

# LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN Y LAS REGIONES ÁRIDAS

## THE PROCESSES OF DESERTIFICATION AND ARID REGIONS

Diódoro Granados-Sánchez<sup>1</sup>; Miguel Á. Hernández-García<sup>1</sup>;  
Antonio Vázquez-Alarcón<sup>2</sup>; Pablo Ruíz-Puga<sup>3</sup>

<sup>1</sup>División de Ciencias Forestales, <sup>2</sup>Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo.  
km 38.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Correo-e: didorog@latinmail.com (Autor para correspondencia).

<sup>3</sup>Facultad de Estudios Superiores Iztacala-Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de los Barrios núm 1. Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México.

### RESUMEN

**E**n este trabajo se realizó una revisión de la desertificación, un proceso de degradación de la capacidad productiva de la tierra, en particular en las regiones áridas y semiáridas del mundo. Debido a que la desertificación aumenta progresivamente, se estudian las causas que originan y agudizan este fenómeno en todo el mundo. En general, las causas de la desertificación se derivan de la presión combinada de un clima adverso y fluctuante, y de la sobreexplotación de los recursos naturales. Se describen aspectos relacionados con la extensión y severidad de la desertificación mundial, así como las particularidades de la degradación de la tierra en México. Se plantean, además, las características de los procesos de desertificación. Se considera la intrincada red de relaciones existentes entre las condiciones ambientales, las actividades productivas y sus efectos sobre los recursos bióticos, edáficos e hidrológicos. Finalmente, se presenta una serie de propuestas relacionadas con la aplicación de medidas preventivas y correctivas que tienden a prevenir y detener la desertificación.

PALABRAS CLAVE: Clima, vegetación, suelo, erosión.

### ABSTRACT

**T**his paper presents a review of desertification, a process of degradation of the productive capacity of the land, particularly in arid and semiarid regions of the world. Because desertification increases gradually, the reasons why this worldwide phenomenon occurs and worsens were studied. In general, desertification results from the combined pressure of an adverse and fluctuating climate and overexploitation of natural resources. Aspects related to the extent and severity of desertification worldwide are explored, as well as the particularities of land degradation in Mexico. Moreover, the characteristics of desertification processes are outlined, taking into account the intricate network of relationships between environmental conditions and productive activities and their effects on biotic, edaphic and hydrological resources. Finally, a series of proposals relating to the application of preventative and corrective measures that tend to prevent and curb desertification are presented.

KEYWORDS: Climate, vegetation, soil, erosion.



Recibido: 17 de octubre de 2011  
Aceptado: 28 de noviembre de 2012  
doi: 10.5154/r.chscfa.2011.10.077  
<http://www.chapingo.mx/revistas>

## INTRODUCCIÓN

La desertificación se define como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que resulta de factores de origen climático y de actividades antropogénicas como la deforestación, el sobrepastoreo, la expansión de áreas agrícolas hacia áreas frágiles y la sobreexplotación de la vegetación para uso doméstico. La precipitación es escasa o poco uniforme en muchas regiones áridas del mundo; así, muchas áreas carecen de agua suficiente para permitir la vida, excepto en forma limitada. La sobrepoblación humana y de animales intensifica el agotamiento del agua subterránea. La desertificación, el proceso por el cual las tierras se hacen más secas, está aumentando en todo el mundo. Más de 6,100 millones de hectáreas son zonas áridas y semiáridas. El 40 % de la superficie del planeta son tierras secas, parte de las cuales se han convertido en desiertos. Se estima que 70 % de las tierras secas productivas están actualmente amenazadas por diversas formas de desertificación. Esto afecta directamente el bienestar y el futuro de una sexta parte de la población mundial. La desertificación es una ruptura del frágil equilibrio que hizo posible el desarrollo de la vida en las zonas áridas del planeta. El objetivo de este trabajo es abordar el concepto de desertificación para su control.

La palabra “desertificación” apareció por primera vez en 1949 (Intergovernmental Negotiating Committee for the Elaboration of an International Convention to Combat Desertification [INCD], 1994b), al realizar estudios de degradación ambiental en regiones áridas, los cuales describen el reemplazo de los bosques por sabanas en África. Desde el decenio de 1950, diversos organismos de las Naciones Unidas se han preocupado por los problemas de las zonas áridas y semiáridas. En 1974, la Asamblea General de las Naciones Unidas recomendó que la comunidad internacional adoptara, sin demora, medidas concretas para detener la desertificación y contribuir al desarrollo económico de las zonas afectadas. De este modo, en 1977, se convocó a una Conferencia de las Naciones Unidas sobre la desertificación, donde se adoptó el Plan de Acción para Combatir la Desertificación. Después, en la Asamblea General de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en 1992, el tema fue nuevamente analizado, aprobándose el Capítulo 12 “Ordenación de los ecosistemas frágiles: lucha contra la desertificación y la sequía” como parte del Programa 21. Finalmente, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, compromete a los países signatarios a preparar y ejecutar acciones para combatir la desertificación y mitigar los efectos de la sequía (United Nations Conference on Desertification [UNCOD], 1977). En la actualidad se acepta que la desertificación es un problema que ocurre en las regiones áridas y semiáridas del mundo. El término se usa en un contexto espacial más amplio y se aplica a un medio en el que ocurre cierta degradación de la tierra. Sin embar-

## INTRODUCTION

Desertification is defined as land degradation in arid, semiarid and dry subhumid areas, resulting from climate-induced factors and human activities such as deforestation, overgrazing, agricultural expansion into fragile areas and overexploitation of vegetation for domestic use. Precipitation is sparse or patchy in many arid regions of the world; thus, many areas lack sufficient water to support life, except on a limited basis. Human and animal overpopulation intensifies groundwater depletion. Desertification, the process by which lands become drier, is increasing worldwide. More than 6.1 billion hectares are arid and semiarid areas, with 40 % of the planet's surface being drylands, some of which have become deserts. An estimated 70 % of productive drylands are currently threatened by various forms of desertification. This directly affects the welfare and future of one-sixth of the world's population. Desertification is a breakdown of the fragile balance that made the development of life in the world's drylands possible. The aim of this paper is to address the concept of desertification control.

The word “desertification” first appeared in 1949 (Intergovernmental Negotiating Committee for the Elaboration of an International Convention to Combat Desertification [INCD], 1994b) during the carrying out of environmental degradation studies in arid areas, which describe the replacement of forest by savanna in Africa. Since the 1950s, various United Nations' agencies have been concerned with the problems of arid and semiarid areas. In 1974, the General Assembly of the United Nations recommended that the international community adopt, without delay, concrete measures to stop desertification and contribute to the economic development of the affected areas. Thus, in 1977, a United Nations Conference on Desertification, which adopted the Plan of Action to Combat Desertification, was convoked. Then, in the General Assembly of the United Nations for Environment and Development, held in 1992, the issue was re-examined, approving Chapter 12 “Managing fragile ecosystems: combating desertification and drought” as part of Agenda 21. Finally, the United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought or desertification commits signatory countries to prepare and implement actions to combat desertification and mitigate the effects of drought (United Nations Conference on Desertification [UNCOD], 1977). It is now accepted that desertification is a problem that occurs in arid and semiarid regions of the world. The term is used in a broader spatial context and is applied to an environment in which some degree of land degradation occurs. However, in arid and semiarid regions where natural resources have been mismanaged, there is a greater susceptibility to deterioration unleashing a series of negative processes. Some of these are: soil loss due to wind and water erosion, chemical soil impoverishment, reduced groundwater level, general alteration of the hydrological

go, es en las regiones áridas y semiáridas donde, a causa del mal manejo de los recursos naturales, se observa una mayor susceptibilidad al deterioro desencadenando una serie de procesos negativos. Algunos de éstos son: pérdida de suelos por erosión eólica e hídrica, empobrecimiento químico del suelo, reducción del nivel de agua del subsuelo, alteración general del ciclo hidrológico, regeneración natural menor de plantas herbáceas y leñosas, reducción severa de la productividad de los ecosistemas y pérdida de la diversidad biológica.

Existen tres categorías ambientales marcadas por las características climáticas, particularmente por la ocurrencia de lluvia, que definen la susceptibilidad de las regiones áridas de acuerdo con su grado de aridez. Dichas categorías son: época del año en la que la evapotranspiración potencial excede a la precipitación, probabilidad de una alta variabilidad en la precipitación total de un año a otro y probabilidad de eventos de sequía. Puede decirse que la desertificación es el resultado de la interacción de dos sistemas: a) el físico-biológico natural y b) el humano económico-social. Éstos se expresan en una disminución espacial y acusada de la biomasa y de la productividad biológica de los sistemas naturales como bosques, matorrales y pastizales, y humanizados como campos de cultivo, tanto en regadío como en secano (López, 1996).

Existen, principalmente, siete procesos responsables de la desertificación: i) degradación de la cubierta vegetal, ii) erosión hídrica, iii) erosión eólica, iv) salinización, v) reducción de la materia orgánica del suelo, vi) encostramiento y compactación del suelo y vii) acumulación de sustancias tóxicas para los seres vivos. De éstos, los cuatro primeros se consideran procesos primarios de desertificación, debido a que sus efectos son amplios y tienen un impacto muy significativo sobre la producción de la tierra, y los tres últimos se consideran secundarios. La desertificación se evalúa con base en tres criterios: estado actual, velocidad y riesgo, considerando cuatro clases de desertificación: ligera, moderada, severa y muy severa. De este modo, las regiones áridas en su totalidad son susceptibles a la desertificación (Cuadro 1). Estas áreas soportan una población de alrededor de 850 millones, tanto en naciones desarrolladas como en desarrollo y en todos los continentes permanentemente poblados.

### Causas de la desertificación

En las regiones áridas, la desertificación se ha atribuido tanto a factores relacionados con las acciones humanas como a eventos climáticos. En la desertificación se halla todo un conjunto de procesos interrelacionados; físicos, biológicos, históricos, económicos, culturales y políticos, cuya manifestación plantea una diversidad de niveles de resolución, tanto en escala espacial como temporal (Ibáñez, González, García, & Saldaña, 1997). A pesar de esto, la identificación clara de las causas de la desertificación puede ser severamente obstaculizada por la interacción

cycle, lower natural regeneration of woody and herbaceous plants, severe reduction in ecosystem productivity and loss of biodiversity.

There are three environmental categories marked by climatic characteristics, particularly rainfall occurrence, which define the susceptibility of arid regions according to their degree of aridity. These categories are: time of year when potential evapotranspiration exceeds precipitation, probability of a high variability in total rainfall from one year to another and probability of drought events. It can be said that desertification is the result of the interaction of two systems: a) the natural physical-biological one and b) the socio-economic human one. These are expressed in a marked decrease in the biomass and biological productivity of natural systems such as forests, shrublands and grasslands, and put to human use as farmland, both irrigated and unirrigated (López, 1996).

There are seven main processes responsible for desertification: i) degradation of vegetation cover, ii) water erosion, iii) wind erosion, iv) salinization, v) reduction of soil organic matter, vi) soil crusting and compaction and vii) accumulation of substances toxic to living things. Of these, the first four are considered primary processes of desertification, because their effects are broad and have a very significant impact on the production of the land, and the last three are considered secondary. Desertification is evaluated based on three criteria: current state, speed and risk, considering four classes of desertification: slight, moderate, severe and very severe. Thus, arid regions as a whole are susceptible to desertification (Table 1). These areas support a population of about 850 million, both in developed and developing nations on all the permanently inhabited continents.

