litoral Nor-Occidental (Tamaulipas)	0.3	2.2	0.2	0.5	0.0
Litoral Centro-Occidental (Veracruz)	4.5	6.9	9.0	15	0.5
Litoral Centro-Sur (Ver, Tab y Camp.)	12.7	15.6	9.3	0.2	0.1
Litoral Oriental (Campeche y Yucatán)	2.9	7.4	6.0	1.3	0.2
Litoral Caribe (Q. Roo)	17.1	0.8	0.5	0.1	0.2

Fuente: Ortiz y Méndez, 2000

4.4.5. Retroceso de los glaciares.



Un efecto más del cambio climático, debido al calentamiento global que favorece la desertificación lo constituye la reducción de la extensión y el grosor de los glaciares, sobre todo a escala local.

En los estudios realizados sobre el retroceso de los glaciares, para América Latina incluyendo a México, se reporta que además de la disminución de algunos glaciares, otros han desaparecido completamente (Williams y Ferrigno, 1998, citados en IPCC, 2001); por ejemplo, en los Andes Peruanos, desde 1968, 18 glaciares redujeron en más de un 20% la superficie glacial, 11 300 millones de km³ de hielo. Asimismo, en otros países sudamericanos (Chile y Argentina) han ocurrido reducciones en los glaciares (Morales-Arno, 1969 a y b; INAGGA-CONAM, 1999; citados en IPCC, 2001).

Como ejemplo de la relación entre el cambio climático, el retroceso de los glaciares y la desertificación se puede citar el siguiente: Las lluvias invernales que se precipitan como nieve en la cordillera de los Andes se acumulan en las partes altas. En el verano la nieve se derrite, convirtiéndose en una de las fuentes principales que abastece de agua a los ríos de la región, mismos que son utilizados para la irrigación de cultivos. Sin embargo, en la actualidad, con las

fluctuaciones de las lluvias invernales y el retroceso de los glaciares se tiene un fuerte impacto socioeconómico en las actividades agrícolas pues un sector importante de la población de estos países andinos se mantiene de la agricultura de riego. A su vez, al no contar con el recurso hídrico las tierras se abandonan y quedan expuestas a diversos procesos de desertificación.

Los estudios acerca del retroceso de los glaciares mexicanos son limitados. Algunos autores como White (1981), de Marcos y Palacios (1996), Palacios y Vázquez (1996) y Delgado (1997), Vázquez (1989 y 1997) han investigado sobre el origen de este retroceso.

De Marcos y Palacios (1996) y Delgado (1997) señalan que las fluctuaciones de los glaciares pueden ser explicadas por las siguientes causas:

- a) incremento en el flujo de calor
- b) cambios climáticos globales
- c) cambios climáticos locales
- d) combinación de factores anteriores
- e) por actividad volcánica
- f) por una combinación de estas causas.

En México sólo tres estratovolcanes tienen glaciares, el *Popocatepetl*, el *Iztaccíhuatl* y el *Pico de Orizaba o Citlaltépetl*.

De Marcos y Palacios (1996) realizaron un análisis del retroceso de los glaciares del Popocatepetl y del Pico de Orizaba entre el periodo de febrero de 1994 a octubre de 1995. Aunque la extensión de los glaciares ha disminuido en épocas históricas, debido a eventos eruptivos, según los autores mencionados, las condiciones climáticas han sido favorables para que se desarrollen nuevamente. Sin embargo los autores señalan que el retroceso actual puede estar relacionado con las condiciones climáticas o con la actividad volcánica de ambos volcanes. De hecho, tanto la variabilidad climática como la actividad volcánica contribuyen a la alternancia de etapas de avance y retroceso de los glaciares.

Otros estudios, también en el Pico de Orizaba y Popocatepetl referentes al retroceso de los glaciares los han realizado Palacios y Vázquez (1996) y Delgado (1997) respectivamente, quienes reportan que en algunos casos ha disminuido el área y en otros el grosor de los mismos, que además puede ser causa de la topografía, particularmente por la inclinación de las laderas (Palacios y Vázquez, 1996).

Los glaciares del volcán Popocatepetl han presentado disminución con un valor de casi 7m/año, entre el periodo de 1906 a 1968. El área total se redujo 22% entre 1958 y 1978, Delgado (1997).

En el volcán Popocatepetl (5 450 m.s.n.m.) el glaciar de Tenenepanco situado en la cabecera del barranco con el mismo nombre, en la parte más occidental de la ladera norte del volcán, ha retrocedido considerablemente, en los años 90, con las siguientes altitudes mínimas de: 4 694 en abril de 1992, 4 702 en agosto de 1993 y 4 713 en febrero de 1994, (de Marcos y Palacios, 1996). Cabe hacer la aclaración que dicho glaciar no existe, parece ser que se refiere a una lengua de los glaciares del volcán que llegaba hasta el pueblo de Tenenepanco hace varias décadas, actualmente sólo existen dos grandes glaciares con varias lenguas que reciben nombres locales (comunicación personal el Dr. Delgado).

Uno de estos glaciares, el Ventorrillo ha disminuido desde 1906 y 1968, su retroceso fue de casi 7m/año y el mismo se ha incrementado entre 1978-1982 a 40 m/año o sea casi 6 veces más (Delgado, 1997).

Los glaciares que han modificado su extensión son el Ventorrillo y el Glaciar Noroccidental, ocupaban un área total de 0.720 km² (Lorenzo, 1964), se redujeron a 0.559 Km² para el año de 1982, lo que equivale a una pérdida de 0.161 km² o casi un 22% (Delgado, 1997). El retroceso del primero fue más acelerado entre 1978 y 1982 con 40 m/año.

Otras lenguas pertenecientes a los glaciares del Popocatepetl, que también muestran cambios fueron reportadas por White (1981), el glaciar de Ayolotepito, que entre los años de 1953 a 1960 retrocedió 19 m/año (125 m), y el glaciar Ayoloco que entre 1955 y 1960 su retroceso fue de 22 m/año (57 m).

Asimismo, se han observado ciertos avances, con datos de White (1981) y observaciones hechas por Delgado entre 1978 y 1982, éste concluye también que los avances de los glaciares son reflejo o bien de una gran cantidad de precipitación o condiciones más frías en la región como consecuencia de un cambio climático de corto periodo local o global. El último autor da a entender que los glaciares pueden generar áreas de desertificación al explicar que como consecuencia de su reducción, disminuye la infiltración y el escurrimiento y esto provoca la desecación del sistema lacustre de la ciudad de México, además de desencadenar otros fenómenos como las tormentas de polvo en el lecho de los lagos. Debido a que los glaciares de este volcán están localizados a solo 40 km de la ciudad de México, puede haber impacto en el medio ambiente y en el clima local, pero esto aún no está bien documentado.

Es muy importante la evaluación de la modificación de los glaciares por el impacto que pueden tener en la recarga de los acuíferos y su comportamiento en caso de actividad volcánica explosiva. Por otro lado, el impacto de las actividades humanas sobre el clima e indirectamente sobre los glaciares debe ser estudiado ya que éstos son muy sensibles a los cambios climáticos (Delgado 1997).

agrícolas estropeando los cultivos y disminuyendo drásticamente las condiciones aptas de los suelos agrícolas.

Las heladas se presentan comúnmente durante la etapa invernal pero en el Altiplano Mexicano, las condiciones atmosféricas secas producen heladas durante el verano. (Morales y Magaña, 1998, citados en IPCC, 2001).

Hasta ahora se considera poco entendido cómo el calentamiento global puede afectar la frecuencia e intensidad de los eventos extremos causantes de numerosos desastres. Por ello habrá que analizar profundamente la influencia de este calentamiento en cada uno de los eventos, mediante la elaboración de modelos climáticos más avanzados que pueden ser de gran ayuda en el estudio de los escenarios futuros (Morales y Magaña, 1998, citados en IPCC, 2001). No obstante lo anterior, los registros climáticos concernientes a los últimos miles de años, han permitido reconocer que en los períodos de cambio climático rápido, se acentúan la variabilidad y la ocurrencia de los eventos extremos.

4.5 Erupciones volcánicas.

Las erupciones volcánicas y procesos combinados de lahares con caída de arena son eventos que a corto plazo, afectan y a largo plazo benefician. Dos ejemplos de estos eventos que han contribuido a la desertificación son las erupciones de los volcanes Parícutín y El Chichonal.

La erupción del volcán Parícutín ocurrió en 1943, arrojó lava que cubrió una gran extensión aledaña a este. Durante los primeros años posteriores a la erupción los suelos antes dedicados al cultivo fueron cubiertos por lava y cenizas. Pero tres décadas después los suelos se tornaron aptos para cultivos.

Cuando sucede alguna erupción volcánica de tipo explosivo, las enormes cantidades de cenizas arrojadas suelen quedar en suspensión en la atmósfera, abarcando en muchos casos gran parte del planeta, como sucedió después de la erupción del volcán El Chichonal, en marzo de 1982, una gran erupción originó una columna de 18 km de altura con lluvia de cenizas y piroclastos. En el mes de abril hubieron dos erupciones muy violentas con efectos atmosféricos excepcionales (Espíndola, 1990; citado en Cedillo, 1997). Estos eventos provocaron entre otras consecuencias que las tierras cultivables quedaran improductivas debido a que el material volcánico cubrió áreas extensas. Se produjo disminución de la temperatura, depositación de ceniza en lagos, ríos y áreas de cultivos, así como la reducción o desaparición de la productividad de las tierras agrícolas. Para 1983 los efectos de la capa de aerosoles en la

estratosfera originaron una tendencia al enfriamiento de la temperatura en la superficie y un calentamiento drástico en verano de 1983 (Cedillo, 1997).

Las erupciones volcánicas actúan también como procesos benéficos ya que a largo plazo el efecto es provechoso para los suelos porque el material volcánico contiene nutrientes que actúan como fertilizantes para los suelos. Sin embargo en este trabajo se continuará haciendo énfasis únicamente en el efecto adverso, que tienen estos fenómenos en el deterioro de los suelos.

Las consecuencias de los anteriores procesos naturales que favorecen la desertificación son numerosas pero casi todos estos fenómenos producen como efecto global una severa reducción de la productividad de los ecosistemas que implica la disminución de los rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales, además de la pérdida de la diversidad biológica. Asimismo se manifiestan consecuencias de orden social como el empobrecimiento, migración y deterioro de la calidad de vida de la población. Por ello se hace necesario la elaboración de modelos de desarrollo sostenible, para hacer frente a estos problemas (Anaya, 1998).

