



Serie Reportes de Investigación, Enero del 2002

**EL NOPAL
Y LA LUCHA CONTRA
LA DESERTIFICACIÓN**

Claudio A. Flores Valdéz

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas
de la Agroindustria y la Agricultura Mundial**

El CIESTAAM es un Centro de Investigación y de Posgrado con sede en la Universidad Autónoma Chapingo, que desde 1990 estudia los problemas económicos, sociales y tecnológicos de la agroindustria y la agricultura mundial, generando y difundiendo conocimientos a través del trabajo interdisciplinario, con una visión integral, crítica y propositiva, priorizando las necesidades de la sociedad rural y los intereses de los grupos mayoritarios.

Fundadores:

Manuel Ángel Gómez Cruz y Rita Schwentesius Rindermann

El nopal y la lucha contra la desertificación

Claudio A. Flores Valdez¹

Comité Editorial

Rita Schwentesius Rindermann

Manuel Ángel Gómez Cruz

Elba Pérez Villalba

Jorge G. Ocampo Ledesma

Clemente Gallegos Vázquez

Primera edición en español, año 2002

ISBN: 968-884-766-6

© Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas
de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (Programa Nopal/CIESTAAM),
Universidad Autónoma Chapingo
km. 38.5 Carretera México-Texcoco
C.P. 56230, Chapingo, Edo. de México.
Tel./Fax (01-595)502-79, (01-595)216-13
E-mail: ciestaam@taurus1.chapingo.mx
<http://www.chapingo.mx/ciestaam>

Derechos reservados conforme a la ley
Impreso y hecho en México.

¹ Profesor Investigador del Departamento de Economía Agrícola y Coordinador del Programa Nopal del CIESTAAM-UACH. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo. México. C.P. 56230. Tel.(5)955-1687. Fax. 01(595)955-0279. E-mail: nopal99@prodigy.net.mx

El nopal y la lucha contra la desertificación

Claudio A. Flores Valdez

El nopal y la lucha contra la desertificación



Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y
Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura
Mundial (CIESTAAM)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



Enero 2002

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
1. Presentación	9
2. Introducción	9
2.1. Historia del uso del nopal en el mundo.....	9
3. Las zonas áridas y semiáridas en el mundo	11
3.1. Tipos de desierto	11
3.2. Los desiertos de México	13
3.2.1. <i>Desierto chihuahuense</i>	13
3.2.2. <i>Desierto sonorense</i>	14
3.3. Caracterización de las zonas áridas y semiáridas.....	14
4. La vegetación y las especies forrajeras utilizadas en zonas áridas y semiáridas	16
4.1. Caracterización de la vegetación en zonas áridas y semiáridas	16
4.2. Adaptaciones de las plantas para soportar el medio árido	18
5. Degradación de la tierra y desertificación	19
5.1. Desertificación	20
5.2. Causas de la desertificación.....	21
5.3. Impacto de la desertificación.....	22
6. Conservación de suelos	25
6.1. Dificultades para la conservación de suelos	25
6.2. Estrategias y técnicas para conservación de suelos.....	26
6.2.1. <i>Estrategias biológicas</i>	26
6.2.2. <i>Estrategias mecánicas</i>	26
6.2.3. <i>La importancia de considerar el factor humano en la conservación de suelos</i>	26

7. Experiencias en la utilización del nopal para frenar la desertificación en México	27
7.1. Regiones	27
7.2. Áreas	28
7.3. Prácticas de conservación.....	28
7.4. Variedades de nopal	29
7.5. Densidades.....	29
7.6. Plantación	29
7.7. Fertilización y abonado.....	30
7.8. Aclareo.....	30
7.9. Combate de plagas y enfermedades	30
7.10. Cosecha	31
7.11. Costo-beneficio	31
7.12. Algunos resultados.....	31
7.12.1. <i>Mixteca poblana</i>	31
7.12.2. <i>Ojuelos, Jalisco</i>	33
8. Conclusiones	35
9. Bibliografía	37

1. Presentación

Este avance de investigación es un capítulo del libro “El nopal forrajero”, que publicará la FAO. En este trabajo se pretende dejar claro la gran superficie que cubren las zonas áridas y semiáridas, tanto en México, como a nivel mundial; el problema de la desertificación y el papel que puede jugar el nopal para frenar, y aún revertir este proceso.

2. Introducción

El grupo de plantas conocidas como nopal comprende diversas especies de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, ambos de la familia *Cactaceae*, la cual es originaria de América, en donde se encuentra distribuida desde Peace River, en el norte de Canadá, a 59° de latitud norte, hasta la Patagonia, en Argentina, a 52° de latitud sur, y desde el nivel del mar, en las dunas costeras, hasta los 5,100 m de altitud en el Perú (Bravo y Sheinvar, 1995).

La familia de las cactáceas integran alrededor de 130 géneros y cerca de 1,500 especies, siendo los géneros *Opuntia* y *Nopalea* los más importantes por su utilización. En América existen dos centros de diversificación de esta familia, uno en el norte del continente y otro en el sur. cada uno con sus propios géneros, excepto el género *Opuntia*, cuyas especies se presentan en ambos centros, y así vemos que de sus 258 especies reconocidas, 100 se encuentran en México, mientras que del género *Nopalea*, en México se reportan sólo 10 especies (Bravo,1978).

2.1. Historia del uso del nopal en el mundo

Los primeros europeos que desembarcaron en el continente Americano comprendieron de inmediato la importancia de las opuntias en el complejo mundo cultural prehispánico. Cuando en 1519 Hernán Cortés llegó al altiplano mexicano, no pudo dejar de notar la presencia del *nopalli* (nombre náhuatl de la planta), ya que cuando entraron a Tlaxcala los indigenas les dieron la bienvenida con frutos del nopal (*nochtli*), que comieron. Oviedo y Valdés –primer autor en describir las tunas, usando la palabra caribeña *tun* (fruta o semilla)– escribió que sus amigos “conocieron y comieron la fruta del placer” en la isla Española (Haití) en 1515 (Barbera, 1995).

Cristóbal Colón, al regreso de su primer viaje de las Islas Occidentales, llevó consigo cactáceas a España y a Portugal; sin embargo, fue a raíz de la conquista de México que se tuvo acceso a una mayor variedad de especies y de variedades ya seleccionadas para producción de tuna y nopalito en huertos familiares (Flores y Aguirre, 1992).

Así pues, es a principios del siglo XVI cuando estas variedades fueron llevadas a España, para pasar posteriormente a Sicilia y luego al resto de Europa, por lo que se menciona que ya se encontraban ejemplares de esta familia en Italia (1560), Alemania y Holanda (1583), e Inglaterra (1596). Al parecer, en esta primera etapa el nopal sólo se sembraba en los jardines de las mansiones de los aristócratas y en los jardines botánicos (Donkin, 1977).

Los Moros, al ser expulsados de España por Felipe II, difundieron el nopal por toda el área del Mediterráneo (Le Huerou, 1972). De allí, muy probablemente, los ingleses lo introdujeron al sur del continente africano, Asia Menor, India y Australia, de manera que en el siglo XVIII, la presencia de nopal es reportada en África del Sur (1772), India (1780) e Indochina (1790) (Donkin, 1977).

Pimienta y Ramírez (1999) señalan que en los principales países del mundo donde el nopal ha sido introducido y cultivado (Argentina, Brasil, Chile, España, Israel, Italia, Jordania, Marruecos, Pakistán, Perú, Sudáfrica, Túnez y Turquía), la variación fenotípica es reducida, si se compara con la que existe en México, dado que la mayoría de las variedades pertenecen a la especie *Opuntia ficus-indica* (Pimienta y Muñoz, 1995). Incluso, pinturas europeas de nopal, elaboradas al final del siglo XVI, coinciden con la morfología típica de esta especie (Barbera *et al.*, 1992). Estas observaciones han permitido fundamentar la hipótesis de que parte importante de la diversidad actual de especies mexicanas de nopal es relativamente reciente, originada en los solares de las poblaciones rurales, por lo que no estaba presente cuando los españoles llegaron a México. Es de suponer que el material vegetativo colectado en México e introducido en el resto del mundo durante los siglos XV y XVI, fueron fenotipos de *O. ficus-indica*, probablemente la especie más importante en las poblaciones naturales, o bien la que más llamó la atención de los conquistadores españoles.

Actualmente el nopal es utilizado en mayor o menor medida por los diferentes países que lo tienen como forraje, fruta, verdura, para producir grana de cochinilla, en cercos vivos, y para evitar la erosión y conservar suelos siendo el uso forrajero el más importante por superficie (Cuadro 1).

3. Las zonas áridas y semiáridas en el mundo

Para Cloudsley (1979), los grandes desiertos del mundo son en principio consecuencia de los sistemas de circulación global del viento o por lo menos de la circulación en el hemisferio correspondiente, aunque nacen de la circulación general de la atmósfera. Las regiones áridas se caracterizan por las precipitaciones escasas, que suelen ir asociadas con una insolación considerable. Sin embargo, muy pocos desiertos, por no decir ninguno, carecen de lluvia por completo; la escasez de las precipitaciones, aun siendo un factor muy significativo, no necesariamente da lugar a condiciones desérticas.