### Causes of desertification

In arid regions, desertification has been attributed to factors related to both human actions and weather events. Desertification consists of a whole set of interrelated processes: physical, biological, historical, economic, cultural and political, the manifestation of which presents a variety of levels of resolution, both spatially and temporally (Ibáñez, González, García, & Saldaña, 1997). Despite this, the clear identification of the causes of desertification can be severely hampered by not only the interaction of anthropogenic and natural events (Figure 1), but also by the mix of short-term cyclical changes in the environment with those representing long-term degradation. Given this, the monitoring of long-term environmental changes, through the use of satellite imagery, begins to shed significant light on this point, making an important contribution to our understanding of ecosystem dynamics in arid regions. This, in turn, is leading to a growing view that human actions cause desertification, although they can, under some circumstances, be triggered by weather events that permanently affect ecosystem cycles.

de los eventos antropogénicos y naturales (Figura 1), pero también por la confusión de los cambios cíclicos de corto plazo en el medio ambiente con aquellos que representan la degradación a largo plazo. Ante esto, el monitoreo de los cambios ambientales a largo plazo, a través del uso de imágenes satelitales, comienza a arrojar una luz significativa en este punto; contribuyendo de forma importante a nuestro entendimiento sobre la dinámica de los ecosistemas en las regiones áridas. Esto, a su vez, está conduciendo al creciente punto de vista acerca de que las acciones humanas causan la desertificación, aunque éstas pueden, bajo algunas circunstancias, ser disparadas por eventos climáticos que inciden permanentemente en los ciclos de los ecosistemas.

**Social pressures.** The most obvious social pressure comes from the need to produce food, either through increased production of existing agricultural land or the incorporation of new areas into production. The increasing scarcity and degradation of agricultural resources and the environment, directly or indirectly related to meeting the food and income needs for a growing world population, presents a contradiction: on the one hand trying to achieve a balance between population and food availability, and on the other facing the need to prevent environmental degradation (García, 2000). In this context, although the global agricultural area covers only about 11 % of the total land (about 1.5 billion ha), if we add to this grassland areas, much of which

CUADRO 1. Extensión de las regiones áridas y estimación del área desertificada por continente.

Zona	Extensión (millones ha)	% a nivel mundial	Continente	Desertificación (millones ha)			
				Susceptible	Ligera y moderada	Fuerte y extrema	Total
Subhúmeda seca	1,294.7	9.94	África	1,286.0	245.3	74.0	319.3
Semiárida	2,305.3	17.72	Asia	1,671.8	326.7	43.7	370.4
Árida	1,569.1	12.06	Australasia	663.3	86.0	1.6	87.6
Total de regiones áridas susceptibles a la desertificación	5,169.1	39.72	Europa	299.7	94.6	4.9	99.5
Híper árida (no susceptible a la desertificación)	978.2	7.52	América del Norte	732.4	72.2	7.1	79.3
			América del Sur	516.0	72.8	6.3	79.1
			Total	5,169.2	897.6	137.9	1,035.2

\*Datos derivados de Middleton y Thomas (1997).

TABLE 1. Area of arid regions and estimated desertified area by continent.

Zone	Area (millon ha)	% worldwide	Continent	Desertification (millions ha)			
				Susceptible	Slight and moderate	Severe and very severe	Total
Dry subhumid	1,294.7	9.94	Africa	1,286.0	245.3	74.0	319.3
Semiarid	2,305.3	17.72	Asia	1,671.8	326.7	43.7	370.4
Arid	1,569.1	12.06	Australasia	663.3	86.0	1.6	87.6
Total of arid regions susceptible to desertification	5,169.1	39.72	Europe	299.7	94.6	4.9	99.5
Hyper-arid (not susceptible to desertification)	978.2	7.52	North America	732.4	72.2	7.1	79.3
			South America	516.0	72.8	6.3	79.1
			Total	5,169.2	897.6	137.9	1,035.2

\*Data derived from Middleton and Thomas (1997).

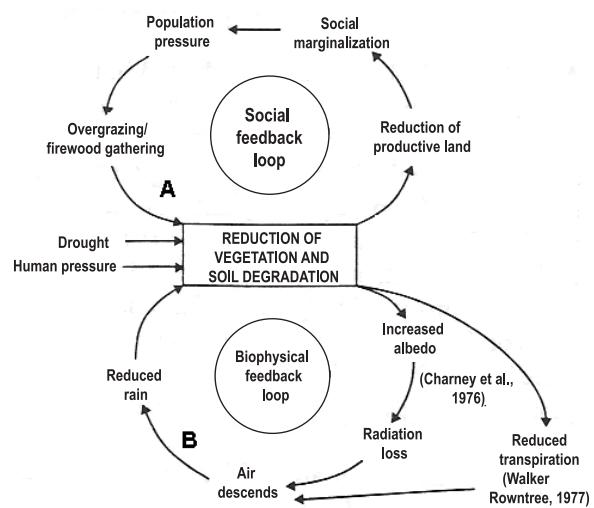
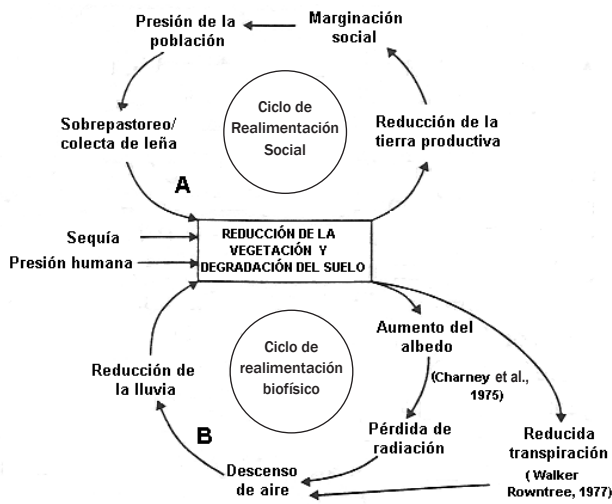


FIGURA 1. Ciclos de realimentación de la desertificación. A) La degradación o la sequía alimentan las acciones humanas y las respuestas que generan una degradación adicional. B) La degradación puede conducir a una de dos rutas hacia cambios en la atmósfera que reducen la lluvia. Esto puede reducir el desarrollo de las plantas y disparar una sequía o degradación adicional por el impacto humano (Thomas & Middleton, 1994).

FIGURE 1. Desertification feedback loops. A) Degradation or drought feed human actions and responses that generate further degradation. B) The degradation can lead to one of two paths to changes in the atmosphere that reduce rain. This can reduce the development of plants and trigger a drought or further degradation due to human impact (Middleton & Thomas, 1994).

**Presiones sociales.** La presión social más obvia proviene de la necesidad de producir alimentos, ya sea mediante la intensificación de la producción de las tierras agrícolas existentes o por la incorporación de nuevas áreas a la producción. La creciente escasez y degradación de los recursos agrícolas y del ambiente, relacionada directa o indirectamente con la satisfacción de las necesidades de alimentos e ingresos para una población mundial en aumento, presenta una contradicción; por una parte intenta lograr el equilibrio entre población y disponibilidad de alimentos, y por otra enfrenta la necesidad de evitar el deterioro ambiental (García, 2000). En este marco, aunque el espacio agrícola mundial se extiende sólo sobre el 11 % del total de tierras (alrededor de 1,500 millones de ha) y si a esto se añaden las zonas de pastizales, buena parte de las cuales equivalen a antiguos bosques o matorrales, resulta que un tercio de la superficie terrestre se dedica a la actividad agrícola o ganadera. Si el otro tercio se halla ocupado por montes y bosques bajo explotación, entonces la actividad agrícola, ganadera y forestal constituye el uso del suelo más extenso del planeta (Molinero, 1990) que al mismo tiempo representa una actividad cuyo límite y potencial debería descansar en el equilibrio de los ecosistemas.

El término desertificación no siempre se utiliza con el mismo significado. Hoy en día es evidente que no sólo describe las condiciones climáticas adversas (estrés climático) en los periodos de sequía de larga duración, sino también las interacciones complejas que incluyen intervenciones, sobre todo humanas, en la vegetación y el paisaje. Un periodo seco es característico de áreas secas (desierto). No es sólo la poca cantidad de agua disponible después de la precipitación jun-

is equivalent to ancient forests and scrubland, then a third of the land area is devoted to agriculture or livestock. If the other third is occupied by mountains and forests under exploitation, then farming, livestock and forestry activity is the most extensive land use of the planet (Miller, 1990) that at the same time represents an activity whose limit and potential should rest on the balance of ecosystems.

The term desertification is not always used with the same meaning. Today it is evident that it not only describes adverse weather conditions (climate stress) during periods of long-term drought, but also the complex interactions that include interventions, especially human ones, on vegetation and landscape. A dry period is characteristic of drylands (desert). It is not just the little water available after precipitation along with high temperatures, but also the temporal, spatial and episodic distribution of this precipitation which cannot be anticipated. In sub-Saharan Africa, for example, dry periods lasting several years have always occurred, as evidenced by the reports of historical sources and interpretation of ancient lake sediments. The recent period of drought in the Sahel has had catastrophic consequences, as it was preceded by a relatively wet period, and the population (which has grown considerably) was not prepared for this in their land use. On top of all this, the drive for innovations in medical and technical supplies (deep wells for tap water) improved grazing conditions and the number of animals increased continuously.

Recent meteorological data indicate large regional differences in the amount of precipitation, but the general trend

to con las altas temperaturas, sino también la distribución temporal, espacial y episódica de esta precipitación lo que no se puede anticipar. En la región subsahariana, por ejemplo, los periodos de sequía que duran varios años siempre se han producido, tal como lo demuestran los informes de las fuentes históricas y la interpretación de los antiguos sedimentos de los lagos. El periodo reciente de sequías en el Sahel ha tenido consecuencias catastróficas, ya que fue precedido por un periodo relativamente húmedo, y la población (que ha crecido considerablemente) no estaba preparada para esto en su uso de la tierra. Con todo ello, el impulso a las innovaciones de suministros médicos y técnicos (pozos profundos para agua del grifo) mejoró las condiciones de pastoreo y el número de animales aumentó continuamente.

Datos meteorológicos recientes indican grandes diferencias regionales en la cantidad de precipitación, pero la tendencia general de aumento de la sequía es apenas visible. No es correcto considerar a los ecosistemas de zonas secas como sistemas lábiles. Estos sistemas están adaptados a una variabilidad climática extrema. Las plantas y los animales autóctonos son capaces de adaptarse de muchas maneras y, por tanto, son capaces de sobrevivir en esas condiciones. La población humana en las zonas secas también sabe cómo mantener el suministro y se prepara para las variaciones en el rendimiento. La Figura 2 muestra un esquema de la desertificación con las causas más importantes y la consecuente degradación de la tierra en las regiones secas. Es importante tener en cuenta la discrepancia entre el crecimiento de la población y -a pesar de todos los avances tecnológicos- la disponibilidad limitada de recursos renovables, así como la sustitución de las formas tradicionales de gestión (el estilo de vida nómada) por el pastoreo de las formas modernas y la agricultura en los campos secos. En los últimos años, la población humana en todo el Sahara se ha quintuplicado (Schulze et al., 2005). Hoy en día se pueden encontrar ejemplos de la agricultura poco adaptados en todas las áreas cercanas a los desiertos. Algunos de ellos son la agricultura en el noreste de Siria o Jordania Oriental con precipitaciones inferiores a 200 mm·año<sup>-1</sup>, el cultivo de forraje animal con agua fósil de más de 1,000 m de profundidad en los oasis de Argelia y el suministro de agua potable para los animales en el Ferlo del Sahel, donde la vegetación se degrada aún más. La influencia humana sobre la vegetación en las zonas secas no está tan vinculada a la introducción de especies foráneas en la flora de la región, sino más bien a la alteración de los sitios y la cubierta vegetal original. Así, las plantas leñosas han desaparecido en muchas regiones debido a la mayor necesidad de leña.