CAPÍTULO 5. ACCIONES PARA ENFRENTAR Y MITIGAR LA DESERTIFICACIÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO.

Para enfrentar los numerosos problemas que resultan por los fenómenos mencionados, desde el siglo pasado se han elaborado campañas, decretos, investigaciones y se han creado organismos que se encargan de estudiar y tomar decisiones para resolver toda esta problemática. Sin embargo, hasta ahora no se ha avanzado lo suficiente para lograrlo, ya que los problemas ambientales se agravan, hacen falta más investigaciones a escala regional, algunas veces los recursos económicos disponibles para los proyectos son insuficientes, no existe continuidad en los proyectos gubernamentales y falta concientizar a la población y a los tomadores de decisiones.

5.1 Acciones para enfrentar y mitigar la desertificación.

A continuación se enlistan las principales acciones para la lucha, prevención y control de la desertificación que se han llevado a cabo en México, tanto en el ámbito gubernamental como en el social, la primera parte es una recopilación realizada por Anaya (1998) que comprende casi todo el siglo XX:

- 1926 Se iniciaron los estudios de los suelos al formarse la comisión Nacional de Irrigación.
- 1934 y 1936 Se expide la ley de Aguas de Propiedad Nacional.
- 1946 Se realizaron obras relacionadas con prácticas mecánicas, pero el resultado fue de baja eficiencia en el manejo de los recursos naturales, agua, suelo, planta. También se expidió la Ley de Conservación del Suelo y Agua.
- 1962 Se funda la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, que ha celebrado reuniones a nivel nacional, periódicas anuales y ha producido memorias y publicaciones relacionadas con el manejo del suelo.
- 1970 Se creó la Comisión de Zonas Áridas que desde 1993 forma parte de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).
- 1971 Se publicó la Ley Federal de Reforma Agraria.
- 1977 Se llevó a cabo la 1ª. Reunión Nacional sobre Prevención y Control de la Desertificación en la que participaron el Colegio de Postgraduados, la Comisión

Nacional de Zonas Áridas, la Secretaría de Relaciones Exteriores y la Secretaría de Agricultura.

El Colegio de Postgraduados publicó el Manual de Conservación de Suelo y Agua.

- 1988 Se creó la Ley general de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente.
- 1992 Se promulgó la Ley de Aguas Nacionales que entre otros objetivos está la administración integral del agua. La seguridad jurídica sobre los aprovechamientos y el desarrollo integral sustentable del agua, sus bienes y servicios.
Se establece también la Ley Forestal.
- 1994 México presentó el Plan de Acción Contra la Desertificación (PACD)
- 1994 Se realiza la IV "International Conference on Desert Development" con sede en México y organizado por el colegio de Postgraduados y la Comisión Nacional de Zonas Áridas.
- 1996 Se celebró la Tercera Reunión Nacional Sobre Sistemas de Captación de Lluvia en San Luis Potosí, México, y fue organizada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo y el Colegio de Postgraduados
- 1996 Talleres de sistematización y Validación de Tecnologías para el Combate a la Desertificación en 5 estados del país.
- 1997 Se establece el Consejo Técnico Consultivo Nacional para la Restauración y Conservación del Suelo, coordinado por la SEMARNAP.
- 1997 Se realizó la Segunda Conferencia Regional Latinoamericana y del Caribe sobre la Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación.
- 1997 Se realizó la Cuarta Reunión Nacional Sobre sistemas de Captación de Agua de Lluvia, organizada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo y el Colegio de Postgraduados.
- 1998 Se constituye la Red Mexicana de ONG's contra la desertificación.
- 1998 Se celebró la V Reunión Sobre Sistemas de Captación de Lluvia, organizada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo y el Colegio de Postgraduados.
- 1998 Reunión Anual Sobre Conservación y Restauración de Suelos. UNAM, México.

En 1994 se elaboró el "El Plan de Acción Contra la Desertificación (PACD-México)" que fue coordinado por la Comisión Nacional de la Zonas Áridas y el Colegio de Postgraduados, participaron también 40 instituciones.

El objetivo general del plan fue: Prevenir y detener el avance de la desertificación y en lo posible recuperar las superficies desertificadas para usos productivos y; mantener la productividad de las regiones vulnerables a la desertificación para mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Para lograr dicho objetivo se determinaron las siguientes acciones:

1. Programas estatales de desarrollo,
2. Elaborar sistemas informativos y de observación permanente en regiones vulnerables a la desertificación y a la sequía,
3. Combatir la degradación de las tierras mediante la intensificación de las actividades de conservación de suelo y agua, y reforestación.
4. Formular programas para mitigar los efectos de la sequía.
5. Promover la participación popular y la educación sobre el medio ambiente, con especial atención en la prevención y control de la desertificación

El PACD se encuentra en proceso de actualización, prácticamente se mantienen los mismos objetivos

El plan se elaboró hace ya casi 10 años y sus propuestas y estrategias han sido rebasadas por los cambios sociales, económicos e institucionales en el país. Esto hace necesario realizar un nuevo PACD que esté enfocado a las prioridades para este siglo. En la actualidad, este PLAN no se ha adoptado oficialmente sin embargo durante los años de su existencia sus objetivos y estrategias han sido considerados por programas relacionados al medio ambiente en otras instituciones (SEMARNAT 2002 b).

Por otro lado a escala local, en el país se llevan a cabo acciones que están contribuyendo a hacer frente a los efectos del fenómeno.

Como en las zonas áridas y semiáridas se encuentran los suelos más aptos para la agricultura (53%), se han propuesto sistemas de captación de lluvia para la producción agrícola de temporal, porque en estas zonas sólo se dispone del 7% del agua de lluvia (entre 200 y 500 mm anuales).

Aunque en las zonas húmedas la disponibilidad de agua es del 64% sólo se cuenta con reducido porcentaje de suelos aptos para la agricultura (Rodríguez, 1990; citado en Fierro, 1998).

Los patrones de deforestación varían bastante en diversas regiones del país por lo que al seleccionar las prácticas para conservar y/o mejorar las condiciones de los suelos agrícolas es imprescindible conocer las características de cada lugar. De lo contrario una práctica que puede ser benéfica en un lugar, no tendrá éxito en otro sitio con diferentes características.

A continuación se citan ejemplos de algunas prácticas de conservación de suelos y de captación de lluvia, aplicadas en diferentes regiones del país.

La tecnología llamada de *cultivos de cobertura y/o abonos verdes* es una alternativa para la protección de los suelos en condiciones de pendiente, además contribuye con algunos beneficios como el incremento de la materia orgánica, la disminución de la evaporación de la humedad, y el aumento de la infiltración del agua de lluvia (Loaeza, 1998).

Con esta tecnología se pretende la recuperación y mejoramiento de los suelos de uso agrícola afectados por la erosión hídrica y la baja fertilidad a causa del uso continuo. Tal es el caso de algunos lugares correspondientes a las tierras altas de Oaxaca y de todo el centro y sur de nuestro país.

Una práctica de conservación aplicada a la protección de los suelos es el *uso de las plantas*. Esta práctica se utiliza en las microcuencas o lugares donde se intenta proteger los cuerpos de agua y de sus recursos asociados como el control de la erosión y las inundaciones. Al igual que otras grandes construcciones (terrazas y bordos), requiere de altos costos. En las microcuencas se utilizan especies vegetales como reforzamiento, algunas de ellas como el maguey, el nopal y la higuera se siembran en las curvas de nivel, en hileras perpendiculares a la pendiente del terreno; esto permite reducir la erosión hídrica y además aportan materia orgánica a través de sus raíces. (Loaeza, 1998).

Los lugares en donde se han puesto en práctica algunos de los *sistemas de captación de lluvia* se localizan en el estado de Oaxaca, por ejemplo en el distrito de Coixtlahuaca en donde se construyó un bordo de tierra para almacenar el agua y utilizarla con fines agrícolas. También se ha recurrido a la reforestación que se ha comenzado desde hace 10 años con especies nativas e inducidas. En la zona de la Mixteca se ha aplicado este método en donde el 70% de la superficie se encuentra en terrenos de ladera y con clima semiárido. Aunque la erosión del suelo es grave, algunas especies naturales pueden usarse con fines de reforestación como el enebro, bosques de mezquite y pino piñonero (Baldomero *et al.*, 1998). Se recomienda que las obras de captación de agua se complementen con programas de reforestación.

En las zonas costeras de Chiapas existen condiciones graves de erosión con desprendimiento de suelo (González, 1998). Los lomeríos y las laderas presentan erosión intensa y en los sitios donde se deposita el material desprendido como son los cauces de los ríos y las obras de drenaje principal los daños son intensos. En estos lugares se aplican diversas prácticas conservacionistas como, terrazas en cafetales, muros vegetativos, manejo de residuos, bordos de captación. Para la conservación de los suelos en laderas se recomiendan sistemas de terrazas individuales en cafetales y en frutales; además de aumentar la producción en las partes medias y altas de la Sierra de la Costa de Chiapas. (González, 1998).

Otro sitio afectado por el deficiente abasto de agua es parte del municipio de Xalapa en donde el agua suministrada provenía de manantiales situados en la ladera oriental del Cofre de Perote, pero debido al incremento de la población y a las prácticas agrícolas, de pastoreo y extracción de recursos (suelo, leña, fauna) el abasto del agua es insuficiente, y la cubierta vegetal se ha deteriorado; en consecuencia ha aumentado el escurrimiento superficial y los suelos han quedado expuestos a la erosión (Dorantes y Alvarez, 1998). Para enfrentar el problema se han propuesto métodos de captación de lluvia, y de protección de bosques que deberán estar integrados en un Plan de Ordenamiento y se deberá contar con apoyo institucional.

En algunos casos se impulsa la siembra de árboles y de los bosques de palma y otras plantas originarias del desierto. Esta acción tendrá resultados a largo plazo y requerirá políticas que garanticen continuidad ya que según estimaciones de expertos, para revertir parte de los efectos de la sequía y la desertificación se precisará de 10 años y habrá que capacitar a los habitantes de esas zonas para que sepan aprovechar sustentablemente sus recursos, El Universal (17-jun-2001 a).