Cuadro 1. Superficies de nopal por país y tipo de uso (ha.)

<i>País</i>	<i>Verdura (nopalito)</i>	<i>Fruta (tuna)</i>	<i>Colorante (cochinilla)</i>	<i>Forraje (pencas)</i>	<i>Nopaleras cultivadas</i>	<i>Nopaleras silvestres</i>
México	10,500	67,000	10	150,000	227,510	3'000,000
EE.UU.	200	250	---	10,000	10,450	500,000
Colombia	---	500	---	---	500	---
Brasil	---	---	---	500,000	500,000	---
Perú	---	---	70,000	---	70,000	---
Bolivia	---	---	1,000	---	1,000	---
Chile	---	1,000	500	2,000	3,500	---
Argentina	---	1,000	50	10,000	11,050	---
Italia	---	2,500	---	---	2,500	---
Israel	---	300	---	---	300	---
España (Islas Canarias)	---	---	300	---	300	---
Norte de África	---	20,000	---	250,000	270,000	---
Marruecos, Argelia, Libia, Túnez, Egipto	---	---	---	---	---	---
Sudáfrica	---	4,500	100	350,000	356,600	---
Otros Países: Namibia, Mo- zambique	---	---	---	100,000	100,000	---
SUMAS	10,700	97,050	71,960	1'372,000	1'551,710	3'500,000

Fuente: Elaboración propia con información directa.

3.1. Tipos de desierto

Según el mismo autor (Cloudsley, 1979), las regiones áridas pueden dividirse en cinco tipos, conforme con un criterio climático: Desiertos subtropicales, desiertos costeros fríos, desiertos creados por barreras naturales, desiertos continentales interiores y desiertos polares.

Los desiertos subtropicales son en gran medida resultado de cinturones semipermanentes de alta presión en las regiones tropicales, dentro de los cuales el aire tiende a descender desde altitudes elevadas. Al hacerlo, se calienta por compresión, a razón de 10 °C por cada 1,000 metros, de modo que cuando llega al suelo es caliente, seco y completamente incapaz de producir precipitacio-

ocupan superficies de México y EE.UU. Las zonas diferenciadas son: la península de Baja California y la zona al sur del desierto chihuahuense, formada por el Valle de Mezquital, en Hidalgo, el Valle Tehuacán-Cuicuatlán, entre Puebla y Oaxaca, y las Mixtecas, con porciones de los estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero.

3.2. Los desiertos de México

Una descripción del origen y características de los desiertos sonoreense y chihuahuense se presenta a continuación (Velazco, 1991):

El desierto Sonoreense, que colinda con el desierto de Mojave en su parte noroeste, se origina fundamentalmente por la misma celda de alta presión del Pacífico norte y en menor grado por los vientos contralisios que descienden a una latitud norte de 30°. Sin embargo, la influencia de los contralisios incluye la superficie de la Tierra comprendida entre los 10° hacia el norte y 10° hacia el sur de la mencionada latitud. El desierto chihuahuense, en su área correspondiente a la República Mexicana, se debe básicamente a la sombra orográfica ocasionada por la Sierra Madre Oriental; dicho en otros términos, la presencia del desierto chihuahuense en el altiplano septentrional de México, tiene su origen en los vientos alisios que procedentes del Golfo de México, son orográficamente interrumpidos en su trayectoria por la Sierra Madre Oriental. La presencia del desierto chihuahuense en los estados de Texas y Nuevo México, se origina casi exclusivamente en la aridez ocasionada en la atmósfera de esta región por el descenso de los vientos contralisios.

3.2.1. Desierto chihuahuense

Se ubica en el altiplano septentrional mexicano, sobre alturas que oscilan entre los 1,000 y 2,200 msnm, incluyendo principalmente los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Chihuahua, Durango y Coahuila, así como algunas regiones de Nuevo León y Tamaulipas. La superficie de este desierto está surcada por numerosas cordilleras montañosas, cuyas cumbres y algunas vertientes no forman parte de la zona del clima desértico. Las enormes llanuras aluviales presentan suelos profundos, de tonos grisáceos, siendo el caliche un constituyente muy frecuente. Los fondos de las cuencas cerradas o endorreicas, están formados por suelos mal drenados, donde a menudo existen concentraciones salinas elevadas. El 70 u 80% de la precipitación pluvial ocurre de junio a septiembre – aunque este lapso puede adelantarse y principiar en mayo y en ocasiones en abril–, siendo los meses más secos los de primavera. Por lo que toca a la tem-

peratura, ésta es extremosa en el norte y el noreste, y menos pronunciada al sur, aun cuando las heladas ocurren en cualquier parte del desierto. La temperatura es la parte del clima que limita la efectividad de la precipitación pluvial, misma que coincide en tiempo con la mayor parte de la época más cálida del verano. La magnitud anual de las lluvias puede fluctuar entre 200 y 450 mm. Ocurren algunas precipitaciones ocasionales en el invierno. En general se presenta una variedad de formas biológicas dominadas por especies arbustivas que dan una fisonomía de matorrales. Entre las formas más características cabe destacar los pastizales amacollado, mediano abierto, arbusufrutescente y el halófito. Además, existen el matorral micrófilo inerme, el matorral micrófilo espinoso y el izotal.

3.2.2. *Desierto sonorense*

Este desierto cubre la mitad occidental del estado de Sonora y la mayor parte de la península de Baja California. Su altitud no sobrepasa los 600 msnm, donde dominan interminables llanuras con lomeríos. No son frecuentes las cuencas endorreicas grandes. La planicie costera sonorense es atravesada por numerosos ríos, que descienden desde la Sierra Madre Occidental. Desde el punto de vista geológico, predominan los depósitos aluviales recientes. En su porción boreal existen extensas áreas cubiertas por arena, que en los sitios más áridos adquieren forma de dunas. Abundan los suelos desérticos de color rojo y calichosos. El clima es cálido, siendo frío en el invierno. En este desierto existen los lugares más cálidos de México como las costas circundantes al Golfo de California, donde las temperaturas medias del mes de julio pasan de los 30°C siendo las máximas absolutas no inferiores a 45°C. Hacia la porción noreste de este desierto domina una distribución biestacional de las precipitaciones, en verano y en invierno. En cambio, en su porción central y sur la distribución es estival. La precipitación anual en algunas partes del desierto es inferior a los 100 mm, aunque puede llegar en el extremo superior a los 500 mm. Los principales tipos de vegetación corresponden a matorrales micrófilos, crasicalescentes y arbusufrutescentes; y arborescentes, sarcófilos y arbocrasicalescente.

3.3. Caracterización de las zonas áridas y semiáridas

Recientemente (Jaramillo, 1994) se han reportado las superficies áridas y semiáridas por estado: 55'775,088 ha de zonas áridas y 39'217,585 ha, de zonas semiáridas, dando un total de 94'992,673 ha, lo que representa el 28.35%, 19.94% y 48.29%, respectivamente, del territorio nacional (Cuadro 2).

El mismo autor define a las zonas áridas como aquellas con precipitación menor a los 350 mm al año, con una distribución muy irregular, temperatura media anual de 15 a 25°C, con siete o más meses secos, con una cubierta vegetal del 70% en la que dominan las especies xerófitas. En las zonas semiáridas la precipitación pluvial varía de 350 a 600 mm, con temperatura media anual de 18 a 25°C, presentan de 6 a 8 meses secos y una cubierta vegetal superior al 70%, principalmente de matorrales y pastizales.

Cuadro 2. Superficie de las zonas áridas y semiáridas en México

<i>Estado</i>	<i>Árida (ha.)</i>	<i>Semiárida (ha.)</i>	<i>Total (ha.)</i>
Aguascalientes	---	378,726	378,726
Baja California	5'583,813	---	5'583,813
Baja California Sur	7'181,643	---	7'181,643
Campeche	---	---	0
Coahuila	11'570,465	2'650,928	14'221,393
Colima	---	---	0
Chiapas	---	---	0
Chihuahua	14'214,381	1'448,303	15'662,684
Distrito Federal	---	---	0
Durango	2'246,964	3'731,121	5'978,085
Guanajuato	---	2'217,362	2'217,362
Guerrero	---	---	0
Hidalgo	---	904,520	904,520
Jalisco	---	1'594,250	1'594,250
México	---	520,000	520,000
Michoacán	---	191,488	191,488
Morelos	---	---	0
Nayarit	---	---	0
Nuevo León	1'544,000	4'095,325	5'639,325
Oaxaca	---	481,120	481,120
Puebla	---	701,365	701,365
Querétaro	---	648,150	648,150
Quintana Roo	---	---	0
San Luis Potosí	703,000	4'113,000	4'816,000
Sinaloa	1'190,024	14,486	1'204,510
Sonora	9'526,118	6'644,455	16'170,573
Tabasco	---	---	0
Tamaulipas	---	5'035,500	5'035,500
Tlaxcala	---	38,250	38,250
Veracruz	---	14,507	14,507
Yucatán	---	---	0
Zacatecas	2,014,680	3'794,729	5'809,409
<i>Total nacional</i>	<i>55'775,088</i>	<i>39'217,585</i>	<i>94,992,673</i>

Fuente: COTECOCA. SARH. Subsecretaría de Ganadería.