La naturaleza dispersa, así llamada a la vegetación contraída, es dañada por el exceso de pastoreo, manifestándose en la disminución de la cobertura y la producción primaria, y un cambio de la constitución florística. Las plantas de buena calidad forrajera se han extinguido localmente en las zonas áridas, y éstas son invadidas por especies de plantas tóxicas o espinosas. En última instancia, la pérdida de especies

of increasing drought is barely visible. It is not correct to consider the ecosystems of drylands as labile systems. These systems are adapted to extreme climate variability. Native plants and animals are able to adapt in many ways and, therefore, are able to survive in such conditions. The human population in drylands also knows how to keep the supply and prepare for variations in yield. Figure 2 shows a schematic representation of desertification with the most important causes and consequent land degradation in dry regions. It is important to bear in mind the discrepancy between population growth and, despite all the technological advances, the limited availability of renewable resources, as well as the replacement of traditional forms of management (the nomadic lifestyle) by modern forms of grazing and agriculture in the dry fields. In recent years, the human population around the Sahara has quintupled (Schulze et al., 2005). Today examples of poorly-adapted agriculture can be found in all areas near deserts. Some of them are farming in northeastern Syria or eastern Jordan with rainfall below 200 mm·yr<sup>-1</sup>, growing animal fodder with fossil water over 1,000 m deep in Algerian oases and supplying drinking water to animals in the Ferlo Sahelian area, where vegetation is

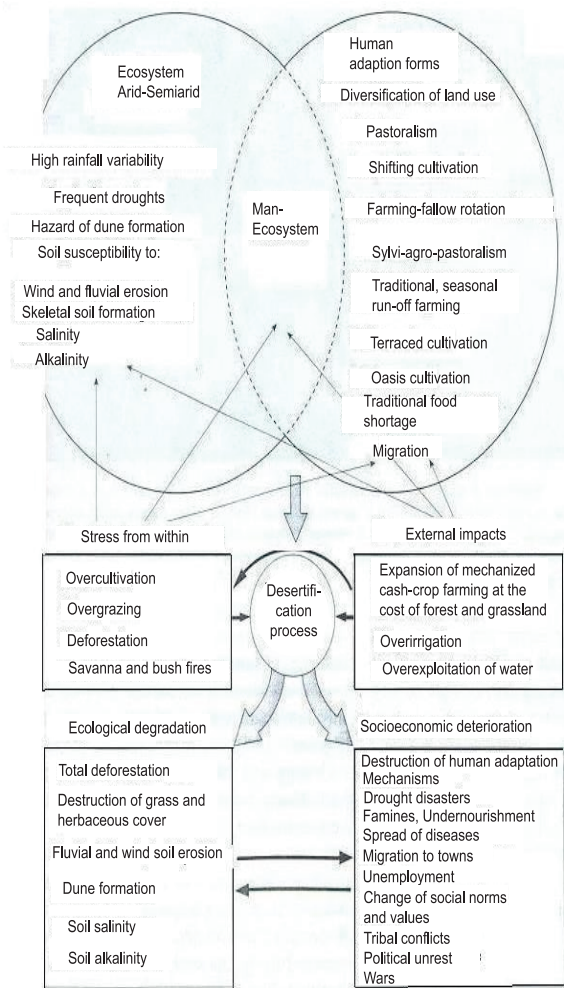


FIGURE 2. Scheme of the process of desertification (Schulze, Beck, & Müller-Hohenstein, 2005).

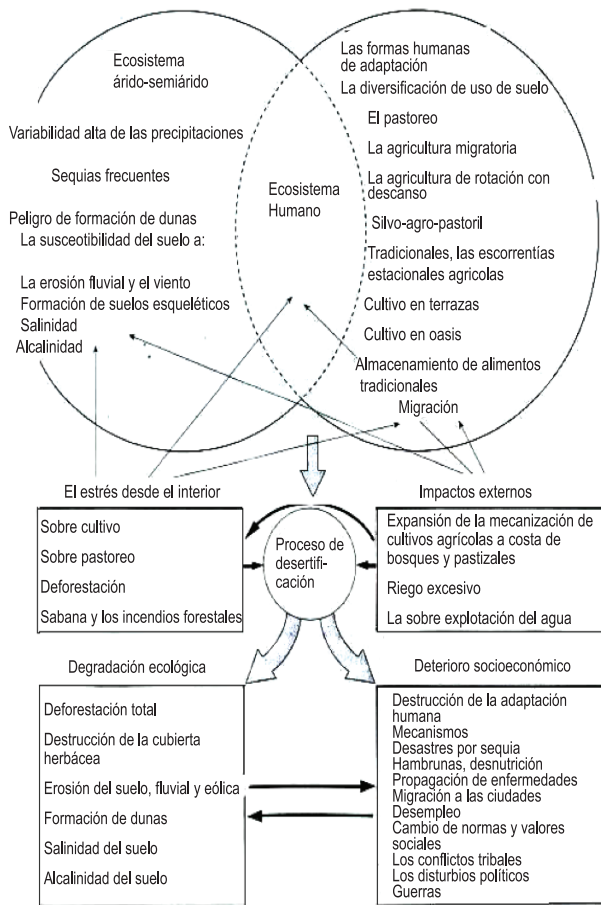


FIGURA 2. Esquema de los procesos de desertificación (Schulze, Beck, & Müller-Hohenstein, 2005).

es de esperarse. Los cambios locales resultantes de la mayor pérdida de la vegetación se observan en la recuperación de la movilidad de las dunas y el aumento del número de tormentas de polvo. También las relaciones de agua de las zonas se ven afectadas por las instalaciones de riego modernas, que dan lugar a la salinización de los suelos y al aumento de halófitas. Sin embargo, en todas las zonas áridas del Viejo Mundo hay ejemplos de una rápida recuperación de la vegetación después de la precipitación. Obviamente, la capacidad de regeneración en las regiones áridas depende de la variabilidad de las precipitaciones y de las tensiones naturales vinculadas, que probablemente han sido subestimadas. Sin embargo, a pesar de esto, el hombre puede ser la causa de los cambios en las zonas secas a través del cambio climático global, como resultado de alteraciones en el albedo (fracción de radiación reflejada hacia la atmósfera), la carga de polvo cada vez mayor en la atmósfera y los cambios en la humedad del suelo.

Algunos otros rasgos humanos que acentúan la creciente vulnerabilidad a la desertificación, incluyen tanto la ignorancia de los productores, políticos y planificadores acerca de las condiciones del medio como del contexto de un mundo globalizado. Éste integra a los países pobres a una economía de mercado que los subordina a la producción de

degraded even further. Human influence on vegetation in drylands is not as much tied to the introduction of alien species in the flora of the region as it is to the alteration of the sites and the original vegetation cover. Thus, woody plants have disappeared in many regions due to the increased need for firewood.

The dispersed nature, or so called contracted vegetation, is damaged by overgrazing, manifesting itself in reduced cover and primary production, and a change in floristic constitution. The good quality forage plants are locally extinct in arid areas, and they are invaded by species of toxic or thorny plants. Ultimately, the loss of species is to be expected. Local changes resulting from increased vegetation loss are observed in recovered dune mobility and the increased number of dust storms. Water relations of areas are also affected by modern irrigation facilities, leading to salinization of soils and increased halophytes. However, in all drylands of the Old World there are examples of rapid vegetation recovery after precipitation. Obviously, the regenerative capacity in arid regions depends on rainfall variability and associated natural tensions, which have probably been underestimated. However, despite this, man may be the cause of changes in drylands through global climate change, as a result of changes in the albedo (fraction of radiation reflected into the atmosphere), the ever-increasing dust load in the atmosphere and changes in soil moisture.

Some other human aspects that accentuate the increasing vulnerability to desertification include the ignorance of producers, politicians and planners about both environmental conditions and the context of a globalized world. This integrates poor countries to a market economy that subordinates them to crop production and commercial products, but that ignores that desertification is a major cause of habitat destruction in the arid regions of the planet (Ferrandis & Martínez, 2000).

**Environmental triggers of desertification.** The erosion caused by water and wind, sedimentation, eolian deposits, salinization, leaching and acidification are natural processes that, despite everything, cause degradation when they have been accelerated or induced by human action (Colomer & Sánchez, 2000). Therefore, when they occur in arid and semiarid regions they may lead to desertification as a result of poor management of these ecosystems.

Soil degradation is the decline in its current and potential capacity to produce goods or services, and manifests itself as a series of physical, chemical and/or biological changes in soil properties and processes. The erosive effects of wind and water, which have been well studied, occur when a vegetated soil surface is stripped of its natural cover, thereby increasing the erosive potential. This also depends on the size and speed of raindrops, the intensity of precipitation and wind strength. Degradation of vegetation cover increases the albedo, which is manifested in a decrease in net ra-

cultivos y productos comerciales, pero que desentiende que la desertificación representa una de las causas principales de destrucción del hábitat en las regiones áridas del planeta (Ferrandis & Martínez, 2000).

**Disparadores ambientales de la desertificación.** La erosión causada por el agua y por el viento, la sedimentación, los depósitos eólicos, la salinización, la lixiviación y la acidificación son procesos naturales que, a pesar de todo, causan degradación cuando han sido acelerados o inducidos por la acción humana (Colomer & Sánchez, 2000). Por ello, cuando se producen en las regiones áridas y semiáridas pueden conducir a la desertificación, como resultado de la mala gestión de estos ecosistemas.

La degradación del suelo es el proceso de disminución de la capacidad actual y potencial del mismo para producir bienes o servicios, y se manifiesta como una serie de cambios físicos, químicos y/o biológicos en las propiedades y procesos edáficos. Los efectos erosivos del agua y el viento han sido bien estudiados; éstos se producen cuando una superficie de suelo con vegetación es despojada de su cobertura natural incrementando el potencial erosivo. Éste también depende de las dimensiones y velocidad de las gotas de lluvia, de la intensidad de la precipitación y de la fuerza del viento. La degradación de la cubierta vegetal incrementa el albedo, el cual se manifiesta en una disminución de la radiación neta, cuya consecuencia es la disminución de la evapotranspiración que en un ambiente semiárido puede representar entre 60 y 80 % del balance hídrico (Wallace, 1994). A su vez, la evapotranspiración influye en la reducción de la formación de nubes y con ello de la precipitación (Rowntree, 1991). Con la pérdida de la cubierta vegetal, la incidencia de materia orgánica disponible para incorporarse al suelo es menor y la estructura de éste se hace más inestable. Esto produce una reducción en el almacenamiento de humedad, además de un aumento de la escorrentía superficial y de los procesos de erosión hídrica, mostrando que existe una retroalimentación climática a largo plazo entre la atmósfera y la vegetación (Charney, 1975).

Con las lluvias fuertes puede darse un movimiento en masa de suelo y material suave (esquitos, margas, arcillas, creta, anhidrita y yeso) que se traduce en inundaciones y sedimentación catastróficas que pueden afectar significativamente a todo el paisaje. Por ello, fue de gran relevancia que en 1977, considerando que se cultivaban alrededor de 1,500 millones de ha, se estimó que a lo largo de la historia se habían perdido aproximadamente 2,000 millones de ha y que más del 50 % de las tierras agrícolas de riego mostraban procesos de salinización, con lo que se perdían 300,000 ha anualmente (UNCOD, 1977). En las zonas áridas, la desertificación se hace irreversible cuando ha desaparecido todo el material suave y desmenuzable, y en su lugar queda sólo el material de la roca desnuda, ya que no hay posibilidad de almacenar agua para el establecimiento y supervivencia de las plantas. Otros procesos secundarios incluyen la salinidad, después

diación, which results in decreased evapotranspiration that in a semiarid environment can represent 60 to 80 % of the water balance (Wallace, 1994). In turn, evapotranspiration reduces cloud formation and hence precipitation (Rowntree, 1991). With the loss of vegetation cover, the incidence of organic matter available for incorporation into the soil is less and this structure becomes unstable. This produces a reduction in moisture storage, in addition to an increase in surface runoff and water erosion processes, showing that there is a long-term climate feedback between the atmosphere and vegetation (Charney, 1975).