Algunos grupos dedicados a la recuperación de zonas degradadas proponen el rescate de éstas mediante plantaciones forestales (Zárate *et al*, 1998). Esta acción ofrece la recuperación del suelo además de la generación de una derrama económica importante que favorece a las comunidades involucradas. Las plantaciones forestales se han llevado a cabo en regiones templadas con especies de coníferas y no en regiones tropicales. En particular en algunas zonas de Michoacán, se ha estado plantando el cedro rosado que por sus características de rápido crecimiento es una especie prometedora (Nuestras Tierras, 2000).

En los valles centrales de Oaxaca, el 62.8 % de la superficie actual de siembra tiene graves problemas por falta de disponibilidad de agua (Ruiz *et al*, 1998). Por ello se han

sugerido prácticas agronómicas que contribuyan a mejorar los cultivos de maíz (mayor altura de las plantas, mayor diámetro y peso de mazorca). Estas prácticas consisten en aplicación de estiércol, selección de semillas tolerantes a la sequía y remojado de semillas para asegurar requerimientos mínimos de agua, labranza reducida. Estas prácticas ya se han aplicado con buenos resultados ya que contribuyeron a mejorar las posibilidades de cosecha del maíz, y la producción se elevó, superando los resultados del sistema tradicional (Arredondo, 1998)

La región de Milpa Alta cercana al Distrito Federal, carece de agua para el riego de cultivos por ello la producción agrícola está en función del agua de lluvia. Desde mediados del siglo XX esta región se ha dedicado a la siembra de un tipo de nopal que ha sustituido a los cultivos tradicionales como el maguey y el frijol. Los agricultores de esta región han puesto en marcha una práctica para mantener la humedad del suelo, que consiste en aplicar gran cantidad de estiércol como cobertura orgánica para mantener la humedad aun en los meses secos (Fierro y González, 1998).

Los ejemplos anteriores representan numerosos casos que suceden en el país. Por lo que esta baja disponibilidad de agua ha hecho necesaria la creación de diversos sistemas de captación de lluvias, en algunos casos con fines de reforestación, restablecer la vegetación y para el control de la erosión de los suelos. Pero es necesario considerar las características edáfico-climáticas en cada sitio (Pimentel, 1998, Fierro, 1998) de lo contrario no siempre se pueden aplicar tales sistemas con resultados favorables. Teniendo en cuenta estas características algunos de los sistemas recomendados son los siguientes:

- La cepa común.- es un terreno con pendiente mayor a 5% para valores de precipitación mayores a 500 mm anuales.
- La zanja ciega.- se construye siguiendo las curvas de nivel y es apropiada para suelos compactados y profundos.
- La zanja trinchera.- Se construye siguiendo las curvas de nivel, pero con la tierra producto de la excavación se forma un bordo. Es más eficaz que las anteriores y apta para terrenos en pendientes con suelos endurecidos.
- Gradoni.- Sistema italiano para uso en reforestaciones. Recomendable para las zonas semiáridas de México.
- Saucedá.- Se siguen más o menos las curvas de nivel y se construye en terrenos con pendiente menor a 5%.

- Terrazas de absorción.- Consiste en un método mecanizado que se construye siguiendo las curvas de nivel. Captan grandes cantidades de agua y es el mejor sistema de preparación del terreno de los métodos mecanizados.

Todos estos sistemas dependen de la separación entre las hileras de plantación, pendiente del terreno, cantidad de precipitación pluvial y de los recursos económicos que se dispongan (Pimentel, 1998, Robino, 1998, González, 1998, Nieto *et al*, 1998).

Los dos primeros sistemas son los más eficientes para la captación de lluvias pero todos cumplen con el objetivo de restablecer la vegetación (Pimentel, 1998). Estas prácticas mencionadas también son de gran beneficio para la producción agrícola de temporal.

Reiterando, las medidas para controlar la erosión en los suelos requieren del conocimiento de las características del mismo, ya que en cada suelo varían. Por ello las técnicas deberán ser específicas en cada caso.

Las técnicas anteriores requieren considerar diferentes factores (amador y Salazar, 1998). Por ejemplo, en el caso de la *construcción de zanjas* es necesario tener en cuenta la pendiente y la velocidad de infiltración, por lo que es conveniente que se construyan a distancias determinadas de tal manera que el agua de lluvia quede en el terreno y su filtración sea lenta. Cuando la pendiente es pronunciada hay más escurrimiento, por ello conviene que las zanjas estén a distancias menores. Si la pendiente alcanza más de 45°, no se recomienda la construcción de zanjas porque no se forma un bordo resistente que detenga el agua, entonces pueden desbordarse y provocar una erosión más intensa. Por lo que se refiere a la infiltración, los suelos arenosos son los más aptos para ésta, en cambio los suelos arcillosos no la facilitan. A medida que la pendiente de la ladera aumenta, la distancia entre las zanjas es menor (SEMARNAP/CECADESU, 1997).

5.2 Acciones para mitigar las altas emisiones de CO₂

El Instituto Nacional de Ecología (INE) de la SEMARNAP tiene a su cargo entre otras acciones la de evaluar diversos proyectos para la elaboración de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático. Uno de estos proyectos es el relacionado al Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, que ha permitido identificar y cuantificar las posibles fuentes y sumideros de gases en el país.

La captura del carbono en el sector forestal es una opción en la que se contempla que los bosques absorban gran parte del CO₂ ya que en México los bosques y selvas

ocupan una superficie de 56,851.500 hectáreas, adicionalmente existen 57,638.400 hectáreas de vegetación semiárida.

Los bosques mexicanos tienen un enorme potencial para convertirse en captadores de carbono. Según Masera (1995c; citado en Ordoñez, 1999) identifica 2 opciones básicas de mitigación del carbono en el sector forestal:

- a) Conservación.- es decir evitar las emisiones, preservando áreas protegidas, fomentando el manejo sostenible de los bosques naturales y el uso renovable de la leña y mediante la reducción de incendios.
- b) Reforestación consistente en la plantación de árboles en superficies desprovistas de vegetación o con vegetación muy degradada, para recuperar áreas dañadas mediante la protección de cuencas, la reforestación urbana, el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, etc., así como de las plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad). Con estas acciones se pretende incrementar la fijación y el almacenaje de carbono.

En el país una acción puesta en práctica es el caso de la comunidad de San Juan Parangaricutiro, Michoacán, que en 1988 dio inicio a un modelo forestal en el que se dividieron áreas para los aprovechamientos y se han hecho plantaciones forestales para la reforestación. En un lapso de 5 años se han reforestado 1,300 ha. En algunas zonas se ha igualado y superado la constante de crecimiento de la regeneración natural (Ordoñez, 1999).

Aún existen muy pocos estudios de caso sobre la estimación del potencial de captura de carbono en ecosistemas forestales, por lo que este puede ser un camino óptimo para minimizar los efectos de los gases de invernadero (Ordoñez, 1999; Cambio Climático, 1998).

Por otro lado, se han llevado a cabo estudios a escala regional para atenuar el daño que pueden causar las variaciones climáticas. Un ejemplo es el estudio del clima de Tlaxcala para hacer pronósticos que ayuden a los productores de maíz a adaptarse a las condiciones extremas del clima (Magaña et al., 1999).

Por parte de PEMEX las acciones para enfrentar los efectos del calentamiento global incluyen diversas medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero, las cuales se han llevado a cabo desde el año de 1999, algunas son:

La reforestación de terrenos y las campañas permanentes de uso eficiente y ahorro de energía.

También se han fijado metas a corto y largo plazo para la reducción de contaminantes. Las primeras comprendieron un periodo de junio a diciembre del 2001 y las segundas abarcarán el periodo de enero-2002 a diciembre 2010, durante el que se espera reducir los contaminantes en un 10% (Fernández, 2002).

SEMARNAT también realiza entre otros estudios, los relacionados a cambio climático, sin embargo como señaló Ojeda, (2002, comunicación oral) en el "Taller de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático", la toma de decisiones para poner en práctica acciones que enfrenten el fenómeno, tendrán que posponerse hasta que no se considere como prioritario este problema y que finalice el proceso de cambio en el aspecto político.

CONCLUSIONES

Del trabajo de tesis que expone la compleja relación entre la desertificación y el cambio climático se extraen las siguientes conclusiones:

Respecto a la definición de la *desertificación* se destacan tres características principales; hace referencia a que la degradación de tierras se restringe únicamente a unas áreas climáticas, y señala que las áreas afectadas por la misma degradación, tienden a convertirse en desiertos. También indica que las causas de ésta son naturales y antropogénicas.

El término desertificación, aunque en la definición se refiere exclusivamente a las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, se usa indistintamente con el enfoque de degradación de tierras, que si bien la desertificación es un proceso de la degradación de tierras, ésta última tiene una connotación mucho más amplia toda vez que se aplica para otras áreas climáticas incluyendo las húmedas.

De los trabajos consultados se observó que existen diferentes enfoques ya que algunos se orientan a los efectos de carácter físico de la desertificación y otros a los efectos sociales o económicos; y aunque se tienen en cuenta los numerosos factores involucrados, no todos se pueden evaluar, debido a que no existen suficientes datos ni metodologías disponibles.

En la literatura utilizada no siempre se usa el término desertificación para hablar del deterioro de las tierras que corresponden a las zonas áridas semiáridas y subhúmedas secas. Pero analizando los trabajos de investigación se observa que sí entran dentro del deterioro que implica el fenómeno de la desertificación.

Este trabajo permite reconocer que el uso de algunos términos puede ser controversial, ya que su definición aún se encuentra en evolución o tiende a quedar en desuso.

Respecto al cambio climático, también se pudo observar que su definición aún conlleva confusión pues se usa tanto para cambio como para variabilidad climática. Sin embargo hay diferencias pues el cambio climático se refiere a las alteraciones que tiene el clima y que se pueden manifestar en periodos de decenas, cientos, o miles de años y la variabilidad climática se manifiesta a escalas interanuales.

Por otro lado, quedó identificada la compleja relación que existe entre la desertificación y el cambio climático, así como los procesos que intervienen en ambos.

Los resultados del análisis documental permiten señalar que:

Aunque diversos autores han señalado las evidencias sobre la relación desertificación-cambio, climático-desertificación falta mucho por hacer, sobre todo para evaluar estos fenómenos.