4. La vegetación y las especies forrajeras utilizadas en zonas áridas y semiáridas

4.1. Caracterización de la vegetación en zonas áridas y semiáridas

Rzedowski (1979) se refiere a las zonas áridas de México de la manera siguiente:

- a) Una característica notable de las regiones secas de México es su gran diversidad. Tal amplitud puede observarse en diferentes aspectos, tales como el geológico, geomorfológico, climático, edáfico, ecológico, de aprovechamiento, etc.
- b) Aunque las formas arbustivas son las que comúnmente prevalecen en la vegetación xerófila, en muchas ocasiones dominan árboles y en otras las plantas herbáceas, sobre todo gramíneas. Son marcados los contrastes entre las comunidades esencialmente siempre verdes en comparación con las caducifolias, al igual que entre las de estructura simple frente a otras multiestratificadas y de interrelaciones complejas. La abundancia local de algunas formas biológicas especializadas contribuye, asimismo, a efectos fisonómicos notables, a menudo espectaculares.
- c) La cantidad de asociaciones vegetales presentes en las zonas áridas es grande, hecho que en parte es función de la riqueza florística presente, que puede estimarse en unas 4,000 especies de plantas vasculares. La gran mayoría de estas especies tiene distribución restringida a sólo una fracción del área total afectada por el clima seco.
- d) El determinismo ecológico de la distribución geográfica de las especies y de las comunidades vegetales xerófilas se desconoce en la mayor parte de los casos. Es lógico pensar que, a semejanza de lo que sucede en otros ambientes, el papel del clima y de la competencia debe ser de gran peso. Aunque existen pruebas de que en efecto así sucede, las correlaciones a menudo son complicadas y difíciles de interpretar.
- e) Es muy frecuente observar, asimismo, que en las regiones áridas las características de la topografía, de la roca madre y sobre todo del suelo, opacan la influencia del clima. Así, puede notarse que, por lo general, las texturas arenosas son más favorables que las arcillosas; igualmente, suelos someros

y pedregosos de laderas de cerros sostienen por lo común mucho más biomasa y diversidad biótica que los suelos profundos y finos de los terrenos aluviales de las grandes llanuras.

- f) La diversidad de la flora en general y de la vegetación xerófila, en particular son en gran parte el resultado de su gran antigüedad y larga historia. Es evidente que a lo largo del tiempo geológico, la distribución, la configuración y la amplitud de las regiones áridas de México ha variado de manera notable, lo cual ha favorecido la evolución de formas nuevas. A grandes rasgos puede estimarse que la flora xerófila mexicana es de origen autóctono en su mayor parte, tiene muy poco en común con la flora de las zonas áridas de clima más fresco de los Estados Unidos de América, pero presenta importantes vínculos con la de algunas regiones secas de Sudamérica.
- g) La variedad de formas biológicas vegetales es un rasgo común a muchas regiones áridas del mundo y puede interpretarse como el resultado de un gran número de caminos diferentes que han seguido las plantas para adaptarse a la escasez o a la irregularidad de la provisión del agua. Este interesante fenómeno de divergencia evolutiva se sobrepone, sin embargo, al de la convergencia, que es aún más notable, pues a menudo vegetales de linajes muy apartados llegan a adquirir caracteres morfológicos vegetativos tan similares que es difícil saber de cuál de ellos se trata, en ausencia de los órganos de reproducción.
- h) En México existe una considerable riqueza de formas biológicas en las xerófitas, y sobre la base de ejemplos de succulencia, microfilia, afilia, reducción del tallo, formación de espinas, etc., pueden examinarse algunos de los rasgos y tendencias morfológicas más frecuentes para este grupo de plantas, sin dejar de insistir en la fundamental trascendencia de los procesos fisiológicos acompañantes.
- i) La cubierta vegetal de las diferentes zonas secas de México, dentro de su diversidad, presenta sin duda una serie de rasgos comunes. La vegetación de las regiones áridas de Chihuahua, del centro y sur de México ilustran tales características.

4.2. Adaptaciones de las plantas para soportar el medio árido

Bravo (1978) analizó las adaptaciones de las plantas al medio árido y expresó lo siguiente:

“Entre las características del clima determinantes de la mayor aridez y que influyen preponderantemente sobre las plantas y sus tipos de vegetación, se encuentran, no sólo el régimen de lluvias, que se presentan en la época más caliente del año, lo que ocasiona que el agua que cae se evapore rápidamente, sino también el carácter torrencial de las mismas, las cuales escurren sobre la superficie del suelo penetrando escasamente en él. Después de esta evaporación y escurrimientos rápidos, el agua que aprovechan las plantas es escasa; para sobrevivir tienen que absorberla de inmediato, almacenarla, e impedir su excesiva transpiración por medio de adaptaciones anatómicas y fisiológicas que adquirieron a través del tiempo”.

Las adaptaciones anatómicas y fisiológicas del nopal al medio árido (Nobel, 1998), se presentan a continuación para cada uno de sus órganos:

La *raíz* es el órgano por el cual las plantas absorben del suelo los nutrientes y el agua. Las raíces de los nopales se caracterizan por ser muy extendidas y someras (primeros 20 cm de profundidad del suelo). Al iniciarse las lluvias, el nopal desarrolla rápidamente raíces secundarias y pelos absorbentes que le permiten absorber el agua con rapidez, luego, al iniciarse el periodo de sequía, las raíces se enjutan (disminuyendo la pérdida de agua por éstas) y algunas se desprenden. En algunos casos las raíces también acumulan agua de manera importante, como en *Opuntia macrorhiza*.

El *tallo* en el género *Opuntia* toma dos formas básicas: aplanado y cilíndrico (como en las chollas y cardenches), en ambos casos es el órgano donde se realiza la fotosíntesis y donde se encuentra el tejido parenquimatoso que almacena el agua, por lo que se denominan plantas crasicaules o de tallo grueso. Además, los tallos de los nopales son excelentes para disminuir la pérdida de agua. Algunas de sus adaptaciones son las siguientes: presentan una cutícula gruesa, en ocasiones cubierta de cera o de pelos, como en *Opuntia tomentosa*, presentan un número menor de estomas (órganos por donde absorben bióxido de carbono, expulsan oxígeno y se pierde la humedad), que otras especies, además de que se encuentran hundidos, lo que disminuye la pérdida de humedad, y lo más importante, a diferencia de la mayoría de las plantas, presentan

metabolismo ácido-crasulaceo (CAM), que se caracteriza porque los estomas abren sólo por la noche (para hacer el intercambio gaseoso que se requiere en la fotosíntesis), lo que baja de manera importante la pérdida de humedad.

Las *hojas* en los nopales se caracterizan por ser sumamente reducidas y caducas (se desprenden de los nopalitos en poco tiempo, de tres a cinco semanas). En muchas especies, las hojas se han transformado en espinas, con lo que la planta pierde menos humedad.

Las *espinas* protegen al nopal del consumo por animales, los cuales al comerlo le producen cortes y heridas que provocan la pérdida de agua, además, sombrean la penca y atenúan el efecto secante del viento, con lo que disminuye la pérdida de humedad. Esto es especialmente importante en especies con muchas espinas, como en *Opuntia microdasys* (nopal cegador).

La *flor* es un órgano por el que las plantas pueden perder agua de manera importante. En los nopales, éstas abren sólo un día y en seguida los pétalos se deshidratan y caen. Debido a esto, los nopales no requieren de la participación de insectos o pájaros para fecundarse, en la mayoría de los casos, cuando abre la flor, la tuna ya está fecundada por autofecundación.

El *fruto* (la tuna) se comporta como una prolongación del tallo, realiza fotosíntesis, tiene pocos estomas, que abren por la noche, presenta aguates (espinas pequeñas) y conserva humedad. Es un fruto suculento.

5. Degradación de la tierra y desertificación

Como primer paso se hace referencia a lo expresado por algunos autores sobre los conceptos tierra y suelo. Para Vink (1983), el concepto tierra se define, geográficamente, como una área específica de la superficie terrestre, cuyas características se refieren a todos los atributos razonablemente estables o cíclicamente predecibles de la biósfera, verticalmente arriba y abajo de esa área, incluyendo los de la atmósfera, el suelo, la geología, la hidrología, la vegetación, la fauna y la actividad humana, pasada y presente, en la medida en que esos atributos ejerzan una influencia significativa en el uso (de la tierra) por el hombre.