Heavy rains can lead to a mass movement of soil and soft material (shale, marl, clay, chalk, gypsum and anhydrite), resulting in catastrophic flooding and sedimentation that can significantly affect the landscape. Therefore, it was of great importance that in 1977, considering that about 1.5 billion hectares were cultivated, it was estimated that throughout history about 2 billion hectares had been lost and that more than 50 % of the irrigated agricultural land showed salinization processes, resulting in the loss of 300,000 ha annually (UNCOD, 1977). In arid areas, desertification becomes irreversible when all the soft and crumbly material has gone, leaving only the bare rock material in its place, as there is no possibility of storing water for the establishment and survival of plants. Other secondary processes include salinity, after the disappearance of vegetation in filtration areas, deforestation in watersheds, incorrect irrigation practices and recurrent fires. If we add to this that one of the first consequences of soil degradation begins with the elimination of shrubs and trees that contribute to the functioning of non-degraded ecosystems, then a systemic balance in which woody species play an important role is irreversibly altered. The importance of these species is reflected in the removal of nutrients from the deep soil layers, the use of deep groundwater, nitrogen fixation, reducing the splashing of raindrops, decreased wind speed at ground level, the increased production of organic matter and therefore in overall ecosystem productivity (Hernández-García, Granados-Sánchez, & Sánchez-González, 2003). Moreover, in the arid regions, during the dry season that lasts about ten months, the trees and shrubs are the only source of green forage for wild or domestic animals and, therefore, the only supply of protein and beta-carotene. Tree and shrub cover also provides most of the minerals, especially phosphorus, since dry grass has virtually no phosphorus, nitrogen and vitamins. For this reason, when the trees and shrubs are destroyed, livestock cannot be maintained (Godínez, 1998).

#### Desertification: extent and severity

Desertification is a rapidly-progressing phenomenon and, although estimates of its magnitude vary according to sources and there is no reliable data available to accurately determine the degree of progress, it is known that every year millions of hectares become unsuitable for cultivation and grazing. Some United Nations Environmental Programs



de la desaparición de la vegetación en áreas de filtración, la deforestación en las líneas divisorias de agua, las prácticas erróneas de riego y los recurrentes incendios. Si a esto se suma que una de las primeras consecuencias de la degradación del suelo se inicia con la eliminación de arbustos y árboles que contribuyen al funcionamiento de ecosistemas no degradados, entonces se altera irreversiblemente un equilibrio sistémico en el que las especies leñosas desempeñan un papel importante. La importancia de estas especies se refleja en la extracción de nutrientes de las capas profundas del suelo, la utilización de las capas freáticas profundas, la fijación de nitrógeno, la reducción de la salpicadura de las gotas de lluvia, la disminución de la velocidad del viento a nivel del suelo, el aumento de la producción de materia orgánica y, por tanto, en la productividad general del ecosistema (Hernández-García, Granados-Sánchez, & Sánchez-González, 2003). Pero además, en las regiones áridas, durante la estación seca que dura unos diez meses, los árboles y arbustos son la única fuente de forraje verde para la fauna silvestre o doméstica y, por tanto, el único suministro de proteínas y betacaroteno. La cobertura arbórea y arbustiva proporciona también la mayoría de los minerales, especialmente el fósforo, puesto que la hierba seca prácticamente no tiene fósforo, nitrógeno ni vitaminas. Por tal razón, cuando los árboles y arbustos se destruyen, el ganado no puede mantenerse (Godínez, 1998).

#### Desertificación: extensión y severidad

La desertificación es un fenómeno de rápida progresión y, a pesar de que las estimaciones sobre su magnitud varían de acuerdo con las fuentes y que no se dispone de datos confiables que permitan determinar con precisión el grado de avance, se sabe que año tras año millones de hectáreas se convierten en terrenos no aptos para el cultivo y el pastoreo. Algunos datos de United Nations Environmental Programs (UNEP, 1992) e INCD (1994a) proporcionan una idea aproximada de la dimensión del proceso de desertificación que comprende las áreas secas del planeta. Los datos establecen que dicho proceso: a) afecta el 70 % de las tierras áridas (3,600 millones de ha), aumentando su marginalidad, b) recae sobre unos 1,000 millones de humanos (sexta parte de la población mundial) y c) en las regiones áridas y semiáridas, el 30 % de las tierras de riego (alrededor de 500,000 ha) entrarán a un proceso de desertificación cada año a causa de la salinización del agua y del suelo (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1998).

Más de 100 países presentan riesgos de desertificación, de los cuales sólo 18 industrializados o productores de petróleo disponen de recursos financieros para hacer frente a los problemas. Se estima que alrededor de 150 millones de personas están en riesgo de ser desplazadas a consecuencia de la desertificación. En América del Norte, del total de tierras agrícolas de las zonas secas, el 74 % están afectadas por algún tipo de degradación. En algunas regiones de Latinoamérica el problema se agrava rápidamente con la sobreexplotación

(UNEP, 1992) and INCD (1994a) data provide a rough idea of the extent of the desertification process affecting the drylands of the planet. The data establish that the process: a) affects 70 % of drylands (3.6 billion ha), increasing their marginality, b) has an impact on about 1 billion humans (a sixth of the world population) and c) in arid and semiarid regions, 30 % of irrigated land (about 500,000 ha) will enter a process of desertification each year because of water and soil salinization (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1998).

More than 100 countries present risks of desertification, of which only 18 are industrialized or oil-producing nations with the financial resources to address the problems. An estimated 150 million people are at risk of being displaced by desertification. In North America, of the total agricultural land in drylands, 74 % is affected by some type of degradation. In some parts of Latin America the problem is rapidly worsening with forest overexploitation. In Mexico, the causes of land degradation are complex and are related to not only technical aspects, but also social and political determinants. Land degradation is significant in both its quantity and its consequences, although it has a practical solution when an advanced stage of desertification has not been reached (Chapela, 2003). Arid areas in the country cover more than half of the landmass, with an approximate size of 100 million ha. About 30 % of the area of such regions in Latin America (516 million ha) is susceptible to desertification. However, in Mexico, it affects to varying degrees (from the mildest to the most severe) over 70 % of the country (Havastad, Huenneke, & Schlesinger, 2006). The rate of desertification is hundreds of times greater than the speed of recovery in ecosystems devoted to agriculture, livestock and forestry. Therefore, Mexico would take several decades to match the speed of desertification with that of soil recovery and rehabilitation (Figure 3).

About 52 % of the dry regions in Mexico are characterized by vegetation cover consisting of shrubs, which are one of the vegetation types most affected by human activities, which induce its reduction by 0.89 % each year. Activities that cause desertification in arid, semiarid and dry subhumid regions in Mexico are overgrazing, land-use change, deforestation, post-harvest tillage and poor soil management (Hernández, 2006). This has resulted in 59 % of Mexico's landmass being desertified by soil degradation, except the center of the Chihuahuan Desert (Chihuahua, Coahuila and Durango), the Gran Desierto de Altar (Sonora) and the Baja California Peninsula (Department of the Environment and Natural Resources [SEMARNAT], 2003). In addition to erosion, land degradation takes many forms. An idea of its magnitude in Mexico is summarized in Table 2.

Areas at the highest risk of desertification are the semi-arid ones, i.e., those which are spread along the fringe of arid areas. Dregne (1983) recognizes four degrees of desertification. Slight desertification is one in which there is

forestal. En México, las causas que provocan la degradación de las tierras son complicadas y están relacionadas con aspectos técnicos, pero también con determinantes de carácter social y político. La degradación de tierras es significativa tanto en su cantidad como en sus consecuencias, aunque tiene una solución práctica, cuando no se ha alcanzado un estadio avanzado de desertificación (Chapela, 2003). Las zonas áridas en el país abarcan más de la mitad del territorio, con una dimensión aproximada de 100 millones de ha. Cerca del 30 % de la superficie de este tipo de zonas en América Latina (516 millones de ha) es susceptible a la desertificación. Sin embargo, ésta afecta en diversos grados (desde el más leve hasta el más severo) a más del 70 % del territorio nacional (Havastad, Huenneke, & Schlesinger, 2006). La velocidad de la desertificación es cientos de veces mayor que la velocidad de recuperación en los ecosistemas dedicados a la producción agrícola, pecuaria y forestal. Por lo anterior, a México le llevaría varias décadas igualar la velocidad de desertificación con la recuperación y rehabilitación de los suelos (Figura 3).

little deterioration of vegetation cover or soil as a result of human activities. Most of the world's deserts fall into this category, because the vegetation in its natural state is very sparse. Moderate desertification, according to the characteristics of the vegetation, meets the conditions for regular grazing and 25 to 50 % of the plants are climax species. Severe desertification is one in which undesirable grasses and shrubs replace desirable grasses and shrubs to a great extent, and only 10-25 % of climax species remain. In addition, water and wind erosion removes the surface vegetation. Finally, very severe desertification has irreversible deterioration conditions, with less than 10 % of climax species in the community. Trenches (gullies) formed by erosion are large and numerous, as seen in areas that have been deforested. An example is the deforested forest of Morelia, Michoacán.

Desertification processes are generally located in the world's poorest countries, mainly in Asia, Africa and America (Figure 4). Dregne (1983) estimated globally 1.731 billion km<sup>2</sup>

**Tipo de degradación de los suelos en México**

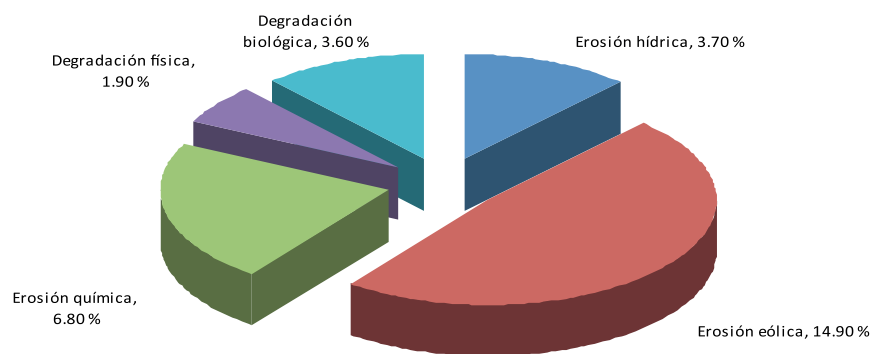


FIGURA 3. Tipos de degradación de los suelos en México.

**Types of soil degradation in Mexico**

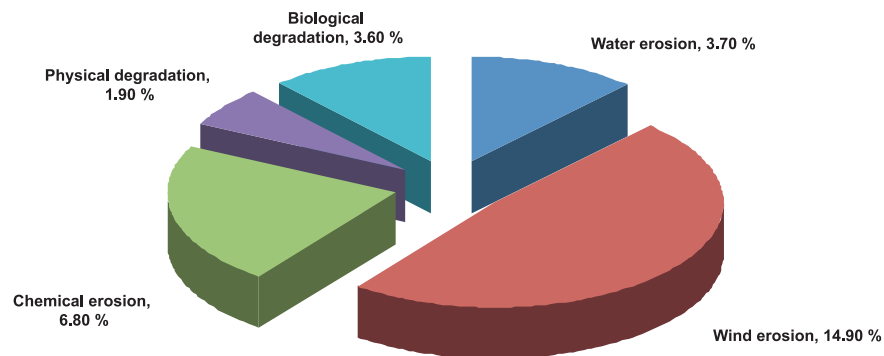


FIGURE 3. Types of soil degradation in Mexico.

El 52 % de las regiones secas en México se caracterizan por su cobertura vegetal formada por matorrales, que constituyen uno de los tipos de vegetación más afectados por las actividades humanas, las cuales inducen su reducción en 0.89 % cada año. Las actividades que causan la desertificación en las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México son el sobrepastoreo, el cambio de uso del suelo, la deforestación, la labranza postcosecha y el mal manejo del suelo (Hernández, 2006). Esto ha dado lugar a que el 59 % de la superficie de la república mexicana se haya desertificado por degradación del suelo, exceptuando el centro del Desierto Chihuahuense (Chihuahua, Coahuila y Durango), el Gran Desierto de Altar (Sonora) y la península de Baja California (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2003). Además de la erosión, la degradación de las tierras reviste muchas formas. Una idea de su magnitud en México se sintetiza en el Cuadro 2.

of land with rain-fed crops that were at least moderately affected, and damage of 271 million km<sup>2</sup> in irrigated crop areas (Reynolds et al., 2006).