También se observó que el cambio climático tiene mayor influencia en los procesos de la desertificación a escala global, además de ser más drásticos y más notables debido principalmente a la intensificación y frecuencia de fenómenos como la sequía, la variabilidad de la precipitación, los ciclones y las inundaciones.

Por el contrario, la influencia de la desertificación sobre el cambio climático tiene mayor repercusión a nivel local o regional.

Como se ha visto, a lo largo de esta tesis, los factores que determinan las relaciones desertificación-clima son numerosos, complejos y actúan en forma bidireccional o multidireccional. Pueden ser originados de manera natural y antrópica. En el caso de originarse naturalmente, los efectos suceden casi siempre a largo plazo (cientos o miles de años) y en el caso de originarse por las actividades humanas, los efectos generalmente se manifiestan a corto plazo (décadas)

Los estudios enfocados a los dos fenómenos, desertificación y cambio climático permiten, al respecto, tener una evaluación un tanto preliminar de la situación de México. Esto es porque de acuerdo a la bibliografía consultada, los estudios relacionados a la desertificación se han realizado mayormente a escala local o regional y los de cambio climático a escala global. Además hay muy pocos estudios que traten esta relación en el país. Aunado a esto gran parte de la información existente se encuentra dispersa o carece de una buena difusión.

Gran parte de México se ve afectado por distintos grados de desertificación, desde la ligera hasta la muy severa. En los casos en que ésta es ligera es posible revertir el daño, sin embargo no siempre se detectan a tiempo sus manifestaciones. El daño causado por los procesos de desertificación en áreas de cultivo, en algunos casos, es irreversible.

Como se dijo en el capítulo 2, la evaluación más reciente realizada por SEMARNAT (2000), sobre la degradación de los suelos, originada por actividad humana, indica que el 45% del territorio nacional tiene suelos degradados, el 28.6% son terrenos estables o sin degradar y el 25.9 % de terrenos no tienen uso. Asimismo reporta que los procesos involucrados en este deterioro son:

- La degradación química que afecta al 18.3% del país,

- La degradación hídrica con el 11.4%
- La degradación eólica con el 9.4% y
- La degradación física con el 5.9%

Los estados más afectados son Yucatán (53.2%), D. F (43.6%), Tabasco (37.6%), Chiapas (33%), Guerrero (31.3%), Chihuahua (28.7%), Michoacán (26.9%) y Tlaxcala (26.6%).

Los principales factores causativos de esta degradación son las actividades agrícolas representadas con un 38.8%, le sigue el pastoreo con 38.4%, la deforestación con un 16.5%, la urbanización con el 3.5%, la sobreexplotación de vegetación para consumo con un 2.4% y finalmente las actividades industriales con el 0.5%

Asimismo, la sobrepoblación y la falta de programas educativos son otros detonadores que aceleran el daño al medio ambiente. Se siguen destruyendo extensas áreas verdes para construcción de viviendas en zonas inadecuadas como las laderas de las elevaciones, ocasionando destrucción de la capa vegetal y enormes deslizamientos de material. No existe control para la deforestación y el mal uso de los recursos naturales que afectan la biodiversidad.

Comparando las estadísticas mundiales de la población afectada por la desertificación en las zonas áridas, con las estadísticas nacionales, el porcentaje de población afectada resulta igual (30.0 %). Pero si se incluyen las zonas subhúmedas secas el porcentaje se incrementa a más del 50%.

Afortunadamente se han comenzado a tomar medidas de control y prevención, pero la falta de recursos económicos, la tecnología inadecuada, la falta de conocimiento y de concientización del fenómeno pueden retrasar o impedir que se lleven a cabo estas medidas de forma satisfactoria.

Es necesario realizar más investigaciones y aplicar modelos que permitan conocer las relaciones y el grado de vulnerabilidad de las regiones afectadas por la desertificación y el cambio climático, sobretodo para México, ya que actualmente no es posible hacer una evaluación real.

Esta tesis, de carácter documental al menos tiene el valor de haber recopilado información que integra la temática del cambio climático y la desertificación que estaba dispersa, y en algunos casos desconocida, y por tanto constituye un testimonio que facilita al usuario, la consulta bibliográfica sobre el tema.

Uno de los aportes de este trabajo es establecer las pautas para futuras investigaciones que manejen de manera integral los fenómenos relacionados con la desertificación y el cambio climático.

Otro más, es la reunión de información y presentación de un panorama general de estos fenómenos, para el caso de México.

Una de las dificultades mayores de este documento y en general en todo el texto, es que se observa un tanto repetitivo y esto se debe a pretender separar en grupos las causas naturales y antropogénicas de la desertificación y del cambio climático y sus efectos. Intentar esta agrupación fue muy difícil pues ambos conjuntos de causas actúan de manera muy estrecha, directa e indirectamente. Y como se mencionó varias veces, los efectos a su vez pueden constituirse en causas

Finalmente, se recomienda entre otras acciones de carácter general:

- Programas educativos enfocados a concientizar a la población sobre la gravedad del deterioro del medio ambiente.
- El desarrollo de fuentes de energía alterna como puede ser la energía solar.
- Reforestación a gran escala.
- El uso más eficiente de combustibles fósiles.

Anexo 1. Algunos ejemplos de eventos extremos relacionados con el cambio climático y la desertificación.

En el siguiente anexo se presentan los ejemplos que más destacan por su impacto en el país. Los sucesos están agrupados por impactos físicos, sociales y económicos.

1. Físicos:

Oscilaciones térmicas

1.1. En el año 1997 se registraron altas temperaturas en casi todo el país. En el norte se presentó una fuerte oscilación de temperatura, de 16 a 46.5°C; afectó a los estados de: Sinaloa, Sonora, Baja California y Nayarit. (La Jornada, 8-05-97. Secc. Soc. p.42)

En consecuencia se presentaron males respiratorios y deshidrataciones.

1.2. En el caso de las grandes ciudades como el D.F, las temperaturas se deben también a la contaminación y expansión urbana. El calentamiento se produce lento y gradual debido al efecto del aumento de bióxido de carbono producto de la combustión de industrias y automóviles. Las construcciones de vidrios y espejos rechazan y envían la radiación a los edificios vecinos. Esto es una moda perjudicial. Ello ha causado que la temperatura media anual en la ciudad de México haya aumentado, según se ha registrado en Tacubaya con valores en años pasados de 14.5 °C y actualmente es de 16.5°C. (Jáuregui La Jornada 20-may-97. Secc ciudad p.59)

1.3. En Coahuila se presentaron temperaturas mayores a 43°C. Ocurrió escasez de agua. Se vio afectada la agricultura por lo que se llevó riego de auxilio. (El Universal, 5-jun-97 Sección estados Pág 4).

1.4 En Culiacán Sinaloa se reportaron 20 niños fallecidos a causa de la deshidratación en el verano, debido a temperaturas de hasta 42°C. (El Universal, 25-junio-97, Sección estados Pág 4).

2. Sociales:

Enfermedades

2.1. Se presentó alerta por brotes de hepatitis en San Luis Potosí. En el transcurso del año se presentaron 338 casos. La incidencia fue mayor que en el año de 1996. Se pidió

que la elaboración de los alimentos se hiciera con más higiene y trata (El Universal, 8-mayo-97, Sección estados Pág 4)

2.1 En Nayarit las altas temperaturas y pésima cloración de agua potable por parte de las autoridades municipales ocasionaron 13 muertes por enfermedades diarreicas. En los tres últimos meses se presentaron 18 000 casos de enfermedades a diferencia del año 1996 en que se registraron solo 7 muertes (El Universal, 22-mayo-97, Secc. estados Pág 2).

2.2 En Guanajuato se registraron dos casos de cólera. En el transcurso del año han muerto 200 niños por problemas diarreicos debido al consumo de verdura contaminada o por el agua contaminada de algún pozo (El Universal, 30-mayo-97, Sección estados Pág 3).

2.3 En el municipio de Santa María del Río, San Luis Potosí, se presentaron dos casos de cólera. La localidad carece de infraestructura adecuada para evitar la expansión del mal (El Universal, 3-jun-97, Sección estados Pág 4).

2.4 En la comunidad Koba, Cd. Del Carmen Campeche durante marzo, abril y mayo se produjeron muertes por cólera. Aunque el sector salud no reportó casos de esta enfermedad.

Los campesinos carecen de recursos para acudir a servicios médicos cercanos y económicos (El Universal, 5-jun-97, Sección estados Pág 1).

2.5 Se reportaron casos de cólera: 11 en Puebla. En Aguascalientes y Sinaloa más de 3000 enfermos por males gastrointestinales. Temperaturas de 40°C (El Universal, 24-junio-97, Sección estados Pág 1).

2.6 Se reportaron 62 casos de cólera en una semana en Morelos. 11 en Puebla y 11 en Tamaulipas. Los casos se asocian al consumo de hortalizas contaminadas (en el centro del país) y de mariscos (en la zona de Tamaulipas) (La Jornada, 29-junio-97, Sección sociedad Pág 48).

3.Económicos

Acciones

3.1 Se sugieren métodos biológicos para combatir plagas en Sinaloa.

Los agricultores que cultivan 10 000 hectáreas de soya deben eliminar el uso de agroquímicos en el combate de la plaga de la mosquita blanca.

Se recomendó como control biológico colocar hongos que atraen al insecto mosquita blanca y al consumirlo mueren. Esta es una manera de combatir más eficazmente esta plaga (El Universal, 30-mayo-97, Sección estados Pág 4).

3.2 En este año se incorporaron 1 millón 100 mil hectáreas al Sistema Nacional de Áreas Protegidas que se sumaron a los 11 millones de las 94 áreas que ya existen en esta categoría en México.

Hasta ahora existen:

44 parques nacionales	688 mil 103 hectáreas
13 reservas especiales de la biosfera	491 mil 336 hectáreas
19 reservas de la biosfera	7 millones 697 mil 237 hectáreas.
9 áreas de protección de flora y fauna silvestre y acuáticas	660 mil 501 hectáreas.

(La Jornada, 5-jun-97, Pág 1).

Contaminación

En los suelos y subsuelos predomina la contaminación por hidrocarburos y los metales pesados como contaminantes.