Fhoth (1987) señala que el suelo es la materia mineral no consolidada, producto de la superficie terrestre que ha estado expuesta y ha sido afectada por factores ambientales y genéticos del material madre, clima, macro y microorga-

nismos y topografía, actuando todos ellos en un determinado tiempo. Este producto (el suelo) difiere del material del que se derivó en muchas propiedades y características físicas, químicas y biológicas.

5.1. Desertificación

La degradación de la tierra o desertificación es un fenómeno que ha ocurrido en la Tierra desde tiempos inmemoriales, por ejemplo, se pueden mencionar las condiciones pasadas y actuales de El Sahara en África y de Babilonia en el cercano oriente.

Para Dregne (1976) la desertificación es un proceso de empobrecimiento de los ecosistemas áridos, semiáridos y subhúmedos, por el impacto combinado del hombre y la sequía. Este proceso puede ser cuantificado por una reducción de la productividad de diversas plantas, alteraciones negativas de la biomasa y cambios de la microflora y fauna, acelerada degradación del suelo y crecientes dificultades para la ocupación humana. Este mismo autor recalca que desertificación es un proceso de empobrecimiento de los ecosistemas terrestres bajo el impacto humano.

Para CONAZA (1994), la cuestión de la degradación de los recursos naturales es actualmente un tema de creciente preocupación mundial. Globalmente, a este proceso se le llama desertificación, y constituye un proceso generalizado de deterioro de la tierra, afectando la regulación del ciclo hidrológico, el amortiguamiento de los cambios climáticos severos, la permanencia de la biodiversidad y la fijación de energía entre otros. En suma, afecta la capacidad biológica del ecosistema, lo que a su vez provoca también el deterioro económico y social de la población asentada en las áreas afectadas (Ortiz, Anaya y Estrada, 1994).

Ortiz *et al.* (1994) señalan que la desertificación o degradación de la tierra, inducida por el hombre, ha sido definida como “la disminución o destrucción del potencial biológico de los recursos naturales, ocasionado por el mal uso y/o manejo de los mismos, lo que trae como consecuencia la generación de procesos degenerativos del medio físico, económico y social de las poblaciones involucradas y su entorno. Los procesos de desertificación se pueden agrupar en: a) degradación de la cobertura vegetal, b) erosión hídrica, c) erosión eólica, d) acumulación de sales, e) degradación química, f) degradación física y, g) degradación biológica”. Consideramos en este trabajo como sinónimos los térmi-

nos degradación de la tierra y desertificación, ya que en zonas áridas y semiáridas la degradación de la tierra lleva a la formación de zonas desérticas.

5.2. Causas de la desertificación

Para Ortiz *et al.* (1994), las causas de la desertificación pueden ser naturales o inducidas por el hombre; el grado de importancia de estas últimas es tal que actualmente se considera que son responsables del proceso en una proporción del 87%, mientras que las naturales lo son del 13%. Algunos de los factores antropológicos que favorecen la desertificación son: la explosión demográfica, la sobreexplotación de los recursos naturales, los cambios inadecuados del uso de la tierra, presiones socioeconómicas y/o políticas, entre otros.

Las causas por las que el hombre provoca la desertificación pueden ser de diversa índole, pero la mayoría de las veces es por: a) desconocimiento o falta de educación; b) necesidad en los estratos sociales marginados y, c) afán de lucro de muchas personas, en las que el valor económico predomina sobre otros valores, como serían los de tipo ético o ecológico.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la desertificación (ONU, 1978) se estableció también que las causas de la degradación de la tierra pueden ser naturales o inducidas por el hombre. Las causas antropológicas constituyen alrededor del 80 por ciento. Los factores de este tipo que favorecen la degradación de la tierra son: el sobrepastoreo, la deforestación, el mal manejo de agua de riego, la sobreutilización de fertilizantes y pesticidas, las aguas residuales de las industrias, la sobrepoblación, las tradiciones culturales, en general, el mal uso del suelo y el agua.

Becerra (1997b) describe la erosión y sus agentes. La erosión del suelo ha sido definida como “el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo causados principalmente por el agua y el viento”. Los principales agentes que intervienen en este proceso se pueden clasificar en: activos, predisponentes, pasivo y amortiguadores: a) son agentes activos los que directamente realizan ambas fases del proceso de la erosión, esto es, el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo: agua=hídrica, viento=eólica; b) se denominan agentes predisponentes a todos aquellos fenómenos ambientales u organismos vivos que directa o indirectamente predisponen al suelo para ser erosionado, tal es el caso de oscilación térmica, la humedad relativa, la acción de algunos y diversos aspectos inherentes a la actividad del hombre; c) la vegetación es el agente amortiguador de la erosión, debido a

su efecto disipador de la energía cinética de la lluvia, de los escurrimientos superficiales y de la velocidad del viento; d) finalmente, el suelo es el agente pasivo, esto es, el que recibe la acción de la erosión y el cual, por su mayor o menor susceptibilidad a la misma, influye también en la magnitud del proceso.

La FAO (1980) divide los procesos de degradación en primarios y secundarios: los procesos primarios son aquellos que tienen un impacto fuerte en la producción y sus efectos son amplios; estos procesos son: degradación de la cubierta vegetal, la erosión hídrica, la erosión eólica y la salinidad. Los procesos secundarios son aquellos que se derivan o subordinan a los procesos primarios y son: degradación física (compactación del suelo, afloramiento de horizontes subsuperficiales), degradación biológica (disminución de la materia orgánica del suelo, pérdida de la materia orgánica por humificación) y degradación química (concentración de sustancias tóxicas, pérdida de nutrientes).

5.3. Impacto de la desertificación

Ortíz, Anaya y Estrada (1994) analizaron y resumieron la problemática de la degradación de la tierra de la siguiente manera:

1. El problema de degradación de la tierra (la desertificación) inducida por el hombre representa una seria amenaza para la propia humanidad, es así que se estima que cada año se pierden entre 50,000 y 70,000 km² de tierra productiva (ONU, 1978).
2. La desertificación afecta a más de 900 millones de habitantes del mundo, al 70% de las tierras secas (3,600 millones de hectáreas) y al 25% de la superficie de la Tierra (UNEP, 1993).
3. La solución del problema es urgente. Esto se debe a que la calidad del suelo se deteriora; el costo de la recuperación, moderada al principio, se eleva rápidamente hasta que se llega al límite en que es económicamente impracticable (Kamal, 1982).
4. En realidad se debe considerar al ser humano como el agente de degradación de la tierra (la desertificación). Son las acciones del hombre las que degradan la tierra, al utilizarla mal. Para extraer el alimento que requiere de los ecosistemas más frágiles en condiciones climáticas menos adecuadas, el hombre actúa así porque no dispone de mejores alternativas (Kamal, 1982).

5. Los procesos de degradación de la tierra hacen que se rompa el equilibrio de los ecosistemas. Por tal razón, es de vital importancia conocer los perjuicios que están ocasionando dichos procesos, para plantear medidas preventivas y/o correctivas, acordes al contexto físico, económico y social.
6. La degradación de la tierra comprende una serie de procesos que pueden reproducirse una vez comenzados (la degradación establece la continuidad de ella misma).
7. Es necesario considerar a la degradación de la tierra (desertificación) como un problema humano y no como un problema que concierne solamente al deterioro de los ecosistemas.
8. El hombre cuenta ahora con los conocimientos y medios técnicos adecuados para detener el proceso de degradación de la tierra y en muchos casos para invertirlos y devolver la capacidad productiva de los suelos deteriorados.

Dichas medidas correctivas y preventivas se agrupan dentro del manejo conservacionista activo, que se define como aquel manejo destinado a mantener a los recursos naturales e incrementar la productividad presente sin afectar la productividad futura.

Esa condición se cumple cuando el desequilibrio que se ocasiona al ecosistema es mínimo y variará de un lugar a otro, de acuerdo a la capacidad de uso del suelo de cada área particular, la que también estará influenciada por el contexto económico y social.

El aprovechamiento eficiente de la tierra y la introducción de tecnologías perfeccionadas exige un conocimiento definido de los recursos naturales y una evaluación de su capacidad productiva, a fin de poder formular recomendaciones viables. Por ello es necesario tener un conocimiento profundo de los recursos naturales e información con la que se planifique sistemáticamente el uso adecuado de ellos, en lo cual es de gran importancia el uso del suelo.

El INEGI (1994), en sus informes sobre el medio ambiente reporta la clasificación de áreas erosionadas, por regiones y entidades del país (Cuadro 3). Su reporte coincide con el de otras fuentes en que alrededor de un 80% del territorio nacional tiene erosión, además, se puede observar en el citado cuadro que este porcentaje (80%) se excede en 20 estados, en siete de los cuales el porcentaje de superficie afectada por erosión es superior al 90%, tales entidades son: Sonora, Nuevo León, Coahuila, Aguascalientes, Puebla, Tlaxcala, y Morelos.