By the early '90s, the United Nations Environment Program warned that 35 % of the total area of the continents can be considered desert area, in areas that are home to some 1 billion people who survive in persistent drought and food shortage conditions (Middleton & Thomas, 1997). Furthermore, desertification increases by about 6 million ha·yr<sup>-1</sup> around the world without hope of recovery and 20 million ha·yr<sup>-1</sup> partially lose their ability to serve as a basis for productive, agricultural or livestock activities. Also, billions of hectares are found somewhere on the continuous degradation scale, between the extreme of fully productive land and that of those whose degree of desertification puts them beyond any hope of recovery.

CUADRO 2. Tipos y magnitud de degradación de la tierra en México.

Proceso	Afectación	Entidades más afectadas	Referencia
Alto riesgo de erosión	531.7 (27 %)		Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1994)
Erosión eólica severa y muy severa (km <sup>2</sup> )	1,140.8 (60.6 %)	San Luis, Morelos, Hidalgo y Querétaro	Ortiz y Estrada, 1993
Alto riesgo de erosión	885.2 (44.8 %)		Ortiz y Estrada, 1993
Salinización (miles de ha)	800	Baja California, Sinaloa y Tamaulipas	Ortiz, 1993
Ritmo de salinización (miles de ha·año <sup>-1</sup> )	10		Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, 1996)
Deforestación (millones de ha acumuladas desde 1950)	49		SEMARNAP, 1997
Velocidad de deforestación (miles de ha·año <sup>-1</sup> )	340	Yucatán, Campeche, Chiapas y Oaxaca	SEMARNAP, 1998
Acidificación (millones de ha)	29 (15 %)	Tabasco, Campeche, Veracruz, Nayarit y Oaxaca	SEMARNAP, 1998
Compactación (millones de ha)	59 (39 %)		SEMARNAP, 1998
Cementación (tepates)	---	México, Hidalgo, Tlaxcala y Oaxaca	

TABLE 2. Types and magnitude of land degradation in Mexico.

Process	Damage	States most affected	Reference
High risk of erosion	531.7 (27 %)		Ministry of Agriculture and Water Resources (SARH, 1994)
Severe and very severe wind erosion (km <sup>2</sup> )	1,140.8 (60.6 %)	San Luis, Morelos, Hidalgo and Querétaro	Ortiz and Estrada, 1993
High risk of erosion	885.2 (44.8 %)		Ortiz and Estrada, 1993
Salinization (thousands of ha)	800	Baja California, Sinaloa and Tamaulipas	Ortiz, 1993
Salinization rate (thousands of ha-yr <sup>-1</sup> )	10		Ministry of the Environment, Natural Resources and Fisheries (SEMARNAP, 1996)
Deforestation (millions of ha accumulated since 1950)	49		SEMARNAP, 1997
Deforestation rate (thousands of ha-yr <sup>-1</sup> )	340	Yucatán, Campeche, Chiapas and Oaxaca	SEMARNAP, 1998
Acidification (millions of ha)	29 (15 %)	Tabasco, Campeche, Veracruz, Nayarit and Oaxaca	SEMARNAP, 1998
Compaction (millions of ha)	59 (39 %)		SEMARNAP, 1998
Cementation (tepetates)	----	México, Hidalgo, Tlaxcala and Oaxaca	

Las áreas de más alto riesgo de desertificación son las semiáridas, es decir, las que se extienden sobre la franja de zonas áridas. Dregne (1983) reconoce cuatro grados de desertificación. La desertificación ligera es aquella en la que existe poco deterioro de la cubierta vegetal o del suelo, ocasionado por las actividades humanas. La mayoría de los desiertos del mundo caen en esta categoría, pues la vegetación en estado natural está muy esparcida. La desertificación moderada, de acuerdo con las características de la vegetación, reúne las condiciones para la realización regular del pastoreo y el 25 al 50 % de las plantas son especies clímax. La desertificación severa es aquella en la que las hierbas no deseables y los arbustos reemplazan a los pastos y arbustos deseables en una gran extensión, y sólo 10 a 25 % de las especies clímax permanecen. Además, la erosión hídrica y eólica remueve la vegetación de la superficie. Finalmente, la desertificación muy severa posee condiciones de deterioro irreversibles, con menos de 10 % de especies clímax en la comunidad. Las zanjas (cárcavas) que se forman por erosión son grandes y numerosas, según se observa en áreas que han sido deforestadas. Un ejemplo lo tenemos en el bosque deforestado de Morelia, Michoacán.

### Desertification processes

Natural ecosystems located in arid regions can withstand prolonged drought, with virtually no damage, provided the human impact is slight. The cause of land degradation is not the climate and drought, as the vegetation and soils have adapted to these conditions for thousands of years, when the pressure of man and his livestock was slight. The new element is that this pressure is now so great that, when there is drought, the ecosystem is too fragile to survive the degrading effects of rain and wind. Drought is a complex phenomenon that can occur in several ways: 1) meteorological, when there is a prolonged water deficit that causes problems; 2) agricultural, when there is insufficient water to harvest; 3) hydrological, when there is insufficient water to sustain the required levels for a river current; 4) economic, resulting from a shortage of water, which causes a drop in industrial production. Despite this, human factors have a greater impact than physical processes on the ecosystems. In this framework, the process of desertification is caused by passive factors, represented by the marginality and natural

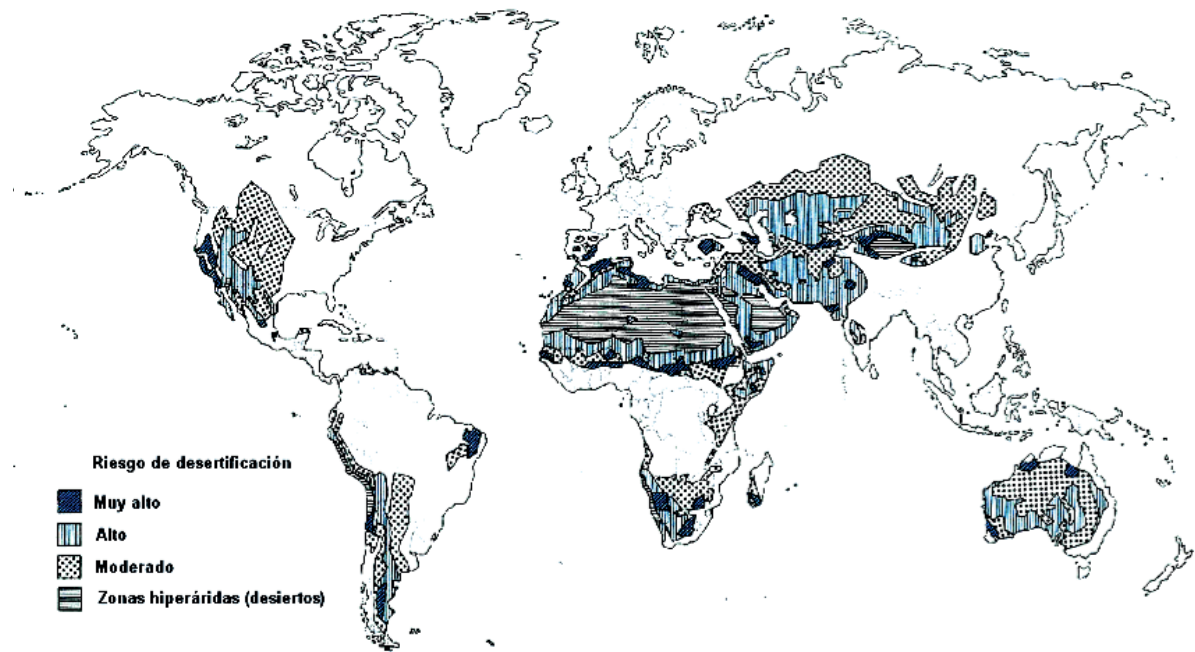


FIGURA 4. Desiertos y áreas proclives a la desertificación (UNCOD, 1977).

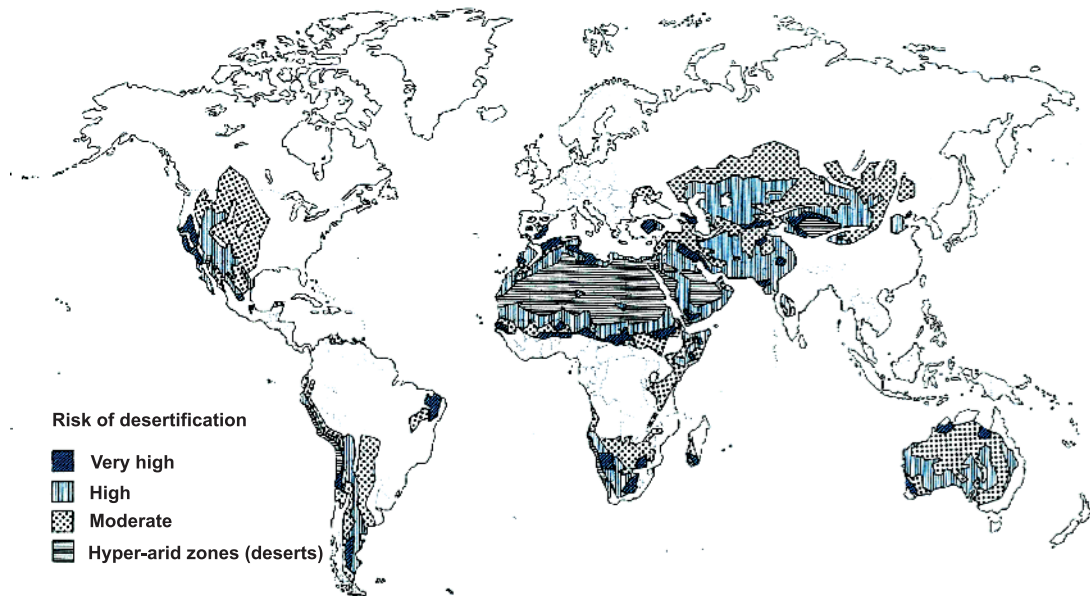


FIGURE 4. Deserts and areas prone to desertification (UNCOD, 1977).

Los procesos de desertificación se localizan generalmente en los países más pobres del mundo, principalmente en Asia, África y América (Figura 4). Dregne (1983) estimó globalmente 1,731 millones de km<sup>2</sup> de terrenos con cultivos de temporal que fueron al menos moderadamente afectados, y una afectación de 0.271 millones de km<sup>2</sup> en las áreas de cultivos con riego (Reynolds et al., 2006).

Para inicios de los años 90, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente advierte que el 35 % de la superficie de los continentes puede considerarse como área desértica, en territorios que acogen a unos 1,000 mi-

susceptibility of certain areas to vegetation and soil degradation, and dynamic factors that are associated with human activities that result in changes to the environment. Many of these factors operate indirectly by increasing the pressure on natural environments, while other activities are directly responsible for the degradation (Boyko, 1966).

**Environmental conditions.** Arid areas are characterized by low annual rainfall with heavy rains that often fall as isolated storms, especially at the beginning of the rainy season, the beginning and end of which can vary from year to year. The relative humidity during the dry season is also often low

llones de personas que sobreviven en condiciones persistentes de sequía y escasez de alimentos (Middleton & Thomas, 1997). Además, la desertificación se incrementa en aproximadamente 6 millones de ha-año<sup>-1</sup> en todo el mundo sin esperanzas de recuperación y 20 millones de ha-año<sup>-1</sup> pierden parcialmente su capacidad para servir de base a las actividades productivas, agrícolas o ganaderas. Asimismo, miles de millones de hectáreas se encuentran en algún lugar de la escala de degradación continua, entre el extremo de las tierras totalmente productivas y el de aquellas cuyo grado de desertificación las coloca fuera de toda esperanza de recuperación.