No hay medidas que salvaguardan el subsuelo y los mantos freáticos. Aunque existe la Ley General del Equilibrio Ecológico no se considera al subsuelo como un recurso natural no renovable. Debido a que México es un país petrolero, predomina tal contaminación. Los hidrocarburos pueden ser petróleo crudo, combustóleo, gasolina, diesel, gasoleo y turbosina (El Universal, 2-jun-97, Sección estados Pág 4)

En Cd. Lerdo, Durango, Ejido Nuevo Graceros se detectó agua contaminada de los pozos (El Universal, 4-jun-97, Sección. estados Pág 4).

Lluvia

En Nuevo León se presentaron fuertes lluvias con viento, granizo y descargas eléctricas. Después de presentarse temperaturas altas mayores de 40° C se originó una inesperada helada bajó la temperatura a -4°C. Se perdieron 1000 hectáreas sembradas de maíz (El Universal, 25-mayo-97, Sección estados Pág 1).

En los estados de Querétaro y Tlaxcala hubo daños por granizadas que ascendieron a 1500 hectáreas de cultivos, 3750 familias damnificadas y caminos rurales intransitables (El Universal, 22-mayo-97, Sección estados Pág 1).

En Nuevo León y Veracruz las malas condiciones atmosféricas ocasionaron cientos de personas damnificadas y cuantiosos daños materiales. La precipitación pluvial alcanzó 127 mm, siendo la más elevada en 53 años (La Jornada, 25-mayo-97, Sección. Sociedad Pág 46).

En La Laguna, Cd. Lerdo, Durango, el daño por granizadas afectó a 5800 hectáreas. Otros daños también en Coahuila y Durango (El Universal, 26-mayo-97, Sección Sociedad Pág 3).

A causa de las lluvias intensas, en el sur del D.F se produjeron inundaciones, caos vial, cortos circuitos, árboles y cables de luz caídos (El Universal, 3-jun-97, Sección estados Pág 4).

En el Estado de México las tormentas destruyeron 1200 hectáreas de cultivo. Los poblados afectados fueron: El Carmen, Ocoatepec, Ejido San Lucas, San Lucas Ocoatepec, y Mayorazgo en donde las calles se cubrieron de lodo (El Universal, 20-junio-97, Sección estados Pág 3).

Intensas lluvias. En el municipio Atizapán de Zaragoza el nivel del agua alcanzó 50 cm. (La Jornada, 24-junio-97, Sección. Capital Pág 48).

Las intensas lluvias produjeron caos en Ecatepec, Edo. de México. El agua alcanzó 1.20 m de altura, y el humedecimiento del suelo produjo 200 grietas (El Universal, 1-julio-97, Sección estados Pág 3).

En Tabasco se presentó epidemia de dengue con 425 casos en el transcurso del año. En varios municipios se registraron estos casos ligados a la proliferación del mosquito *Aedes Aegypti* que se reproduce preferentemente en lagunas, arroyos, sitios encharcados y otros cuerpos de agua. La temporada de lluvias se convierte en etapa de proliferación de este insecto (El Universal, 1-julio-97, Sección estados Pág 2).

ANIMALES

En Tlaxcala se presentaron brotes de fiebre porcina, 39 casos en 6 municipios. Se detectaron animales enfermos provenientes de Puebla, Hidalgo y Edo. de México (El Universal, 26-mayo-97, Sección Sociedad Pág 1).

La onda de calor puso en riesgo por sequía 150 mil hectáreas de maíz y 60 mil cabezas de ganado. En Yucatán la onda de calor arriesgó cosechas de maíz y el sector ganadero se vio afectado en Baja California (La Jornada, 24-junio-97, Sección sociedad Pág 42).

BIBLIOGRAFIA

- Adams J., Maslin M., y Thomas E. (1999). "Sudden climate transitions during the Quaternary". *Progress in Physical Geography* 23,1. Pp 1-36.
- Anaya G. M. (1998). "Cronología de la desertificación en México y lineamientos estratégicos para su prevención y control". *Ponencia. Reunión Anual sobre la Conservación y Restauración de Suelos*. Octubre 26 al 28, 1998 Ciudad Universitaria, México.
- Amador M. A. y Salazar S. E. (1998). "Comparación de tres sistemas de labranza con respecto al ciclo del nitrógeno, humedad y temperatura del suelo en avena (*Avena sativa*). V *Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Memoria IICA 26-28 de Octubre de 1998. Oaxaca, Oaxaca*. Publicado por la Sociedad Mexicana del Suelo. Págs. 34-39.
- Anuario Estadístico. Edición 2001. Aspectos Demográficos. 1ª. Parte. Cuadro 2.1 Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI) México.
- Arredondo V.C. (1998). "Tecnologías para fortalecer el sistema tradicional de maíz de temporal en los valles centrales de Oaxaca". V *Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Memoria IICA. 26-28 de octubre de 1998*. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 137-144.
- Arroyo Alejandro Jesús. (1989). "El abandono rural". Universidad de Guadalajara. Impreso en Interlínea/gráfica Nueva, Guadalajara, Jalisco. Colección Tiempos de Ciencia.
- Atlas del Mundo Aguilar* (1994), Aguilar de Ediciones. Madrid España.
- Atlas Forestal del Estado de Michoacán. 1ª. Edición 2001. Comisión Forestal del Estado (COFOM). Impreso en México.
- Atlas Nacional del Medio Físico. (1988) INEGI.
- Atlas Nacional de México. (1990). Volumen 1. Mapa III.1.3 Población Urbana y Rural. Escala 1:4 000 000. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Baldomero H., Zárate N., Martínez G. y Domínguez H. M.L. (1998). "Captación de agua de lluvia y reforestación de los suelos calcáreos erosionados del Distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca". V *Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Memoria IICA 26-28 de Octubre de 1998. Oaxaca, Oaxaca. Publicado por la Sociedad Mexicana del Suelo*. Págs.186-193.
- Barrera y WinklerPrins. (2001). "Perspectivas locales en la conservación de las tierras en Latinoamérica; evidencias en Brasil y México". *Proceedings of The International Symposium on Land Degradation and Desertification. May-7-14, 2001*. Cd. De México, Pátzcuaro, Michoacán. Pág. 25.
- Beaumont P. (1987) "Problemas de la desertificación en el Medio Oriente". Capítulo 13, en *Colonización de las tierras áridas y lucha contra la desertificación: enfoque integral*, capítulo

2, en *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Comisión de la URSS de los asuntos de PNUMA.* (Moscú, 1987). Pág. 84-89.

Bitrán D., Jiménez E. M., Eslava M.H., Salas S.M.A., Vázquez C.M.T., Matías R. L.G., Camacho Q.K.S, y Acosta C.L. (2000). "Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000". No. 2. *Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México.* CENAPRED.

Bocco G., Mendoza M. y Masera R. O. (2001). "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía.* UNAM. Núm. 44, pp 18-38.

Budyko M.I e Izrael, Y.A. (1987). Editors. *Antropogenic Climatic Change.* University of Arizona.

Bullock P. y Le Houérou H. (1995). "Land degradation and desertification". Cap. 4. En *Climate Change, Impacts, adaptations and mitigations of Climate Change. Scientific-Technical analyses.* Editado por Robert T. Watson, Marufu C. Zingowera y Richard H. Moss. *Contribution of Working Group I I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* P. 174-189. Publicado por Cambridge University Press.

Carta de Climas 14 Q-V. México. Escala 1:500 000. CETENAP. UNAM. 1970

Carta de Climas 13 R-VII. Culiacán. CETENAP. UNAM. 1970

Carta de Climas 12 R-VI. Cd. Obregón. CETENAP. UNAM. 1970

Cambio Climático (1998). El reto al Sector Privado en América Latina. Centro INNOV para el Desarrollo Sostenible. Monterrey, Nuevo León, México. Versión electrónica para www.climategateway.com

Cedillo F. Y., (1997). *Algunos aspectos del volcanismo reciente en México. Tesis de Licenciatura en Geografía.* Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

CENAPRED. *Reseña periodística sobre desastres naturales.* Años 1997-1998.

Cervantes R. M.C. (2002). Plantas de Importancia económica en las zonas áridas de México. Temas selectos de Geografía de México. I. Textos monográficos: 5 Economía

Conacher J. A. (2001). *Land Degradation.* Papers selected from contributions to the Sixth Meeting of the International Geographical Union's Commission on Land Degradation and Desertification, Perth, Western Australia, 20-28 September 1999. Kluwer Academic Publishers.

Conde C., Sánchez O., Gay C. (1994). "Escenarios Básicos y Regionales. Estudio de País, México. P39-43. *México ante el Cambio Climático 1er. Taller de Estudio de País, México.*

Conde C., Ferrer R.M., Araujo R., Gay C. Magaña V., Pérez J.L., Morales T., y Orozco S. (1999). "El Niño y la Agricultura". Capítulo 4. Págs. 103-136. En *Los Impactos de El Niño en México.* Editor: Víctor O. Magaña R.

- Conde C. (2002). Mesa Redonda: Seguridad Alimentaria y Salud. Taller de Cambio Climático. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 27-28-Jun-2002.
- Coronato, F.R y Bertiller, M.B (1996):" Precipitation and landscape related effects on soil moisture in semi-arid rangelands of Patagonia". *Journal of Arid Environments* 34, 1.9
- Cotler, H. (2001). "Soil aggregation as vulnerability indicator for geo-ecosystems at the Pacific coast of México". Pag 36. *Proceedings of The International Symposium on Land Degradation and Desertification*. May 7-14, 2001. México City, Pátzcuaro Michoacán.
- Crowley J. Thomas. (2000). "Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years". Science Magazine. Vol 289. P.270-276.
- De Marcos J. y Palacios D. (1996). "Deglaciación en los grandes estratovolcanes mexicanos en 1994-95". *IV Reunión de Geomorfología. Sociedad Española de Geomorfología*. P. 519-529
- Delgado H. (1997). "The glaciers of Popocatépetl volcano (México): changes and causes". *Quaternary International*. Vol. 43/44, p 53-60
- Delgadillo M.J., Aguilar O.T y Rodríguez V. D. (1999). "Los aspectos económicos y sociales de El Niño". Capítulo 6. Págs. 181-210. En *Los Impactos de El Niño en México*. Editor: Víctor O. Magaña R.
- Dimas L. M. J., Martínez T. J., y González P. R. (1998). "Selección de genotipos de maíz en condiciones limitadas de humedad". *V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Memoria IICA*. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 129-136.
- Dorantes L. J y Alvarez O. R: (1998) "Abasto sustentable de agua para el municipio de Xalapa". *V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Memoria IICA*. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 227-283.
- Dregne H.E. (1985). "Desertification of arid lands". (*Advances in desert and arid land technology and development*). 2nd. Printing.
- Dregne, H.E y Chou, N. T. (1992). "Global Desert Dimensions and Costs". En *Degradation and restoration of arid lands*. Texas Tech. University, P-249-281
- Dregne H.E. (1995). "Desertification control: a framework for action". En *Desertification in developed countries*. Editado por David A. Mouat y Charles F. Hutchinson. Kluwer Academic Publishers. Págs. 111-122.
- Erickson, J. (1992). "Un mundo en desequilibrio. La contaminación de nuestro planeta". Mc Graw-Hill.
- Estrada B.W.J.W. y Ortiz S.C. (1982). "Plano de erosión hídrica del suelo en México". *Revista de Geografía Agrícola* (análisis regional de la agricultura). Julio, 1982. Universidad Autónoma de Chapingo. 23-29.