**Cuadro 3. Estimación de áreas erosionadas en México,
por región (en miles de ha.)**

	<i>Regiones</i>	<i>Erosión inicial</i>	<i>Erosión moderada</i>	<i>Erosión acelerada</i>	<i>Totalmente erosionada</i>	<i>Erosión del estado</i>	<i>Total (%)</i>
I	Chihuahua	4,250	13,188	2,109	681	20,278	81.9
	Sonora	2,558	10,870	3,255	166	16,798	90.8
	Baja California	1,146	2,364	1,791	860	6,160	86.0
	Baja California Sur	1,015	2,174	2,029	1,159	6,377	88.0
	Total	8,918	28,595	9,183	2,866	49,564	86.0
II	Durango	4,079	5,512	863	298	10,752	89.9
	Zacatecas	2,057	367	3,085	1,469	6,978	95.0
	Sinaloa	1,170	1,111	1,228	1,170	4,679	80.0
	Total	7,305	6,990	5,176	2,937	22,409	89.1
III	San Luis Potosí	1,666	2,811	575	32	5,084	81.0
	Tamaulipas	796	2,388	1,353	1,194	5,731	72.0
	Nuevo León	1,693	1,497	2,734	326	6,250	96.0
	Coahuila	1,654	4,662	6,918	1,504	14,739	98.0
	Total	5,810	11,358	11,581	3,065	31,804	88.9
IV	Jalisco	81	1,459	4,134	567	6,241	77.0
	Nayarit	1,219	607	76	7	1,909	69.1
	Colima	20	88	224	62	396	76.0
	Aguascalientes	82	192	110	137	521	95.1
	Total	1,403	2,347	4,544	774	9,067	76.0
V	Michoacán	1,912	2,247	441	---	4,600	76.8
	Guerrero	1,978	2,500	560	---	5,038	79.0
	México	919	611	28	7	1,566	73.0
	Guanajuato	506	874	383	218	1,980	64.7
	Total	5,315	6,232	1,412	225	13,184	75.0
VI	Oaxaca	1,413	1,884	1,844	2,826	8,010	85.0
	Veracruz	3,462	96	2	1	3,561	49.0
	Puebla	1,922	851	357	131	3,616	96.2
	Tlaxcala	70	209	77	10	367	93.7
	Morelos	293	110	13	---	476	96.4
	Hidalgo	746	670	148	20	1,584	75.5
	Total	7,908	3,820	2,482	2,988	17,258	74.8
VII	Chiapas	2,124	447	64	---	2,636	35.7
	Campeche	2,038	917	306	204	3,465	68.0
	Quintana Roo	1,913	504	252	756	3,424	68.0
	Tabasco	887	380	127	350	1,764	70.0
	Yucatán	192	1,194	193	1,694	3,273	85.0
	Total	7,155	3,442	941	3,034	14,572	61.0
VIII	Distrito Federal	62	12	1	---	75	50.0
	Querétaro	333	313	288	16	949	81.0
	Total	395	325	289	16	1,024	77.0
	Suma total	44,209	63,109	35,608	15,90	148,881	

5

Fuente: INEGI, 1994.

6. Conservación de suelos

6.1. Dificultades para la conservación de suelos

Halsworth (1987), en relación a las causas por las que el hombre mismo se constituye en un obstáculo para la conservación del suelo, comenta que aún en el último cuarto del siglo XX se tienen varios obstáculos para hacer un efectivo control de la erosión; algunos de éstos son reales, pero otros son de tipo psicológico y se presentan en los diferentes tipos de personas que intervienen en el uso del recurso suelo, desde funcionarios, administradores e investigadores, hasta los usuarios directos de la tierra. Este tipo de obstáculos son denominados por el autor como “barreras mentales” de las cuales menciona las siguientes:

- a) La idea de que la erosión siempre ha existido en el pasado, y por lo tanto es natural que esté ocurriendo en el presente.
- b) La creencia de que la llamada erosión inducida es un fenómeno asociado enteramente a los tiempos modernos.
- c) La convicción de que todo lo necesario para el control de la erosión en los países en vías de desarrollo en el trópico y subtropico, puede ser aprendido por sus habitantes de los éxitos obtenidos en las tierras del Hemisferio Norte.
- d) La suposición de que los agricultores son ineficientes y despreocupados del daño que sus prácticas pueden estar causando a sus terrenos, y de que son perezosos para aprender la nueva tecnología
- e) La certidumbre que tienen algunos agricultores de que sus prácticas no dañan a la tierra y de que la erosión no es un problema serio para su parcela.

De acuerdo con el mismo autor, estas barreras tienen efectos perniciosos sobre los intentos que se realizan en diversas partes del mundo para combatir la erosión. Políticas inadecuadas, extrapolación de prácticas o técnicas a condiciones diferentes y por lo tanto sin el éxito esperado, y finalmente la no aceptación en muchos casos de las obras de conservación por parte de los usuarios, han sido algunos de los resultados de la persistencia de dichas barreras psicológicas.

6.2. Estrategias y técnicas para conservación de suelos

Becerra (1997a), respecto a las prácticas para el combate a la erosión señala: “El diseño de las estrategias para el control de la erosión tiene que basarse en estudios de la mecánica de desprendimiento y transporte de las partículas del suelo por dispersión pluvial, escorrentía y viento. Comúnmente, con estas estrategias se pretende alcanzar uno o varios de los objetivos siguientes:

- a) Protección contra el impacto de la lluvia
- b) Aumento de la capacidad de infiltración para reducir el volumen de escorrentía.
- c) Mejorar la estabilidad de los agregados, para aumentar su resistencia a la erosión.
- d) Aumentar la aspereza de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento superficial y/o del viento.

6.2.1. Estrategias biológicas

Las prácticas de control biológicas (vegetativas y agronómicas) utilizan el papel de la vegetación para minimizar la erosión. Incluyen el uso de coberteras, el aumento en la rugosidad superficial, el manejo de fertilizantes y de prácticas de labranza entre otras.

6.2.2. Estrategias mecánicas

Los métodos mecánicos se basan en la manipulación de la topografía superficial para disminuir el flujo erosivo del agua y el viento, como es el caso de las terrazas y las cortinas rompevientos. Con las prácticas mecánicas se busca controlar la energía disponible para erosión mediante el control de la fase de transporte.

6.2.3. La importancia de considerar el factor humano en la conservación de suelos

El primer objetivo de la conservación de suelos es mantener la productividad potencial de los mismos; pero para que haya éxito en este propósito también se debe incidir favorablemente en las condiciones socioeconómicas de los productores, de aquí surge un segundo objetivo: causar un mejoramiento en las condiciones de vida del productor. De tanta importancia es esto último que, según

técnicos del CIMMYT (1980), los agricultores no aceptarán recomendaciones que no sean adecuadas para sus circunstancias naturales o socioeconómicas.

Por lo anterior, es conveniente que se consideren adecuadamente los aspectos técnico, social y económico, para que se pueda alcanzar:

- a) eficiencia, esto es, que las prácticas recomendadas conlleven a la conservación del suelo,
- b) aceptación, esto es la integración de la tecnología en el sistema agrícola y su aceptación técnica, social y cultural, y
- c) favorable relación beneficio/costo. Hay que ser realista en cuanto a la relación entre los recursos necesarios para implementar la recomendación y precisar los beneficios a obtener.

Desde luego que esto último debe considerarse en su justa dimensión, pues los beneficios de la conservación de suelos no deben evaluarse exclusivamente desde el punto de vista económico, como la mayor ganancia en el menor tiempo posible; por el contrario, el beneficio principal puede ser más bien de tipo ecológico y/o social, o el uso sustentable de los recursos naturales en el mediano y largo plazo; en fin, tiene que ver con el mundo que heredarán las futuras generaciones.

7. Experiencias en la utilización del nopal para frenar la desertificación en México

El nopal en México se cultiva en plantaciones desde la década de los años 50 del pasado siglo, para producir fruta y verdura, sin embargo, no fue sino hasta mediados de la década de 1980 que se le plantó con la finalidad primordial de conservar suelo y, como objetivos secundarios, de obtener forraje, tuna o nopalito. En este capítulo se detallan algunas experiencias sobre esta temática.

7.1. Regiones

En México se ha plantado nopal para conservar suelos en diferentes condiciones (Cuadro 4).

Cuadro 4. Regiones y sus principales características donde se ha plantado nopal para conservar suelos

<i>Región</i>	<i>Clima</i>	<i>Precipitación (mm/año)</i>	<i>Temperatura media (°C)</i>	<i>Meses secos</i>	<i>Tipo de vegetación</i>
Árida	Bw	< 300	20-22	>7	Matorral
Semiárida	Bs	300 A 600	16-18	5-7	Pastizal
Trópico Seco	Aw	600 A 800	22-26	6-7	Selva Baja
Templado Seco	Cw	500-600	15-18	5-6	Pastizal

Fuente: Elaboración propia con información directa.