### Los procesos de la desertificación

Los ecosistemas naturales situados en las regiones áridas pueden soportar sequías prolongadas, prácticamente sin daños, siempre que el impacto humano sea somero. La causa de la degradación de la tierra no es el clima y la sequía, puesto que la vegetación y los suelos se han adaptado a estas condiciones durante miles de años, cuando la presión del hombre y su ganado fue ligera. La novedad es que dicha presión es ahora tan grande que, cuando se presenta la sequía, el ecosistema es demasiado frágil para sobrevivir a los efectos degradantes de la lluvia y el viento. La sequía es un fenómeno complejo que puede darse de varias formas: 1) meteorológica, cuando hay un prolongado déficit de agua que causa desgracias; 2) agrícola, cuando el agua para cosechar es insuficiente; 3) hidrológica, cuando hay insuficiencia de agua para sostener los niveles requeridos de la corriente en un río; 4) económica, que resulta de una escasez de agua, la cual causa una caída en la producción industrial. A pesar de esto, los factores humanos tienen un impacto mayor que los procesos físicos sobre los ecosistemas. En este marco, el proceso de desertificación se origina por factores pasivos, representados por la marginalidad y la susceptibilidad natural de ciertas áreas a la degradación de la vegetación y del suelo y por los factores dinámicos, que están asociados con las actividades humanas que impulsan cambios hacia el ambiente. Muchos de esos factores operan indirectamente al incrementar la presión de los ambientes naturales, mientras que otras actividades son directamente responsables de la degradación (Boyko, 1966).

**Condiciones ambientales.** Las zonas áridas se caracterizan por su precipitación pluvial anual baja con lluvias intensas que frecuentemente caen como tormentas aisladas, especialmente al comenzar la estación lluviosa, cuyos inicio y término pueden variar año con año. También la humedad relativa durante la estación seca es a menudo baja y es frecuente la presencia de fuertes vientos que, combinados con las altas temperaturas, producen un alto potencial de evapotranspiración. En estas zonas, los procesos de desertificación se sintetizan en una alteración del sistema suelo-planta-atmósfera, que tiende a acentuar las condiciones que combinan los altos grados de estrés (climático, hidrológico, edáfico y geomorfológico) y la

and often the presence of strong winds, combined with high temperatures, produces a high potential evapotranspiration. In these areas, desertification processes are synthesized in an alteration of the soil-plant-atmosphere, which tends to accentuate the conditions that combine high levels of stress (climate, hydrological, soil and geomorphologic) and disturbance that plants and wildlife must withstand. This may lead to changes in the soil microclimate due to changes in the absorption of solar energy, sensible heat flux, temperature and evaporation. The floristic composition can also be changed, favoring the invasion of specific plant species of degraded soils and xerophytism expansion: structure, composition, morphology, spatial patterns, biological types, root systems and breeding proportions.

**Changes in the rainfall pattern and drought.** Annual rainfall variation and the consequent accentuation of drought periods, as the main factor in desertification, can reduce available water due to the deterioration of water flows. They can also alter ecological factors and interfere in human activities because agriculture oriented to food production needs regular and abundant rainfall, not only to maintain soil moisture levels or meet evapotranspiration requirements, but also to maintain crop productivity.

**Agricultural and livestock overexploitation.** Agricultural areas are abandoned when farming practices deplete soil nutrients and yields tend to decline. Overgrazing occurs when increasing the amount of livestock or decreasing the usable area for grazing; in both cases, there is an increase in the number of individuals in a unit area, causing damage to the annual production of pasture and vegetation in general. This reduces infiltration and the soil is exposed to erosion and subsequent desertification, because the vegetation cover, as well as being an effective windbreak and protecting the soil from rain, allows water infiltration, reduces soil temperature and increases relative humidity. Under these conditions, there is deterioration and even loss of soil structural stability and a process of biological degradation of the soil (loss of nutrients) begins. Furthermore, the trend to compaction and crusting is promoted; concomitantly, they decrease the porosity, infiltration capacity and moisture content of the soil, while the surface runoff and its erosive potential increase.

**Erosion.** Alteration of the vegetation cover accelerates erosion by water and wind, i.e., the decapitation of the upper soil horizons and accumulation of sediment at the bottom of slopes, valley floors, river beds and reservoirs; it also increases soil stoniness and outcropping of the parent material. In more or less arid environments, these processes are characterized by being recurrent, intermittent, progressive and irreversible (López, 1996). Under these conditions, the structure of the vegetation structure is degraded and only adapted species (with greater resiliency) can survive (Boer, 1999).

perturbación que han de soportar las plantas y la fauna. Todo ello puede generar cambios en el microclima del suelo por modificaciones en la absorción de energía solar, flujos de calor sensible, temperatura y evaporación. La composición florística también puede modificarse, favoreciendo la invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados y la expansión del xerofitismo: estructura, composición, morfología, patrones espaciales, tipos biológicos, sistemas radiculares y proporciones de reproducción.

**Modificaciones en el patrón de lluvias y sequía.** La variación anual de la lluvia y la consecuente acentuación de los periodos de sequía, como principal factor de desertificación, pueden reducir el agua disponible debido al deterioro de los flujos hídricos. También pueden alterar los factores ecológicos e interferir en las actividades humanas, pues la agricultura orientada a la producción de alimentos necesita lluvias regulares y abundantes, no sólo para mantener los niveles de humedad del suelo o cubrir los requerimientos de evapotranspiración sino también para mantener la productividad de los cultivos.

**Sobreexplotación agrícola y ganadera.** Las áreas agrícolas son abandonadas cuando las prácticas de cultivo agotan los nutrientes del suelo y los rendimientos tienden a reducirse. El sobrepastoreo ocurre al incrementar la cantidad de ganado o al disminuir el área aprovechable para pastorear; en ambos casos, hay un incremento en el número de individuos en una unidad de área, provocando daños a la producción anual de pastura y a la vegetación en general. Con esto se reduce la infiltración y el suelo queda expuesto a la erosión y subsecuente desertificación, pues la cubierta vegetal, además de ser un efectivo rompevientos y proteger al suelo de la lluvia, permite la infiltración del agua, reduce la temperatura del suelo e incrementa la humedad relativa. En estas condiciones, hay deterioro e incluso pérdida de la estabilidad estructural del suelo y se inicia un proceso de degradación biológica del mismo (pérdida de nutrientes). Además, se favorece la tendencia a la compactación y formación de costras; en concomitancia, disminuyen la porosidad, la capacidad de infiltración y contenido de humedad del suelo, a la vez que se incrementan la escorrentía superficial y su potencial erosivo.

**Erosión.** La alteración de la cubierta vegetal acelera la erosión hídrica y eólica, es decir, la decapitación de los horizontes edáficos superiores y la acumulación de sedimentos al pie de las laderas, vaguadas, lechos fluviales y embalses; aumenta también la pedregosidad del suelo y afloramiento del material parental. En los ambientes más o menos áridos, estos procesos se caracterizan por ser recurrentes, intermitentes, progresivos e irreversibles (López, 1996). En estas condiciones, la estructura de la cubierta vegetal se degrada y sólo pueden sobrevivir las especies (con mayor resiliencia) adaptadas (Boer, 1999).

**Vegetación.** La vegetación de las regiones áridas está fuertemente influida por la estacionalidad de la precipitación, a

**Vegetation.** The vegetation in arid regions is strongly influenced by the seasonality of precipitation, often by the sporadic nature of rainfall, and dominated by species adapted to prolonged droughts. Some species flower and fruit before the onset of rains and others survive by exploiting groundwater resources. Under natural conditions, vegetation cover decreases during the dry season, making areas naturally prone to desertification. If this process is exacerbated because of productive activities, not only do changes and deterioration occur in the terrestrial ecodiversity, but also the biomass (net primary productivity, root biomass/above-ground biomass ratio) is reduced and the vegetation cover is degraded (primary vegetation is replaced by increasingly-spaced secondary formations that may disappear over time). Degradation and removal of the vegetation induce erosion, often of preferential fine material, including organic matter and nutrients. By repeating this process *ad infinitum*, the microclimate of the land becomes more austere, which combined with the loss of soil reduces the likely regeneration of vegetation. Thus, desertification is a process that accelerates on its own and rehabilitation costs are high.

**Irrigation, salinization and desertification.** Irrigation, the supplying of water to farmland by artificial means, has greatly increased agricultural production in regions that typically receive little rain. In recent decades, the area of irrigated land in the world has increased dramatically. However, this expansion now has the counterweight of another alarming trend involving the accumulation of salts in the soil to the extent that it decreases or stops plant development. Thus, due to the fact that the high salt content in the soil is so toxic that it prevents the growth of plants, salination is considered a form of desertification. The high evapotranspiration that occurs in the summer months, during which crops require more irrigation, favors the rise of salts and their accumulation on the surface (Colomer & Sánchez, 2000). It is estimated that by 2015, at least half of the irrigated land will have lower productivity because of the salinization process, since each year 1.5 million ha are added to the irrigation total. In the United States, the problem is very serious in the Lower Valley of the Colorado River and the San Joaquin Valley in California, since a total of 160,000 ha have become unproductive in these areas. In addition, there is the problem of groundwater depletion, since the volumes of vital liquid extraction used for irrigation are steadily increasing (DeBuys & Myers, 1999).

#### **Towards the implementation of preventive and corrective actions**

The world is losing agricultural areas at an alarming rate due to erosion, desertification, salinization and urbanization. Such losses are on track to collide with sustainability. Who, then, is responsible for producing the changes? In general, agricultural policy is contrary to ecological methods and the adoption of sustainable farming systems, particularly those which rely on crop rotation, soil conservation practices, re-

menudo por la naturaleza esporádica de las lluvias y dominada por las especies adaptadas a sequías prolongadas. Algunas especies florecen y fructifican antes del inicio de las lluvias y otras sobreviven al aprovechar los recursos de agua del terreno. En condiciones naturales, la cubierta vegetal decrece durante la estación seca, haciendo que las áreas sean naturalmente propensas a la desertificación. Si este proceso se agudiza a causa de las actividades productivas, suceden cambios y deterioro en la ecodiversidad terrestre, pero también se reduce la biomasa (productividad primaria neta, relación biomasa radicular/biomasa aérea) y se degrada la cubierta vegetal (la vegetación primaria es sustituida por formaciones secundarias cada vez más espaciadas que pueden desaparecer con el tiempo). La degradación y eliminación de la vegetación inducen la erosión, a menudo preferencialmente material fino, incluyendo materia orgánica y nutrientes. Con la repetición *ad infinitum* de este proceso, el microclima de la tierra llega a ser más austero, lo cual combinado con la pérdida de suelo reduce la probable regeneración de la vegetación. Así, la desertificación es un proceso que por sí mismo se acelera y los costos de rehabilitación son altos.

**Riego, salinización y desertificación.** El riego, suministro de agua a los campos de cultivo por medios artificiales, ha aumentado la producción agrícola de manera radical en regiones que suelen recibir pocas lluvias. En las últimas décadas, la superficie de las tierras de riego en el mundo ha aumentado radicalmente. Sin embargo, esta expansión tiene ahora el contrapeso de otra tendencia alarmante consistente en la acumulación de sales en el suelo hasta el grado en que disminuye o suspende el desarrollo de las plantas. De este modo, por el hecho de que el alto contenido de sales en el suelo sea tan tóxico que impida el desarrollo de las plantas, la salinización se considera una forma de desertificación. Con la evapotranspiración elevada que se produce en los meses de verano, periodo en que más riego requieren los cultivos, se favorece el ascenso de las sales y su acumulación en la superficie (Colomer & Sánchez, 2000). Se calcula que para el año 2015, al menos la mitad de las tierras de riego habrán reducido su productividad a causa de este proceso de salinización, puesto que cada año se incorporan 1.5 millones de ha al riego. En Estados Unidos, el problema es muy grave en la zona del Valle Bajo del Río Colorado y en el Valle de San Joaquín, California, pues en estas zonas un total de 160,000 ha se han vuelto improductivas. Además, se añade el problema del agotamiento de los mantos freáticos, debido a que cada vez los volúmenes de extracción del líquido vital para destinarlo al riego son más elevados (DeBuys & Myers, 1999).