- El Universal, Año LXXXV-Tomo CCCXXXVII/Número 30, 552. Domingo 17- jun 2001 (a). "Aumenta desierto en el país, alertan" (Día Mundial Lucha Contra la Desertificación) Pág A8 Internet www.eluniversal.com.mx.
- El Universal, Año LXXXV-Tomo CCCXXXVII/Número 30, 552. Domingo 17- jun 2001 (b). "Amenaza sequía 50% de tierras cultivables". Pág A10 Internet www.eluniversal.com.mx.
- El Universal, Año LXXXV-Tomo CCCXXXVII/Número 30, 552. Domingo 17- jun 2001 (c). "Avanza la desertización, alertan". Pág B17 Internet www.eluniversal.com.mx.
- Farshad A. Y Barrera N. (2001) "The historical anthropogenic land degradation as related to agricultural systems: case studies of Iran and México". Pág. 13. *Proceedings of The International Symposium on Land Degradation and Desertification*. May-7-14, 2001. México City, Pátzcuaro Michoacán.
- Fernández González R. (1990). "Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México". *TERRA. Vol.8 Núm.2*, 226-240. Centro Nacional de Investigaciones Agrarias, Cuernavaca, Morelos.
- Fernández J.L., (2002). Mesa Redonda "Mitigación". En el Taller: Adaptación y Mitigación del Cambio Climático. Comunicación oral. Torre de Ingeniería. U.N.A.M. 27-28-junio-2002.
- Fierro A. A. (1998) "Los sistemas de captación de lluvia para la producción agrícola y su enseñanza en la UAM-Xochimilco, una propuesta para la agricultura de temporal en México". V *Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Memoria ICCA. 26-28 de octubre de 1998*. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 119-128
- Fierro A. A., y González I. M. M. (1998). "El uso del estiércol de ganado vacuno como cobertera orgánica, en el cultivo del nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la región de Milpa alta, D.F". V *Reunión Nacional sobre sistemas de captación de lluvia. Memoria ICCA. 26-28 de octubre de 1998*. Publicado por la sociedad Mexicana de ciencia del suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 145-156.
- Flohn H. (1993) "Climatic evolutions during the last millennium: what can we learn from it?". *Global Changes in the Perspective of the Past*. Edited by J. A. Eddy and H. Oeshger. P. 295-316. John Wiley and Sons Ltd.
- Florescano E., y Swan S. (1995). "Breve historia de la sequía en México". Biblioteca Universidad Veracruzana. Xalapa. Ver. México.
- García C, (1978). "Marco Geográfico de la desertificación en México". *Cap. 3 en La Desertificación en México*. Editado por Fernando Medellín-Leal. P 35-54.
- García E. (1985). "Presión atmosférica", capítulo III, págs 49-75; en *Apuntes de Climatología. 5ª*. Edición. México D.F.
- García E. (1989). "Apuntes de Climatología". UNAM, México D.F.

- García E., Vidal, R. y Hernández, M.E. (1992). *Carta de Climas de la República Mexicana. En Atlas Nacional de México*. Inst. de Geografía UNAM.
- Gay, C. (Compilador) (2000) México: una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Ed. Toffer S.A. de C.V.
- García J.F., Fuentes M.O., y Matías R. L.G. (2002). "Sequías" *Fascículo. Área de Riesgos Hidrometeorológicos*. CENAPRED. Marzo 2002. En prensa.
- Gay C., y Estrada M. (2001). "Climate Change: Sustainable development, equity and market mechanisms" *World Resource Review*. Volume 13. Number 3. Págs 397-405.
- Gay C., (2002). "Zonas geográficas y sectores críticos". En: Taller de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático. Ponencia inédita. Torre de Ingeniería, U.N.A.M. México. 27-28 junio, 2002.
- Geographical, "Out of sink". *Opinión*. Marzo 2001. Vol 73. No. 3.
- GEO 2000. "América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente". *Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*
- Glantz H. M. (1996) *Currents of Change*. Cambridge University. Ed.
- González D. S. (1998). "Las terrazas individuales y control de erosión en plantaciones de cafetales y marañón en la costa de Chiapas". *V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. Memoria ICCA. 26-28 de octubre de 1998*. Publicado por la sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 194-207.
- Goss L. B. (2000). "The decreasing artic ice cover" *Physics Today*. Ene 2000. P.19-20.
- Goudie A.S. (1994). "Deserts in a warmer world". *Environmental change in drylands*. P. 1-24.
- Gutiérrez M. T., y Valdéz Q. R., (1997). "Zonas áridas de México: cambios en el crecimiento de la población urbana y en su distribución 1900 a 1990". *Revista Geografía y Desarrollo No. 15*, 67-79.
- Harzallah, A., Aragao, J.O.R. and Sadourny , R. (1996): "International rainfall variability in north-east Brazil: observation and model simulation". *International Journal of Climatology* 16, 861-78.
- Herzog H., Eliasson B, y Karstod O. (2000) "Capturing the greenhouse gases". *Scientific American*. Feb. 2000. Pág. 56-61.
- Hernández C.M.E. (1992). *Climas áridos de México*. Tesis de Doctorado en Ciencias. 115 p. U.N.A.M. Facultad de Ciencias. México.
- Hernández C. M.E. (1994). "La sequía en México". *Memoria del Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el Cambio Climático. Cuernavaca, Mor. 12-18 abril*. Editado por Carlos Gay, Luis Gerardo Ruiz Suárez, Mireya Imas, Cecilia Conde y Oscar Sánchez.

- Hernández C M.E y García E. (1997). "Condiciones climáticas de las zonas áridas en México" *Geografía y Desarrollo*, Núm. 15. Pág. 5-16
- Hernández C.M.E., Torres T.L.A. y Valdez M.G. (2000). "Sequía Meteorológica". En *México: una visión hacia el Siglo XXI. El Cambio Climático en México*. Instituto Nacional de Ecología. UNAM. Editorial Toffer S.a de C.V.
- Hill J., Sommer S., Mehl W., y Megier J. (1995). Use of Earth observation satellite data for land degradation mapping and monitoring in Mediterranean ecosystems: towards a satellite-observatory.
- Huges Donald J. (1981). "La ecología de las civilizaciones antiguas". *Primera edición. # 316 Breviarios del Fondo de Cultura Económica*. México.
- Hulme, M. (1996a): "Recent change in the world's drylands". *Geophysical Research Letters* 23, 61-4.
- INE, (1995). "Estudio de País: México ante el Cambio Climático Global". *Informe Técnico*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM-Instituto Nacional de Ecología.
- INEGI, SEMARNAP (2000). "Indicadores de desarrollo sustentable en México". *Segunda parte. Anexo. Información estadística de los indicadores. Categoría Ambiental*. Pág. 125-181.
- INEGI (2001). XII Censo Nacional de Población y Vivienda 2000. Tabuladores Básicos. Estados Unidos Mexicanos.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (1995a). *Climate Change: Impacts, Adaptations, and mitigation of climate change: Scientific-Technical Analyses*. (Group II). Editado por Robert T. Watson, Marufu C. Zingowera y Richard H. Moss. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Publicado por Cambridge University Press.
- IPCC. (1995b). *Climate Change: Economic and social dimensions of climate change*. (Group III). Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Publicado por Cambridge University Press.
- IPCC. (2001). *Climate Change: Impacts, Adaptations, and mitigation of climate change*. A Report of Working Group II. Technical Summary Impacts, Adaptation and Vulnerability. p-21-72.
- Jakosky B, (1998). "The Search for life on other planets" Cambridge University Press. 326 p.
- Jaramillo J. Víctor., (1994). "El cambio Global: interacciones de la biota y la atmósfera". *Revista Ciencias de la Facultad de Ciencias de la UNAM*. No. 35 Julio-Septiembre de 1994, p 4-13.
- Jáuregui O.E. (1994). "El cambio global del clima y posibles efectos en las necesidades de enfriamiento de locales en México". P. 61-67. *Memoria del Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el Cambio Climático*. Cuernavaca, Mor. 12-18 abril. Editado por Carlos Gay, Luis Gerardo Ruiz Suárez, Mireya Imas, Cecilia Conde y Oscar Sánchez.