7.2. Áreas

En México, el nopal se ha plantado para conservar suelos en áreas agrícolas (se siembra el nopal en bordes en curvas de nivel cada 10-20 m, y las áreas entre bordos se siguen utilizando para cultivar maíz, sorgo, frijol o cebada), en áreas pecuarias (igualmente se siembra el nopal en bordos a nivel, distanciados según la pendiente, y realizando la exclusión mediante el cercado del área, para dejar que se recupere el pastizal o el matorral entre bordos) y en áreas forestales (en zonas de selva baja caducifolia en bordos a nivel, dejando recuperar la vegetación).

7.3. Prácticas de conservación

En un principio el nopal se plantaba en una cepa común, después se vio la ventaja de realizar conjuntamente las prácticas vegetativas (plantar nopal) y mecánica (de preparación del suelo), optando para esta última por las zanjas-bordo a nivel, que se pueden hacer en forma manual (pico y pala), con arado tirado por yunta o con tractor, formando el bordo junto a la zanja, en el lado de la pendiente. La distancia entre zanjas-bordo es variable, dependiendo de la pendiente, y los nopales se plantan en los bordos.

Otra práctica que se realiza son las contras cada 4 ó 5 metros, estas contras son bordos dentro de la zanja, perpendiculares a la zanja-bordo, para evitar que el agua se escurra toda hacia un extremo de la zanja-bordo, o lo que sería más peligroso que se acumulara y rompiera el bordo, con lo cual se romperían todos los bordos que estuvieran hacia abajo. Con estas contras se construye un tipo de tinajas ciegas.

El objetivo de las prácticas mecánicas es que el agua se acumule en la zanja y se infiltre y que el suelo erosionado se acumule en la zanja; el bordo refuerza la zanja y se estabiliza con el nopal, que además produce forraje.

7.4. Variedades de nopal

En los últimos trabajos se ha puesto énfasis en utilizar variedades sin espinas, porque se facilita su manejo y se evita el tener que chamuscar las pencas, ahorrándose el gas o el petróleo que se utiliza para ello. Las variedades utilizadas son: Milpa Alta, Atlixco, Copena F1, Copena V1 y Tlaconopal, utilizando como testigos variedades espinosas locales, como el tapón.

Dos son los problemas que se han tenido con las variedades sin espinas. Uno es el fuerte consumo que hace de éstas la fauna silvestre (liebres, conejos, ratas y ratones); este problema se ha mitigado en algunas zonas plantando después de establecida la época de lluvias, ya con el pasto brotado. El otro problema es que estas variedades no resisten las heladas fuertes del norte de México, con temperaturas bajo cero durante 2 ó 3 días seguidos, alcanzando en ciertos momentos -15°C , por lo que las plantas de estas variedades se mueren. Sin embargo, actualmente se tienen detectadas variedades sin espinas (aunque con muchos aguates) que soportan estas condiciones y se están reproduciendo.

7.5. Densidades

Las zanjas-bordo se hacen cada 10, 15 ó 20 m y las pencas se plantan en el bordo cada 1.0 ó 0.50 m, por lo que las densidades varían de 500 a 2,000 plantas por hectárea; el objetivo es que se forme un seto de nopal en el bordo que lo estabilice y a la vez disminuya la erosión: eólica e hídrica.

7.6. Plantación

Las pencas se cortan y se dejan orear de 10 a 15 días para que cicatrice el corte; en ocasiones se les sumerge parcialmente en agua con cal y sulfato de cobre. Para plantar se hace la cepa con azadón o pala a $2/3$ de la altura del bordo, se agrega un litro de abono bovino, ovino, caprino o de gallina, que se mezcla con el suelo, y se planta la raqueta de nopal, cubriéndola de un tercio a la mitad de ésta con la mezcla de suelo y abono. La mejor época de plantación es un mes antes del inicio del periodo de lluvias, excepto cuando en la zona escasee el alimento para la fauna silvestre, en cuyo caso se plantará después de iniciadas

las lluvias, por lo que es probable que el porcentaje de pudrición de pencas se incremente del 3 al 5 por ciento y por tanto será necesario replantar.

7.7. Fertilización y abonado

El nopal se puede plantar y sin abonarlo ni fertilizarlo, pero así su desarrollo será muy lento, por lo tanto, si se desea que el nopal desarrolle adecuadamente se deberá fertilizar y abonar. Para fertilizar se han estado usando, en partes iguales, sulfato de amonio y superfosfato de calcio simple, en las cantidades por planta que se señalan en el Cuadro 5. Para abonar se ha utilizado abono de bovino, ovino y caprino en las cantidades señaladas en el mismo cuadro; cuando se utilice abono de ave se debe considerar la mitad de la cantidad señalada en dicho cuadro.

Cuadro 5. Cantidades de fertilizante y abono por planta de nopal

<i>Año</i>	<i>Fertilizante (gr)</i>	<i>Abono (gr)</i>
1	30	700
2	70	1,000
3	100	2,000
4	200	
5	400	4,000
6	400	
7	400	4,000

Fuente: Elaboración propia con información directa.

7.8. Aclareo

Si la brotación es abundante, es conveniente quitar brotes y dejar sólo de dos a cuatro por penca madre, para que se desarrollen bien; se dejarán aquellos que estén sanos y que tengan buena posición para formar el seto.

7.9. Combate de plagas y enfermedades

En México, por ser centro de origen del nopal, se encuentra la mayor diversidad de plagas y enfermedades de estas plantas, por lo que periódicamente se deben revisar las plantaciones y, de requerirse, realizar aplicaciones de pesticidas con bomba de mochila manual. Sólo en una plantación, en la Mixteca de Puebla, se ha requerido hacer una aplicación parcial, para lo cual se utilizó malatión.

7.10. Cosecha

Para cosechar se utilizan dos métodos: el de pastoreo directo (por bovinos para carne, ovinos y caprinos) y el corte (utilizado casi siempre en la alimentación de bovinos lecheros estabulados). Con este segundo método el desperdicio es menor y la recuperación de la planta es más rápida. Es necesario dejar uno o dos pisos sobre la planta madre para facilitar la rebrotación.

7.11. Costo-beneficio

Es conveniente llevar un registro detallado de los costos, incluyendo insumos y materias primas, maquinaria y equipo, y la mano de obra utilizada para la realización de cada actividad, de manera que se puedan calcular los costos. También conviene registrar los ingresos obtenidos por producción de nopal, forraje o cultivos anuales, de manera que sea posible determinar la ganancia o pérdida tenida en cada ciclo.

7.12. Algunos resultados

En este apartado se presentan algunos de los resultados obtenidos recientemente en dos regiones de México: Mixteca poblana y Ojuelos, Jalisco.

7.12.1. Mixteca poblana

Durante el año de 1995 se estableció en el municipio de Acatlán de Osorio, en el estado de Puebla, a 280 km al sureste de la Ciudad de México, una exclusión y plantación de nopal y leguminosas forrajeras en 100 ha del ejido Las Nieves-Tecomate (Flores y López, 2000).

En esta región la temperatura promedio anual es de 24.1°C, sin presencia de heladas, y la precipitación media anual es de 639.7 mm, presentándose siete meses secos. Los suelos son leptosoles líticos ácidos (pH = 5.20), con muy poca materia orgánica (0.39%) y textura migajón arenoso. La vegetación original es de selva baja caducifolia, pero por sobrepastoreo presenta una vegetación sabanoide, con una cubierta de gramíneas (*Aristida*, *Rhynchelythrum* y *Bouteloua*) y arbustos aislados, de los géneros (*Acacia*, *Cassia* y *Bursera*) y cactáceas (*Stenocéurus*, *Escontria*, *Myrtillocactus* y *Opuntia*).

En las 100 ha se sembró el nopal en parcelas individuales de 2 hectáreas cada una, para 40 ejidatarios, a una distancia de 1 x 2 m, equivalente a 5,000 plantas por hectárea y se dejó el resto como área experimental.

En el área experimental se plantó nopal de la variedad Milpa Alta en 10 densidades diferentes, equivalentes desde 5,000 hasta 52,900 plantas por hectárea y se aplicaron ocho tratamientos de fertilización y abonado.