#### Hacia la aplicación de acciones preventivas y correctivas

El mundo pierde áreas agrícolas a un ritmo alarmante a causa de la erosión, desertificación, salinización y urbanización. Tales pérdidas se encuentran en camino de entrar en colisión con la sustentabilidad. ¿De quién es entonces la responsabilidad de producir los cambios? En general, la política agrícola es contraria a los métodos ecológicos y a

duced use of insecticides and increased use of biological and agricultural means for controlling pests. If the objectives of ecological farming are, in general terms: 1) maintain productive litter, 2) ensure safe and healthy food, 3) reduce the use of pesticides and chemical fertilizers, and 4) maintain the economic viability of production (Queitsch, 2000), then how can sustainable policies be established despite the interests of groups with particular interests?

Today, in an attempt to correct the practices of the past, various options have been adopted to improve farming: in strips, crop rotation, terracing, use of less heavy machinery and a reduction or suspension of the use of chemical agents. Also, a small but growing number of farmers experience and refine, on their own initiative, alternative production systems (TRAGSA Group, 2003). But in addition, a vigorous impetus to switch to sustainable organic farming comes from consumers, who for various reasons seek food so cultivated. Such demand provides an economic incentive for increasingly more farmers to adopt sustainable agricultural methods, and although the availability of their products is limited to the local market, they restore confidence to the relationship between the consumer, the producer and the land.

**Traditional management of arid environments.** Despite the harshness of arid environments, there are human populations accustomed to living in them. The inhabitants have learned to manage their characteristics and resources; they have easily cultivated shallow soils and, although they are deficient in some nutrients, have abundant inorganic elements; there are conditions for rapid crop development, good harvests and good fodder during periods of rain. Therefore, farmers and pastoralists practice strategies designed to minimize the risks of drought, disease and over-exploitation of the land.

Rain-fed agriculture is concentrated in the best soils, in areas where rain falls regularly and in reasonable amounts or in high humidity areas such as deep alluvial soils, which receive soil and nutrients during the annual floods. In cultivated areas, farmers have learned to choose drought-resistant crops and grow varieties that reduce the risk of crop failure. The long fallow period could be used to allow regeneration of soil while small-scale grazing reduces the risk of erosion of vegetation cover.

**Political and economic pressure.** Desertification oppressively adds to the problem of development in countries under considerable political and economic pressure. In underdeveloped countries, there are usually situations in which the farming sector is subjected to oppression. Some of them are: artificially maintaining low prices for food produced by farmers; often, the agricultural sector is required to pay high taxes; the agricultural sector is deprived, ever more markedly, of resources from the central government and yet high production is still expected from it. Therefore, to obtain a



la adopción de sistemas de cultivo sustentables, en particular los que se fundan en la rotación de cultivos, prácticas de conservación del suelo, reducción del uso de insecticidas y el aumento en la utilización de medios biológicos y agrícolas para el control de plagas. Si los objetivos de la agricultura ecológica son, en términos generales: 1) mantener un mantillo productivo, 2) que los alimentos estén asegurados y sean saludables, 3) reducir el uso de pesticidas y fertilizantes químicos, y 4) conservar la viabilidad económica de la producción (Queitsch, 2000); entonces, ¿cómo establecer políticas sustentables a pesar de los intereses de los grupos con intereses particulares?

En la actualidad, para intentar corregir las prácticas del pasado, se han adoptado diversas opciones para el cultivo: en franjas, rotación de cultivos, terrazas, uso de maquinaria menos pesada y disminución o suspensión del uso de los agentes químicos. También, un número pequeño pero creciente de agricultores experimentan y perfeccionan, por iniciativa propia, sistemas alternativos de producción (Grupo TRAGSA, 2003). Pero además, un impulso vigoroso para cambiar al cultivo orgánico sustentable proviene de los consumidores, que por diversas razones buscan alimentos así cultivados. Tal demanda brinda un incentivo económico a cada vez más agricultores para que adopten los métodos agrícolas sustentables, aunque su oferta se reduzca al mercado local, pero con la confianza en que restablecen una relación entre el consumidor, el productor y el suelo.

**Manejo tradicional de ambientes áridos.** A pesar de la inclemencia de los ambientes áridos, hay poblaciones humanas habituadas a vivir en ellos. Los habitantes han aprendido a manejar sus características y recursos; poseen suelos someros fácilmente cultivados y, aunque son deficientes en algunos nutrientes, cuentan con elementos inorgánicos abundantes; existen condiciones para un rápido desarrollo de los cultivos, buenas cosechas y buen forraje durante los periodos de lluvia. Por ello, los agricultores y pastores practican estrategias diseñadas para minimizar los riesgos de la sequía, enfermedades y sobreexplotación del campo.

La agricultura de temporal se concentra en los mejores suelos, en áreas donde la lluvia cae en cantidades y regularidad razonables o en áreas de alta humedad como los suelos aluviales profundos, que reciben suelo y nutrientes durante las inundaciones anuales. En las áreas cultivadas, los agricultores han aprendido a elegir cosechas resistentes a la sequía y cultivar variedades que reduzcan el riesgo de cosechas malogradas. El largo periodo de barbecho podría ser usado para permitir la regeneración del suelo mientras que el pastoreo que realizan a pequeña escala reduce los riesgos de erosión de la cubierta vegetal.

**Presión política y económica.** La desertificación se suma opresivamente al problema del desarrollo en aquellos países sometidos a considerables presiones políticas y económicas. En los países atrasados, generalmente existen situaciones

higher income it is common practice to engage in the most profitable form of agriculture possible.

Continuous monoculture, for example of cotton and other crops, has a negative effect on soil fertility, a process that is worsened by the use of inorganic fertilizers, which are not always effective. Moreover, monoculture significantly increases susceptibility to pests. Similarly, grazing has been confined to certain areas, at the cost of abandoning traditional pastoralism, the consequent overgrazing on resources and future degradation. Added to this, political and ethnic conflicts set the stage for the most dramatic rupture and breakdown of rural communities and their environment. The imposition of inappropriate political systems in developing countries leads to many internal conflicts (Reynolds et al., 2006).

### Desertification control

As described, desertification is a complex process that depends on a great number of interrelated factors. Among the most important are: a) soil properties, b) weather conditions, c) the terrain of the area, d) the plant layer, e) the direction and degree of influence of human activity on nature, which is summarized in terms of its use, f) agricultural crops and production practices in general. Therefore, measures to minimize the dangers of desertification should include, in accordance with Agenda 21 (INCD, 1994b), the following mechanisms:

**1. Assessment of desertification and improving land management and use.** a) Quantify in the country the magnitude and extent of desertification, identifying its causes and effects through dynamic monitoring of drylands. Introduce ecological methods of land use and management in the affected areas. b) Induce comprehensive public participation to prevent and combat desertification.

**2. Corrective measures against desertification.** a) Introduce techniques for water management. b) Improve farming with the use and management of fertilizers and traditional terraces to stabilize the soil and improve its retention. c) Determine priorities in each country for the development of irrigated agriculture. d) Restore and maintain vegetation cover to stabilize and protect the soil. e) Conserve flora and fauna in areas subject to desertification.

**3. Socio-economic recommendations.** a) Analyze and evaluate the political and economic factors in areas affected by desertification, nationally, regionally and internationally. b) Minimize energy demand and make use of solar and wind energy.

**4. Science and technology.** a) Generate technology that can be adapted to local conditions. b) Use energy sources that can be protected. c) Establish plantations of woody species. d) Use of wind and solar power, and provision of coal and oil for organic costs. e) Disseminate information on desertifica-

que se caracterizan por la opresión a la que se somete al sector agropecuario. Algunas de ellas son: mantenimiento artificial de precios bajos a los alimentos producidos por los campesinos; a menudo, al sector agrícola se le exigen altos impuestos; al sector agrario se le priva, cada vez en forma más acentuada, de recursos provenientes del gobierno central y todavía se espera una producción alta. Por tal motivo, para obtener mejores ingresos es una práctica común ejercer una agricultura que sea lo más redituable posible.

El monocultivo continuo, como el algodón y otros, tiene un efecto negativo sobre la fertilidad del suelo, proceso que es atenuado con el uso de fertilizantes inorgánicos, no siempre eficaces; por lo demás, el monocultivo incrementa significativamente la susceptibilidad a las plagas. Del mismo modo, el pastoreo ha sido confinado a ciertas áreas, a costa del abandono del pastoreo tradicional, el consecuente sobrepastoreo sobre los recursos y la futura degradación. Aunado a esto, los conflictos políticos e interétnicos son el escenario de la ruptura más dramática y resquebrajamiento de las comunidades rurales y su medio ambiente. La imposición de sistemas políticos inapropiados a países en proceso de desarrollo presenta muchos conflictos internos (Reynolds et al., 2006).

### Control de la desertificación

Como se ha descrito, la desertificación es un proceso complejo que depende de un gran número de factores interrelacionados. Entre los más importantes se encuentran: a) las propiedades del suelo, b) las condiciones climáticas, c) el relieve del lugar, d) la capa vegetal, e) la dirección y el grado de influencia de la actividad humana sobre la naturaleza, la cual se resume en el plano de su utilización, f) los cultivos agrícolas y en general las prácticas productivas. Por tanto, las medidas tendientes a minimizar los peligros de la desertificación deberían incluir, de acuerdo con la Agenda 21 (INCD, 1994b), los siguientes mecanismos:

**1. Evaluación de la desertificación y mejoramiento del manejo y uso del suelo.** a) Cuantificar en el país la magnitud y extensión de la desertificación, sus causas y efectos a través de monitoreos dinámicos de tierras áridas. Introducir métodos ecológicos de uso y manejo en las áreas afectadas. b) Inducir la participación pública integral para prevenir y combatir la desertificación.

**2. Medidas correctivas contra la desertificación.** a) Introducir técnicas para el manejo del agua. b) Mejorar la agricultura con el uso y manejo de fertilizantes y terrazas tradicionales, para la estabilización de los suelos y mejora de su retención. c) Determinar en cada país las prioridades para el desarrollo de agricultura de riego. d) Restaurar y mantener la cubierta vegetal para estabilizar y proteger el suelo. e) Conservar la flora y la fauna en áreas sujetas a desertificación.

**3. Recomendaciones socio-económicas.** a) Analizar y evaluar los factores políticos y económicos en las áreas afecta-

tion. There are two strategies for soil and natural resources conservation: a) identify and isolate areas susceptible to desertification and adjust land use in areas that are kept as reserves, and b) the susceptibility to desertification can be accepted but minimized through engineering controls, crop choices and other procedures. Figure 5 shows what can be the basic answer for controlling desertification.

**5. Integration of development plans.** In the document "Sustainable development of drylands and the fight against desertification", FAO (1998) presents its position on the issue and proposes five principles for development in arid, semiarid and subhumid lands threatened by desertification, from an inclusive and participatory approach:

a) Integration. It involves associating short-term needs such as food, health, education and income, with medium-and long-term ones, including protection, rehabilitation and assessment of available resources.

b) Consultation. It relies on the participation of the population and is exercised at various levels: with the local community around its own projects; among the communities themselves, to add capabilities in the common area, usually a watershed; with communities and regional or national institutions and, finally, through consultation between the implementing and development aid agencies themselves.

c) Planned geographic focus. The main instrument is regional land planning, considering conflict resolution of resource usage and interests at the community level and also connections with the national policy for the management and preservation of the natural environment.

d) Decentralization of decision-making and means of action. The base organization occurs in the rural community. At the regional level, technical and management functions, as well as those of consultation and decision-making, are exercised. At the national level, a coordination center supervises and stimulates the response of the national public service to local and regional initiatives, coordinates and integrates national decisions and promotes the necessary support actions.

e) Duration and flexibility of aid. This means that governments and donors commit to continue providing financial support to reach a stage of maturity. The flexibility means adapting the technical and financial support to changing local needs and possibilities.

The wars against desertification and poverty are often the same as the fight for sustainable development in arid, semi-arid and subhumid areas. It must also be understood as a battle in the political arena. Rural populations must have a legal, legislative, social and economic environment, which is both sensitive and supportive, for efforts aimed at sustainable development. Programs to combat desertification could, if possible, be made in accordance with broad guide-

das por la desertificación, a nivel nacional, regional e internacional. b) Minimizar la demanda de energía y hacer uso de la energía solar y eólica.