- Jáuregui O.E (1995). "Rainfall fluctuations and tropical storm activity in México" *Erkunde*. Ene-mar No. 49/1. Boss-Verlag. P-39-48.
- Jáuregui O.E. (2000). "El clima de la Ciudad de México". *Textos monográficos I.4.1 Temas selectos de Geografía de México*. Plaza y Valdés. S.A de C.V
- Jones P.D., Osborn T.J., y Briffa K.R. (2001). "The evolution of climate over the last millennium". *Science Magazine*. Vol. 292. P. 662-667.
- Juárez G. M del C., Rodríguez A. C., y Arvisu F. E. (1997). "La desigualdad de la población en las zonas áridas de México". *Revista Geografía y Desarrollo* No. 15, p 81-96.
- Kasas, M. (1995): "A review of desertification". *Journal of Arid Environments* 30, 115-28.
- Kelly, J. (1998). "Vuelve la Niña y sus secuelas climáticas. Servicio Meteorológico Nacional. Cable News Network Inc. The Associated Press, Washington. U.S.A.
- Kirshk M.A. (1993) "Combating desertification, is it always possible? The case of small egyptian farmers. *GeoJournal* 31.1. Págs. 77-84.
- Kirschbaum, U.F.M (1995). Part 1. "Ecological and soil processes in terrestrial ecosystems: A primer on general concepts and relationships. Pág. 58-74. In *Climate Change 1995. Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group II. 2nd. Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Le Houérou, H.N (1994). "Report on Climatic change, drought and desertification". Working Group II on impacts, adaptation and mitigation. P.1-21
- Le Houérou, H.N 1996: "Climatic change, drought and desertification". *Journal of Arid Environments* 34, 133-85.
- Liverman, D. (1992) "The regional impact of global warming in México: uncertainty, vulnerability and response". In Schmandt, J and Clarkson, J. (eds). *The regions and global warming: impacts and response strategies*, Oxford University Press.
- Loeza R. G. (1998). "Cultivos de cobertera y su importancia en el manejo integral de microcuencas". V Memoria de la Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de lluvia. IICA 26-28 de octubre de 1998. Oaxaca, Oax. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencias de Suelo. Págs. 123-128.
- Lockwood J.G. (2001). "Abrupt and sudden climatic transitions and fluctuations: a review". *International Journal of Climatology* No. 21. P. 1153-1179. Royal Meteorological Society.
- López E., Mendoza M. y Bocco G. (2001) Land cover and land use change in Cuitzeo's Lake watershed, Michoacán, México. Understanding degradation patterns and environmental and socioeconomic relationships. *Proceedings of the International Symposium on Land Degradation and Desertification*. Pág. 38. May 7-14, 2001. México City, Pátzcuaro, Michoacán, México.

- Lorenzo, J.L. (1964). "Los glaciares de México" 2ª ed. Monografías del Instituto de Geofísica, 1. UNAM. 124 p.
- Lozano G.J.(1998) "Generación de emisiones de CO₂ por procesos productivos, transformación, manufactura, servicios y transporte". Centro INNOVA para el Desarrollo Sostenible.
- Maderey R. L. E. y Jiménez R.A. (2001). Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 45, 2001, pp 24-38.
- Magaña V. (1994). "El pronóstico del tiempo para los próximos días, meses, años". Revista Ciencias de la Facultad de Ciencias de la UNAM. No. 35 Julio-Septiembre de 1994, pág.15-22.
- Magaña y Conde, 2000 citado en IPCC. (2001). *Climate Change: Impacts, Adaptations, and mitigation of climate change*. A Report of Working Group II. Technical Summary Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Magaña y Morales, (1999). "El clima y la sociedad" Introducción. En "*Los Impactos de El Niño en México*". Editor: Víctor O. Magaña R. Pág. 1-21.
- Magaña R.V.O, Sec. Gobernación, UNAM editores. (1999). "*Los impactos de El Niño en México*". Editor: Víctor O. Magaña R.
- Magaña V., Pérez J.L., Vázquez J.L., Carrisoza E y Pérez J. (1999). "El Niño y el Clima" *Capítulo 2. En Los Impactos de El Niño en México*". Págs. 23-68.
- Mann E. Michael (2001). Lessons for a New Millennium. 4 pp. www.sciencemag.org/cgi/content/full/289/5477/25
- Manso R.J., Alvarez C.A. y Rodríguez O.C.M. (2001). "El cambio de uso de la tierra y su interacción en los cambios globales", *capítulo 2, en El nivel de absorción del carbono y el uso de la tierra 1989-1997*.
- Medellin-Leal Fernando editor. (1978). "*La desertificación en México*". (capítulos I, II, y III). Ediciones del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Metcalfe S. E, Street-Perrott F.A., O'Hara S.L., Hales P.E., y Perrot R. A. (1994). "The Palaeolimnological record of environmental change: examples from the arid frontier of Mesoamérica". En Environmental Change in Drylands (Biogeographical and Geomorphological Perspectives. Wiley Publishers. Millington C. A. Y Pye K. Editors. Págs 131-145.
- Michaels, P.J. y Balling R.C. Jr. (2000). "The Earth's climate". Cap. 3, págs. 23-55 en *The satanic gases*. Publicado por CATO Institute, Washington D.C 20001.

- Moreno A. R. (2002). Mesa Redonda "Adaptación 1" Área Seguridad alimentaria y salud, en el Taller: Adaptación y Mitigación del Cambio Climático. Torre de Ingeniería, U.N.A.M. 27-28 junio, 2002.
- Mortimore M. (1993). "Population Growth and Land Degradation". *GeoJournal* 31.1. Kluwer Academic Publishers. P- 15-21.
- Mouat A. D. Y Hutchinson F. C. Editors. (1995). "Desertification in Developed Countries". *Kluwer Academic Publishers*.
- Muñoz O. A., Jaramillo V. J.L, Barraza M. R (1998). "Evaluación de los efectos de la sequía que se presentó en México en 1998. 1er. Análisis." *Memoria de la V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. IICA del 26 al 28 de octubre de 1998. Oaxaca, Oax. México*. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Págs. 20-23.
- Murck W. B., Skinner J. B., y Porter C. S.(1997) "Dangerous Earth". *An Introduction to Geologic Hazards*. John Wiley and Sons.
- Nieto S. P., Bravo S. J.R. y Saucedo H. F.R. (1998) "Estudios, proyecto y construcción de pequeños bordos de almacenamiento de aguas para uso agrícola y abrevadero". Memoria de la V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia. IICA del 26 al 28 de octubre de 1998. Oaxaca, Oax. México. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Págs. 208-214.
- Nieves J.L, García J. y Cardoza R. (2001a). La degradación de los suelos en México. Abstract. *Proceedings of The International Symposium on Land Degradation and Desertification*. May-7-14, 2001. Cd. De México, Pátzcuaro, Michoacán. Página.11.
- Nieves J.L, García J. y Cardoza R. (2001b). "Los procesos de degradación de los suelos y su contribución a la desertificación y aridificación en México". Abstract. *Proceedings of The International Symposium on Land Degradation and Desertification*. May-7-14, 2001. Cd. De México, Pátzcuaro, Michoacán. Página. 41.
- O'Hara L. Sarah, Metcalfe E. Sarah y Street-Perrot Alayne. (1994). "On the arid margin: The relationship between climate, humans and the environment. A review of evidence from the highlands on Central México". *Chemosphere*, Vol. 29, No. 5, pp.965-981. Elsevier Science Ltd.
- Ojeda O. (2002) "Mesa Redonda Coordinación Sectorial y Desarrollo Institucional y Humano". En el Taller: Adaptación y Mitigación del Cambio Climático. Comunicación oral. Torre de Ingeniería. U.N.A.M. 27-28-junio-2002.
- Ordoñez B.J.A. (1999). "Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán". *Instituto Nacional de Ecología. Semarnap*, México. 1ª edición. 72 p.
- Oropeza, O.O. (1992)."Transformación del paisaje natural de México por influencia de las actividades humanas: Enfoque Cartográfico". *Estudios Geográficos. C.S.I.C. Centro de Investigaciones sobre Economía, la Sociedad y el Medio (CIESM)*. Madrid. LIII, 206. Publicación cuatrimestral. Enero-Abril 1992. Págs.115-134.

- Oropeza O.O. y Alfaro S. G. (1994). "Marco teórico-metodológico de la vulnerabilidad a la desertificación". *Primer Taller de Estudio de País: México ante el cambio climático. Memorias*. Cuemavaca, Morelos, pág.121-130.
- Oropeza O. O. y Alfaro S. G. (1997). "Vulnerabilidad Global de las zonas áridas a la desertificación". *Geografía y Desarrollo*, Núm. 15, 1997. Págs. 27-35.
- Oropeza O.O. (2002). "Evaluación de la vulnerabilidad a la desertificación". *Sección III. Impactos, vulnerabilidad y adaptación. En el libro Cambio climático en México* (En prensa)
- Ortega-Ramírez J. (1994). "Cambio Global: La Paleoclimatología y los Modelos Climáticos". *Memorias del Primer Taller Nacional de Cambio Climático. Estudio de País*, Cuemavaca, México 18-22 de abril, pág. 1-7
- Ortiz M. L. S., y Estrada V. W. J.W. (1993). "*Evaluación y Cartografía de la Erosión eólica en la República Mexicana*". 1ª edición. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Edo. De México.
- Ortiz, S. M., Añaya G. M., y Estrada B. W J. (1994). "*Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra*" (CONAZA), 27 p.
- Ortiz A. M.I., y Cea H. M.E., (1997). "Zonas Aridas de México: distribución espacial de la población en 1990". *Revista Geografía y Desarrollo* No. 15, pág. 57-66.
- Ortiz M.A. y Méndez A.P. (2000). "Componentes naturales y de uso del suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa atlántica de México". *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 41, pp 46-61.
- Overpeck J., y Webb R. (2000). "Nonglacial rapid climate events: Past and Future". Vol. 97. No.4. P. 1335-1338
- Pagiola S. (1998). "The Global Environmental Benefits of Land Degradation Control on Agricultural Land". *Global Overlays Program Environment Department*, p 1-47.
- Palacio-Prieto J.L, Bocco G., Velázquez A., Mas J.F., Takaki F., Victoria A., Luna G. L., Gómez R. G., López G. J., Palma M. M., Trejo V. I., Peralta H. A. Prado M. J., Rodríguez A. A., Mayorga S. R., y González M. F. (2000). "La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario Forestal Nacional 2000". *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 43, pp 183-203.
- Palacios D. y Vázquez-Selem L. (1996). Geomorphic effects of the retreat of Jamapa glacier, Pico de Orizaba Volcano (México). *Geografiska Annale*. 78 A., p 19-34.
- Pavlov A., Kasting J., Brown L., Rages K, Freedman R. (2000) "Greenhouse warming by CH₄ in the atmosphere of early Earth". *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, No. E5., pág. 11,981-11990. May 25, 2000.