Las aplicaciones de fertilización y abonado se realizaron en 1995, 1997 y 1999 y consistieron en 30 gramos por planta de sulfato de amonio, equivalente a seis gramos de nitrógeno en cada aplicación. La aplicación de fósforo fue de 30 gramos por planta de superfosfato de calcio simple cada tercer año, equivalente a seis gramos de fósforo por planta por aplicación; el abono consistió en 300 gramos de estiércol caprino cada tercer año. Las densidades, tratamientos y rendimientos de nopal aparecen en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Rendimientos de nopal obtenidos en los tratamientos de fertilización y densidades al cuarto año (t/ha)

<i>Tratamiento</i>	<i>Plantas por Ha</i>	<i>Nitrógeno y abono</i>	<i>Nitrógeno, fósforo y abono</i>	<i>Nitrógeno</i>	<i>Nitrógeno y fósforo</i>	<i>Abono</i>	<i>Fósforo</i>	<i>Fósforo y abono</i>	<i>Testigo</i>
1	6,400	38.40	45.82	25.60	29.20	32.00	22.40	35.20	19.32
2	12,000	64.80	76.61	44.15	50.40	56.73	36.45	59.28	31.20
3	16,800	81.64	95.76	55.44	66.32	70.56	47.40	73.92	39.63
4	22,400	94.08	111.12	67.20	81.64	85.12	52.70	89.60	44.80
5	5,000	31.30	35.65	21.20	22.50	26.08	17.50	27.50	14.30
6	10,000	59.72	69.53	39.37	45.32	49.30	34.93	54.30	28.76
7	20,000	118.20	130.00	74.23	81.23	94.23	62.91	102.91	55.16
8	32,000	166.40	183.43	108.80	119.41	134.40	97.79	142.75	78.84
9	39,600	193.16	205.92	127.72	134.64	152.49	106.92	158.40	87.12
10	52,800	210.20	245.61	153.12	162.61	179.52	131.72	194.08	105.60

Fuente: Experimento ejido Las Nieves Tecamate, municipio de Acatlán de Osorio, Puebla.

Como se puede apreciar en el Cuadro 6, a mayor densidad mayor producción; en cuanto a fertilización, el tratamiento con rendimientos inferiores fue el testigo, hay poca respuesta al fósforo, mejor respuesta al nitrógeno y abonado, y el mejor tratamiento fue nitrógeno, fósforo y abono. Los rendimientos a los cuatro años se consideran bajos, resultado de la pobreza del suelo y el bajo nivel de fertilización aplicado, así como debido al bajo y errático temporal.

En el Cuadro 7 se presenta la cobertura y composición para tres líneas Canfield, dentro y fuera del área de exclusión.

Cuadro 7. Cobertura basal y composición observada en el área de estudio, cuatro años después de establecida la exclusión (%)

Componente	Área excluida		Sin exclusión
	Línea 1	Línea 2	Línea 3
Pastos			
Anuales	11.55	12.55	1.30
Perennes	10.85	11.00	9.90
Total	22.40	23.55	11.20
Hierbas y arbustos	0.50	0.55	1.05
Nopal	29.75	21.80	---
Total	52.65	45.90	12.25
Mantillo	31.65	44.65	0.65

Fuente: Experimento ejido Las Nieves Tecamate, municipio de Acatlán de Osorio, Puebla.

En el Cuadro 7, se denota que la vegetación ha tenido una excelente recuperación, debido principalmente a pastos anuales y perennes, mientras que en el área no excluida (línea 3) los pastos anuales estuvieron mucho menos representados y los perennes permanecieron de manera similar al área excluida, pero con menor vigor. Finalmente, la presencia de mantillo fue más alta en el área excluida, lo cual favorece la germinación y el desarrollo de nuevos individuos.

El nopal en áreas de pastoreo es una excelente alternativa para mejorar la capacidad de carga animal en terrenos deteriorados, se puede incrementar de 20 hectáreas por unidad animal a dos. Para que el nopal desarrolle adecuadamente se debe fertilizar y abonar. La exclusión por cuatro o cinco años, aún en terrenos muy deteriorados, permite la recuperación de la vegetación nativa.

7.12.2. Ojuelos, Jalisco

En 1998 se inició un experimento que incluyó una exclusión de 2 ha y siembra de nopal en el municipio de Ojuelos, Jalisco, ubicado a 550 km al noroeste de la Ciudad de México, en un área semiárida, con una precipitación promedio anual de 542 mm, aunque los últimos años ha sido menor, presenta una temperatura media anual de 16.6°C, con heladas de noviembre a marzo, la vegetación dominante es el pastizal de navajita (*Bouteloua* sp), con asociación de arbustos y hierbas.

La exclusión se localiza en el Rancho Las Papas, del Sr. Fernando Torres Romo. En el área excluida, cercada con malla borreguera para evitar el pastoreo de herbívoros domésticos (bovinos, ovinos, caprinos y equinos), se realizaron prácticas mecánicas y vegetativas de conservación del suelo y agua (López y Flores, 2000). Las prácticas mecánicas consistieron en la formación de zan-

jas-bordo en curvas a nivel cada 12 m de distancia, con contras (bordes perpendiculares en la zanja) cada 5 m. Las prácticas vegetativas consistieron en la plantación, en los surcos, de plantas de nopal espaciadas a 1 metro; las variedades utilizadas fueron Copena F1, Copena V1, Milpa Alta y Villanueva, todas sin espinas, y la Tapona, que es una variedad nativa con espinas. La plantación se realizó en junio de 1998 después de iniciadas las lluvias, para evitar que el nopal plantado fuera consumido por los herbívoros silvestres (conejos, liebres, ratas y ratones).

A dos años de establecido el experimento, con relación a la plantación de nopal se observa que de las cinco variedades probadas, Copena F1 mostró la mortalidad más alta (31%), pero al igual que Atlixco y Copena V1 mostró la capacidad más alta de brotes secundarios y terciarios. El nopal Tapón, que es nativo de la región, mostró el vigor y la supervivencia más alta, lo que se atribuye a que esta variedad presenta espinas, mientras que las otras cuatro son sin espinas y han sido más consumidas por roedores y lagomorfos.

Por otra parte, las zanjas-bordo en curvas a nivel han mostrado su efectividad para retener los escurrimientos superficiales, sin embargo, con la precipitación de los últimos tres años, la humedad se ha acumulado aguas arriba y debajo de las zanjas, habiendo mayor deficiencia de humedad en la parte central del área entre surco y surco. En estas áreas la recuperación de la vegetación ha sido más pobre, en comparación con la observada en las proximidades de los surcos, así como en el área excluida, sin obras de conservación de suelo.

En cuanto a la recuperación de la vegetación nativa en el área excluida, con respecto al área sin excluir, se presenta un resumen de la cobertura en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Evolución de la cobertura en los sitios de observación permanente (Líneas Canfield) dentro y fuera de la exclusión en el Rancho Las Papas

Año	Cobertura (%)							
	Área excluida				Área sin excluir			
	Total	Gramíneas	Hierbas	Mantillo	Total	Gramíneas	Hierbas	Mantillo
1998	30.29	20.24	10.05	0.42	14.30	13.60	0.70	---
1999	24.86	23.19	1.67	10.80	20.60	19.55	1.05	0.25
2000	21.98	17.47	4.51	18.95	17.85	17.70	0.15	2.80

Fuente: Experimento Rancho Las Papas, Ojuelos, Tabasco.

Como se puede observar en este cuadro, la cobertura es mayor en el área excluida que en el área sin excluir y ésta varía de acuerdo a la precipitación pluvial anual. Las gramíneas y las hierbas presentan mejor cobertura en el área excluida y su vigor es muy superior al de las gramíneas del área sin excluir, en que el fuerte pastoreo rasante de los ovinos las mantiene con una altura de 3 cm.

La acumulación de mantillo en el área excluida es otro cambio importante que puede facilitar mayor germinación de las semillas de gramíneas, mayor infiltración del agua y cambios favorables en el suelo.

Los resultados a la fecha permiten afirmar que la exclusión aunada a prácticas mecánicas y vegetativas, es una alternativa viable para mejorar las condiciones de la vegetación y la capacidad de carga de los agostaderos de pastizal abierto de las zonas semiáridas del norte de México.

8. Conclusiones

- ❖ Los desiertos en el mundo ocupan superficies importantes, pues alcanzan el 28% de los 195 millones de km² que tiene la superficie sólida del planeta, cubren superficies en 150 naciones y en ellos habita el 14% de la población mundial, 700 millones de seres humanos. En México, las zonas áridas y semiáridas cubren 94'992,673 ha, que representan el 48.29% del territorio nacional.
- ❖ La degradación de la tierra (desertificación) inducida por el hombre representa una seria amenaza para la humanidad, se estima que cada año se pierden entre 50,000 y 70,000 km² de tierra productiva. La desertificación afecta a más de 900 millones de habitantes del mundo, al 70% de las tierras secas (3,600 millones de ha) y al 25% de la superficie terrestre. En México, el 74.44% de la superficie presenta algún grado de erosión.
- ❖ Para conservar los suelos y evitar su degradación es conveniente realizar conjuntamente prácticas mecánicas y vegetativas. De las prácticas mecánicas las zanjas-bordo (con contras) en curvas a nivel son fáciles de construir y mantener, y resultan económicas. Las prácticas vegetativas basadas en nopal tienen éxito si se utilizan las variedades adecuadas, y se fertilizan y abonan de manera apropiada. La exclusión mediante cercado de las áreas en conservación, es una práctica muy conveniente para la recuperación de la vegetación.

- ❖ El uso de las variedades de nopal adecuadas a cada región para la conservación y recuperación de suelos ha sido exitoso, sin embargo, es conveniente asociar al nopal con otras plantas forrajeras, de preferencia leguminosas, como: mezquite (*Prosopis sp*), huizaches (*Acacia sp*), magueyes (*Agave sp*), guajillo (*Acacia berlandieri*), guaje (*Leucaena sp*), lengua de vaca (*Atriplex sp*), varaduz (*Eysenhardtia polystachya*), engordacabras (*Dalea bicolor*), etc. La siembra de estos árboles o arbustos conviene hacerla al segundo o tercer año de la siembra de nopal.
- ❖ Se considera que los países africanos y sudamericanos no cuentan con las variedades de nopal apropiadas para las condiciones desérticas, caracterizadas por una precipitación pluvial escasa y muy errática, y grandes variaciones en la temperatura diurna y anual, por lo que un programa de selección y prueba de materiales de nopal para ser utilizados en programas de conservación de suelos, recuperación de vegetación y producción de forraje en estos países debe ser prioritario.
- ❖ Se recomienda llevar el registro detallado de los costos y beneficios de las prácticas mecánicas y vegetativas necesarias, en el entendido de que difícilmente el pequeño productor podrá absorber todos los costos y que será necesaria la aportación de los gobiernos y/o organismos internacionales en los programas para frenar y aún revertir la desertificación, debiendo quedar claro de que entre más se tarde en actuar, el problema se agravará y los costos serán aún mayores y también que no es posible dejar que los suelos (el país) sigan siendo arrastrados a los cauces de los ríos, a las represas o al mar.

9. Literatura citada

- Barbera, G., F. Carimi and P. Inglese. 1992. Past and present role of the indian-fig prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller, *cactaceae*) in the agriculture of Sicily. *Econ. Botany*. 46:10-22 pp.
- Barbera, G. 1995. History, economic and agro-ecological importance. *In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. G. Barbera; P. Inglese, and E. Pimienta-Barrios (Ed.). FAO. Plant Production and Protection Paper. 132, 1-11 pp.
- Becerra, M. A. 1997a. Conservación de suelos. Folleto. Área de manejo y conservación de suelos y agua. Depto. de Suelos. UACH. Chapingo, México. 122 pp.
- Becerra, M. A. 1997b. Erosión de suelos. Folleto. Área de Recursos Naturales. Depto. Suelos. UACH. Chapingo, México, 114 pp.
- Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México. Tomo I. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 pp.
- Bravo H., H. y L. Sheinvar. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. CONACYT-Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 233 pp.
- CIMMYT. 1980. Planeación de tecnologías apropiadas para los agricultores. Conceptos y procedimientos. Programa de Economía. México, 71 pp.
- Cloudsley T., J. L. 1979. El hombre y la biología de zonas áridas. Ed. Blume, Ecología. Barcelona, España. 255 pp.
- CONAZA. 1994. Plan de Acción para combatir la desertificación en México. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Secretaría de Desarrollo Social. México, D.F.
- Donkin, R. A. 1977 (Spanish red). An ethnogeographical study of cochineal arid *Opuntia* cactus. *Transactions of the American Philosophical Society*. Vol. 67, part. 5.
- Dregne, H. E. 1976. Desertification: Symptom of a crisis. *In: Desertification Process, Problems, Perspectives*. The University of Arizona, Tucson, Arizona. pp 11-24.
- Dregne, H. E. 1987. Desertification, Resources and World Development. Ed. McLaren, D.J. EE.U.U., pp 697-710.

- FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO/PNUMA. 86 p.
- Fhoth, H. D. 1987. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial CECSA. México, D.F.
- Flores V., C. A. y Q. López T. 2000. Evaluación de plantas de nopal y recuperación de la vegetación nativa durante cuatro años de exclusión al pastoreo, en un área de la Mixteca poblana. *In: IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal*. Nefzaoui, A. Hammamet, Tunisia.
- Flores V., C. A. y R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje. CIESTAAM-UACH. Chapingo, México. 80 p. (2da reimpression).
- Halsworth, 1987. Anatomy, physiology and psychology of erosion.
- INEGI. 1994. Estadísticas del medio ambiente. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. México. p. 111.
- Jaramillo, V. V. 1994. Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas áridas y semiáridas de México. Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero. Subsecretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 48 pp.
- Kamal, T. 1982. Desarrollo sin destrucción de las percepciones ambientales. Editorial Serbal. Barcelona, España.
- Le Houerou, H. N. 1972. Le role des cactus *Opuntia* dans le developpement agricole des zones arides mediterraneenes. *In: Actas del II Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla*. Santiago de Chile. pp. 186-198.
- López T., Q. y C. A. Flores V. 2000. Recuperación de agostaderos mediante prácticas mecánicas y vegetativas en un área excluida al pastoreo en Ojuelos, Jalisco. *In: IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal*. Nefzaoui, A. Hammamet, Tunisia.
- Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Ed. Trillas. México, D.F. 211 pp.
- ONU. 1978. Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertificación, 1977. New York. 40 pp.
- Ortiz S. de la L., M. Anaya G. y J. W. Estrada B. W. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. CP, CONAZA, UACH, Chapingo, México. 161 pp.

- Pimienta B., E. y A. Muñoz U. 1995. Domestication of opuntias and cultivated varieties. *In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. Barbera, G., P. Inglese, and E. Pimienta B. (Eds.). FAO. Rome, Italy. pp 58-63.
- Pimienta B., E y B. C. Ramírez H. 1999. Contribuciones al conocimiento agronómico y biológico de los nopales tuneros (Ensayo). *Revista Agrociencia*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. Vol. 33, Núm. 3. pp. 323-331.
- Rdzedowski, J. 1979. La cubierta vegetal de las zonas áridas y su aprovechamiento. *In: Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México*. Molina G. J. (Ed.). Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. pp. 101-103.
- UNEP. 1993. General Assembly INCD. Document A/AC. 241/12. Second Session. Geneva, Switzerland. 86 pp.
- Velazco M. H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas. Sus características y manejo. ITESM, Noriega Ed. y Limusa. México, D.F. 725 pp.
- Vink A, P. A. 1983. *Landscape ecology and land use*. Ed. Davision. Singapore.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y
TECNOLÓGICAS DE LA AGROINDUSTRIA Y LA AGRICULTURA MUNDIAL
(CIESTAAM)

DIRECTORIO DE LA UACH

Dr. José Reyes Sánchez

Rector

Dr. Clemente Villanueva Verduzco

Director General Académico

Ing. Antonio Arroyo Guadarrama

Director de Administración

M.C. Elsa Cervera B.

Directora de Difusión Cultural

Ing. Raúl Reyes Bustos

Director de Patronato Universitario

Dr. Gustavo Almaguer Vargas

Director de Investigación

Dra. Rita Schwentesius Rindermann

Directora del CIESTAAM

El nopal y la lucha contra la desertificación

Edición del Área de Publicaciones del CIESTAAM

A cargo de Gloria Villa Hernández

Corrección de estilo: Salvador Bravo G. Formación: Ma. Lidia Ordaz G.

Se imprimieron 500 ejemplares, más sobrantes para reposición.

Se terminó de imprimir en el mes de enero de 2002.

Otras publicaciones del CIESTAAM

Libros

- Estrategias para el cambio en el campo mexicano.
- Nueva economía política de la globalización y bloques regionales.
- El mercado del trigo en México ante el TLCAN.
- El litchi – *La fruta más fina del mundo*. (2da. edición).
- Perspectivas y nuevas tendencias del desarrollo agroindustrial de México. *Memoria del Seminario*.
- Internacionalización de la horticultura.
- Desafíos de la agricultura orgánica. *Certificación y comercialización*. (2da. reimpresión).
- La destrucción de las Indias y sus recursos renovables.
- Los directores de la Escuela Nacional de Agricultura. *Semblanzas de su vida institucional*.
- TLCAN y agricultura – NAFTA and agriculture. Experiencia a cinco años. *Memoria del Seminario*.
- Ganar–Ganar en el medio rural. *El arte de la venta de servicios profesionales con valor agregado*.

Reportes de Investigación

- Producción, industrialización y comercialización de nopalitos. Reporte 58.
- La política macroeconómica de la globalización. Reporte 57.
- Asociación y codesarrollo como alternativas a la globalización –Lecciones y alternativas del Euromediterráneo– Reporte 56.
- La agroindustria azucarera de México: *Reformas estructurales y sus implicaciones para el mercado de los edulcorantes*. Reporte 55.
- Fisiología y tecnología postcosecha del fruto de tuna y del nopal verdura. Reporte 54.
- TLCAN y medio ambiente. *Algunas consideraciones para su análisis*. Reporte 53.
- Impacto del TLCAN en el sistema productivo porcino mexicano. Reporte 52.
- Competitividad de los principales productos agropecuarios mexicanos en el mercado estadounidense. Reporte 51.
- El Tratado de Libre Comercio de América del Norte y lácteos. Reporte 50.