- Pimentel B. L. (1998) "Antología de los sistemas de captación de lluvia con fines reforestivos" V *Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia*. Memoria IICA. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la sociedad Mexicana de ciencia del suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 177-185.
- "*Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México*" (PACD- MÉXICO, 1994). Comisión Nacional de las Zonas Áridas. Secretaría de Desarrollo Social
- Ponce V. M., García C. R.O. y Ercan S. (2001). "Posible cambio climático debido a la explotación de agua subterránea en el Valle de Ojos Negros, Baja California". *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 44, pp 6-17.
- Prieto G. S. (1998). "La sequía: sus efectos, causas y posible solución". V *Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia*. Memoria IICA. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 269-276.
- "*Programa Nacional de Acción Climática*". Documento para Consulta Pública. 1999. Comité Intersecretarial para el Cambio Climático. México.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. Comisión de la URSS de los Asuntos de PUMA. (1987). "Colonización de las tierras áridas y lucha contra la desertificación: enfoque integral". Moscú.
- RIOD-MEX. Red Mexicana de esfuerzos contra la desertificación y la degradación de los recursos naturales A.C. Boletín Nuestras Tierras. Año 2. Núm 3
- RIOD-MEX. Red Mexicana de esfuerzos contra la desertificación y la degradación de los recursos naturales A.C. Boletín Nuestras Tierras. Año 2. Núm 4
- "*Riqueza Forestal. España e Iberoamérica*". (2002). International Thomson Learning Paraninfo Editores Spain.
- Roberts N. y Baker P. (1993). "Landscape stability and biogeomorphic response to past and future climatic shifts in intertropical Africa". Cap. 6 en *Landscape Sensitivity*. Edited by D.G.S Thomas y R.J. Allison. P. 65-82.
- Robino R. A. (1998). "Factores que inciden en la adopción de sistemas de captación de agua de lluvia". V *Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia*. Memoria IICA. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la sociedad Mexicana de ciencia del suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 259-263.
- Roldán P. y Trueba D. (1978). "Factores ecológicos y sociales de la desertificación". Cap. IV. En *La Desertificación En México*. Editado por Fernando Medellín-Leal. Pág. 55-80.
- Rosas I. (2002). Mesa Redonda "Adaptación 1". Área Seguridad alimentaria y salud, en el Taller: Adaptación y Mitigación del Cambio Climático. Torre de Ingeniería, U.N.A.M. 27-28 junio, 2002.

- Rosenfeld, H. A, Kaarsberg M.T.; Romm J. 2000. "Technologies to reduce carbon dioxide emissions in the next decade". Nov. 2000. P 29-34.
- Roucou, P., Aragao, J.O.R., Harzallah, A., Fontaine, B and Janicot, S. 1996: "Vertical motion changes related to north-east Brazil rainfall variability: A GCM simulation". *International Journal of Climatology* 16, 879-91.
- Rubio J.L. y Racatalá (1998) "Desertificación en Europa.". *V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia*. Memoria IICA. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la sociedad Mexicana de ciencia del suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 7-19.
- Ruiz V. J., Arce G. F., Martínez S. David (1998). "Clima, suelos y rendimientos de maíz de temporal en los valles centrales de Oaxaca". *V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia*. Memoria IICA. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la sociedad Mexicana de ciencia del suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs. 25-33.
- Ruiz H. J.A. (2000). Análisis espacio-temporal de la aridez meteorológica en el noroeste mexicano. *Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras*. U.N.A.M. México. En revisión.
- Sagan, (1996). *Un punto azul pálido*. Editorial Planeta. Barcelona, España.
- Sagan, (1998) *Miles de millones*. Ediciones B, S.A. Grupo Zeta. Barcelona España.
- Sagan C., Owen B. T., y Pollack b. J. (1983). Cambios antropogénicos del albedo y el clima de la Tierra. Págs. 6-12; en *Desierto y Ciencia* Centro de Investigación en química aplicada, CIQA. Saltillo, Coahuila, Febrero de 1983.
- Sayago J.M y Toledo M. (2000) "Rainfall increase, land use and morphodynamic change in northwestern Argentina as indicators of the effects of future climate changes. *Geomorphology, Human Activity and Global Environmental Change*. P. 185-195. Edited by Salymaker O. John Wiley and Sons LTD.
- Secretaría de Recursos Naturales, (1988). "*Lineamientos Generales para la evaluación global del estado del suelo causado por el hombre*". Editado por L.R. Oldeman.
- SEMARNAP/CECADESU 1997. "*Agricultura sostenible. Un Acercamiento a la permacultura*". Compiladores: Caballero C.A., y Montes R.J. 3ª. Edición.
- SEMARNAP, 1988. "*Lineamientos Generales para Evaluar el Estado de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre*". Editado por L.R. Oldeman. 30 p.
- SEMARNAP, 1999. "*Resultados de la Evaluación de la Degradación del Suelo en la República Mexicana*". SEMARNAP y Colegio de Postgraduados.
- SEMARNAT (2001) "*Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*". Escala 1:250, 000. Memoria Nacional.

- SEMARNAT (2002). "Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Mitigación de los Efectos de la Sequía" *Segundo Informe*.
- Stocker T.F. (1999). "Abrupt climate changes: from the past to the future-a review". *International Journal Earth Sciences* No. 88:365-374. Springer-Verlag.
- Stocking M. (2001). "Agrodiversity: a positive means of addressing land degradation and sustainable rural livelihoods" Cap. 1. P. 1-16 en *Land Degradation*, edited by Arthur J. Conacher, Kluwer Academic Publishers.
- Székely M. (2002). Mesa Redonda "Adaptación 2". Implicaciones socio-políticas, en el Taller: Adaptación y Mitigación del Cambio Climático. Torre de Ingeniería. U.N.A.M. 27-28 jun-2002,
- Suplee C. 1998 "Desmarañando la ciencia del clima". *National Geographic Magazine*. Mayo Págs. 44-68
- Tecnología Ambiental. (1998). Revista. Año 2. Época 1 Nov/Dic.
- Thomas S.G and Middleton N.J. 1994. "Causes of desertification" cap. 5. En *Desertification. Exploding the myth*. (Wiley, Publishers).
- Trasviña A., Luch C.D., Filonov A.E. y Gallegos A. (1999) Oceanografía y El Niño Cap. 3. En "*Los Impactos de El Niño en México*". P. 69-102
- Trejo M.J. (1998) "Potencial ecológico, forrajero y económico de la coquia en las zonas áridas y semiáridas de México". V *Reunión Nacional sobre sistemas de captación de lluvia*. Memoria ICCA. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs.163-176.
- Trueba J. (1987). "Retrospectiva de la problemática ambiental de México y su proyección al presente". En *Sistemas ambientales, planificación y desarrollo*. SIAP-PLASA. México D.F.
- Vázquez-Selem L. 1989."Geomorfología Glacial y Periglacial del Volcán Teyotl". *Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras*. UNAM.
- Vázquez-Selem L. 1997. "Late quaternary glaciations of Teyotl volcano, Central México". *Quaternary International*. Vol. 43/4, p. 67-73.
- Vera R. J. R. (1998). Las emisiones de gases de efecto invernadero, un peligro devastador para las naciones del mundo. En "*Cambio Climático*" *Presente crítico*, futuro incierto. Revista Tecnología Ambiental. Año 2. Epoca 1 Nov/Dic.
- Veyret-Mekdjian Yvette, (2001). *Geographie des risques naturels, La Documentation Francaise*. Bimestrell N. 8023. Octubre 2001. Le Dossier. Paris France. P. 36-37
- Vialard J. y Queno B. "El Niño, la corriente loca que altera el clima". *Ciencia y Vida* No. 3. Mayo 1998. P. 61-68.

- Villers, R. L., y Trejo V. I. (2000). "El cambio climático y la vegetación en México" Capítulo IV Ecosistemas Forestales. En *México: una visión hacia el Siglo XXI. El Cambio Climático en México*. Págs. 63-81.
- Watson R., Dixon J., Hamburg S., Janetos A., Moss R. (1998). "Protecting our planet. Securing our future. Linkages among global environmental issues and human needs". *United Nations Environment Programme U.S. NASA*. Págs. 1-30.
- Warren A. 1993. "Desertification a global environmental issue". *GeoJournal* 31.1 Págs. 11-14.
- Warren, A., Sud, Y.C. and Rozanov, B. (1996): "The future of deserts". *Journal of Arid Environments* 32, 75-89.
- White S. (1981). Neoglacial to recent glacier fluctuations on the volcano Popocatepetl, México. *Journal of Glaciology*. Vol. 27, no.96, p 359-363.
- Williams, M.A.J. and Balling, R.C. (1996). "Interactions between desertification and climate". London: Eduard Arnold.
- Winckler, G. (1993) "Desertification Control and Natural Resource Management in the Aridity Zones of the Third World- a Development Policy Assesment". *Geojournal* 31.1 P. 101-103. Kluwer Academi Publishers.
- World Atlas of Desertification*. 2nd. Edition. 1997, Co-ordinating Editors, Middleton N. and Thomas David. Arnold, London
- WMO (World Meteorological Organization). (1997). "Climate, Drought and Desertification" ejemplar No. 869.
- Zárate N. B., Martínez G. G. A., Domínguez H. M.L., y Manuel R.E. (1998). Captación de agua de lluvia y reforestación de suelos calcáreos erosionados del distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca. *V Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Lluvia*. Memoria ICCA. 26-28 de octubre de 1998. Publicado por la Sociedad Mexicana de Ciencia del suelo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Págs.1-12
- Zárate Z. R. (1994). "Evaluación de la desertificación por erosión hídrica aplicando el procedimiento SOTER". Colegio de Potsgraduados en Ciencias Agrícolas. Instituto de Recursos Naturales. *Memorias del Primer Taller Nacional de Cambio Climático. Estudio de País*, Cuemavaca, México 18-22 de abril. Pág. 149-162.
- Zonn. I. S. (1987) "Explotación de la tierra y recursos de agua de los territorios áridos", capítulo 3 en Colonización de las tierras áridas y lucha contra la desertificación: enfoque integral", capítulo 2, en *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. Comisión de la URSS de los asuntos de PNUMA. (Moscú, 1987). Págs. 24-35.
- Zonn I.S y Orlovski N.S. (1987). "Factores antropogénicos de la desertificación. Colonización de las tierras Áridas y lucha contra la desertificación: enfoque integral", capítulo 2, en *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. Comisión de la URSS de los asuntos de PNUMA. (Moscú, 1987). Pág. 17-24.

Zúñiga R. W. 1998. *"La Convención sobre Desertificación y su relación con las Convenciones de Cambio Climático y Biodiversidad. RIOD-Mex. Encuentro: Generación de alternativas contra la desertificación: retos actuales y futuros"*. México, D.F 19-20 de octubre, p 13-12.

Direcciones de Internet:

<http://fao.com>

www.ipcc.ch/pub/un/syrspanish/spm.pdf