**4. Ciencia y tecnología.** a) Generar tecnología que pueda ser adaptada en condiciones locales. b) Emplear fuentes de energía que puedan ser protegidas. c) Establecer plantaciones de especies leñosas. d) Utilizar la energía del viento y del sol, provisión de carbón y aceite para gastos orgánicos. e) Difundir información sobre la desertificación. Existen dos estrategias para la conservación del suelo y los recursos naturales: a) identificar y aislar las áreas susceptibles a la desertificación y ajustar el uso de la tierra en áreas que sean conservadas como reservas, y b) la susceptibilidad a la desertificación puede ser aceptada pero minimizada a través de controles mecánicos, opciones de cosechas y otros procedimientos. En la Figura 5 se muestra cuál puede ser la respuesta básica para controlar la desertificación.

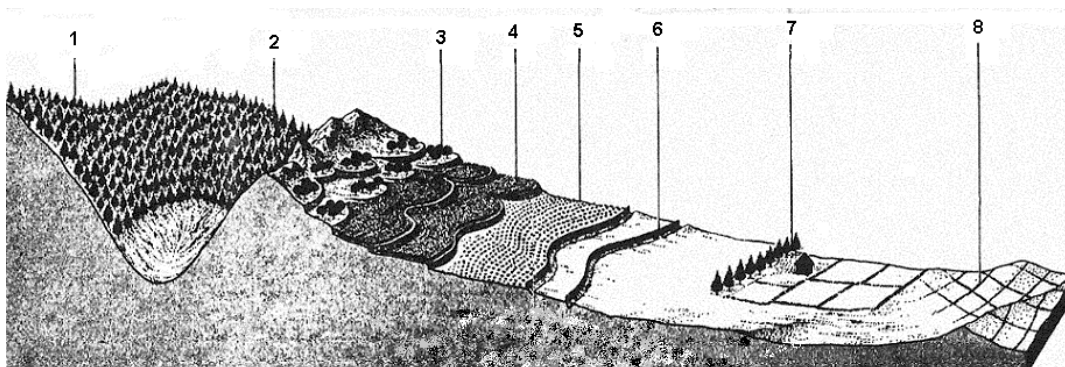


FIGURA 5. Representación esquemática de ocho medidas tendientes a prevenir y controlar la desertificación: 1) proyectos de reforestación, 2) plantación de árboles en las cañadas, 3) cultivo de árboles en terrazas, 4) construcción de terrazas en las pendientes pronunciadas, 5) cultivo en curvas de nivel, 6) construcción de camellones para controlar la escorrentía de las aguas superficiales, 7) plantación de cinturones protectores y barreras contravientos, 8) estabilización de las dunas de arena (FAO, 1993).

FIGURE 5. Schematic representation of eight measures to prevent and control desertification: 1) reforestation projects, 2) planting trees in the glens, 3) growing trees on terraces, 4) construction of terraces on steep slopes, 5) contour cultivation, 6) ridging to control surface water runoff, 7) planting shelterbelts and windbreak barriers, 8) stabilization of sand dunes (FAO, 1993).

**5. Integración de planes de desarrollo.** En el documento “Desarrollo sostenible de tierras áridas y lucha contra la desertificación”, la FAO (1998) puntualiza su posición sobre el tema y plantea cinco principios para el desarrollo en las zonas áridas, semiáridas o subhúmedas amenazadas por la desertificación, desde un enfoque global y participativo:

a) Integración. Implica asociar las necesidades de corto plazo, como la alimentación, salud, educación e ingresos, con las de medio y largo plazo, que incluyen defensa, rehabilitación y valoración de los recursos disponibles.

b) Concertación. Se apoya en la participación de la población y se ejerce a varios niveles: con la comunidad local, en torno a sus propios proyectos; con las comunidades entre sí, para sumar capacidades en el espacio común, generalmente una cuenca

lines of national development plans.

In Mexico, the processes of desertification/land degradation are manifested in: 1) degradation of vegetation cover (deforestation, overgrazing, logging, fire, firewood cutting and others), 2) water erosion (1 cm thick soil equivalent to 100-150 t·ha<sup>-1</sup>), 3) wind erosion, 4) salinization, 5) compaction, crusting and outcropping of subsurface horizons, 6) decrease in organic matter (millions of hectares of land devoted to agricultural production have less than 1%), 7) nutrient loss, 8) accumulation of toxic substances, and 9) drought, which together constitute a process that affects more than 70% of the country (Anaya & Rodríguez, 1993). However, although it has indigenous, traditional and modern technology to make all these processes reversible, at least four decades are required for the speed of degradation to equal that of the recovery and rehabilitation of degraded ecosystems. Desertification processes are evaluated by considering their

hidrográfica; con las comunidades e instituciones regionales o nacionales y, finalmente, por medio de la concertación entre los propios organismos de ejecución y de ayuda al desarrollo.

c) Enfoque geográfico planificado. El instrumento fundamental es la ordenación del territorio regional, considerando la resolución de conflictos de uso de recursos e intereses en el plano comunitario y, asimismo, las correspondencias con la política nacional de ordenamiento y preservación del medio natural.

d) Descentralización de decisiones y de medios de acción. La organización base ocurre en la comunidad rural. En el ámbito regional se ejercen funciones técnicas y de gestión, así como, de concertación y de decisión. En el plano nacional, un centro de coordinación supervisa y estimula la respuesta del servicio público nacional a las iniciativas locales y regionales, coordina e integra las decisiones nacionales y promueve las acciones de apoyo necesarias.

e) Duración y flexibilidad de la ayuda. Esto significa que los gobiernos y donantes se comprometan a seguir prestando su apoyo financiero hasta alcanzar una etapa de maduración. La flexibilidad implica la adaptación del apoyo técnico y financiero a las cambiantes necesidades y posibilidades locales.

Las luchas contra la desertificación y la pobreza son con frecuencia una misma lucha en la que plantean el desarrollo sostenible de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas. Deben entenderse también como una batalla en el plano político. Las poblaciones rurales deben disponer de un entorno jurídico, legislativo, social y económico, sensible y propicio, para las iniciativas encaminadas hacia la sostenibilidad del desarrollo. Los programas para combatir la desertificación podrían, de ser posible, estar formulados de acuerdo con amplias guías de planes de desarrollo nacional.

En México, los procesos de la desertificación/degradación de la tierra se manifiestan en: 1) degradación de la cubierta vegetal (deforestación, sobrepastoreo, talas, incendios, cortes de leña y otros), 2) erosión hídrica (1 cm de espesor de suelo equivale a 100-150 t·ha<sup>-1</sup>), 3) erosión eólica, 4) enalitramiento, 5) compactación, encostramiento y afloramiento de horizontes subsuperficiales, 6) disminución de la materia orgánica (millones de hectáreas de suelos dedicados a la producción agropecuaria tienen menos de 1 %), 7) pérdida de nutrientes, 8) acumulación de sustancias tóxicas, y 9) sequía, que en conjunto constituyen un proceso que afecta a más del 70 % del territorio nacional (Anaya & Rodríguez, 1993). Sin embargo, aunque se cuenta con tecnología autóctona, tradicional y moderna para hacer reversibles todos estos procesos, se requieren cuando menos cuatro décadas para que la velocidad de la degradación sea igual a la de recuperación y rehabilitación de ecosistemas degradados. Los procesos de la desertificación se evalúan al considerar su estado actual, la velocidad con que ocurren los procesos de degradación, y el riesgo potencial por la susceptibilidad que tiene una localidad para ser degradada por un determinado proceso. Además, se debe considerar que

and sanitation measures.

From a technological standpoint, the FAO (1998) believes that all land is useable by humans to the extent that the use is based on the potential of the site according to its current condition. This way desertification can be fought in the long run, through agroforestry production or wildland management. The important factor is that the management of arid and semiarid zones is performed from a sustainable development approach, which means that the technologies used are environmentally non-degrading, technically appropriate, economically viable and socially acceptable.

## CONCLUSIONS

Desertification is increasing worldwide and the predominant cause appears to be human activity, rather than environmental conditions, causing changes in the use of natural resources and water. The Global Plan of Action proposed in 1977 to prevent and combat this phenomenon had very limited success because it focused on the physical environment and took no account of socioeconomic factors or population growth. Also, although measures have been taken such as the development of agroforestry, the achievements have been overwhelmed by the scale of destruction, as two or three times more land has been degraded than has been protected or restored. Given this, actions should be considered at the same time to stop desertification, making it possible to improve the living conditions of those who inhabit these regions. Thus, rural communities could maximize the production from their land, because although the difficulties faced in arid zones are known and although many communities migrate in times of drought to wetter regions, they also show persistence to reintegrate into the life in these regions.

### *End of English Version*

el problema no es de tipo tecnológico sino de carácter económico-social. Ante esto, para lograr la prevención y control de la desertificación, los programas y proyectos deberán conjugar la voluntad y decisión política; elaborar planes rectores a escala nacional, estatal y municipal; aplicar la legislación; así como contar con una normatividad y organización específicas que contemplen el financiamiento de las acciones (Anaya, 2002). Algunos de los desafíos en el manejo sustentable de los ecosistemas desérticos consisten en detener o impedir la desertificación en áreas poco degradadas o en buen estado mediante medidas preventivas, restaurar la productividad de las tierras medianamente degradadas con medidas correctivas y recuperar la productividad de áreas extremadamente degradadas con medidas de rehabilitación y saneamiento.

Desde el punto de vista tecnológico, la FAO (1998) considera que todos los terrenos son utilizables por el hombre en la medida que el aprovechamiento esté basado en la potencialidad de los sitios de acuerdo con su condición actual. De esta ma-

nera puede combatirse la desertificación en el largo plazo, por medio de la producción silvoagropecuaria o del manejo de áreas silvestres. Lo importante es que el manejo de las zonas áridas y semiáridas se realice desde un enfoque de desarrollo sostenible, lo que significa que las tecnologías aplicadas sean ambientalmente no degradantes, técnicamente apropiadas, económicamente viables y socialmente aceptables.

## CONCLUSIONES

La desertificación está en aumento a nivel mundial y la causa predominante parece ser la actividad humana, más que las condiciones ambientales, provocando cambios en el uso de los recursos naturales y del agua. El Plan Mundial de Acción propuesto en 1977 para prevenir y combatir este fenómeno, tuvo un éxito muy limitado porque se centraba en el entorno físico y no tenía en cuenta los factores socioeconómicos o de crecimiento de la población. Asimismo, aunque se han emprendido medidas como el desarrollo de la agrosilvicultura, los logros han sido superados por la magnitud de la destrucción, pues se ha degradado dos o tres veces más tierra de la que se ha protegido o rehabilitado. Ante esto, deben considerarse acciones que, al mismo tiempo que detengan la desertificación, hagan posible el mejoramiento de las condiciones de vida de quienes habitan esas regiones. De esta forma, las comunidades rurales podrían maximizar la producción de sus tierras, pues aunque se conocen las dificultades que enfrentan en las zonas áridas y a pesar de que muchas comunidades emigran en tiempos de sequía hacia regiones más húmedas, también muestran persistencia para reintegrarse a la vida en esas regiones.

## REFERENCIAS

- Anaya, G. M., & Rodríguez, C. R. (1993). *Aspectos técnicos relevantes para las negociaciones de la Convención Internacional para Combatir la Desertificación en América Latina y el Caribe*. México, D.F.: PNUMA.
- Anaya, G. M. (2002). Desertificación en América Latina y el Caribe: Estrategias para su prevención y control. In 2º Simposio Internacional sobre Degradación del Suelo (pp. 19–28). Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Boer, M. M. (1999). *Assessment of dryland degradation: Linking theory and practice through site water balance modelling*. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University.
- Boyko, H. (1966). *Salinity and aridity: New approaches to old problems*. The Hague, The Netherlands: W. Junk
- Chapela, G. (2003). Armonización de políticas en la lucha contra la desertificación: El caso de México. In J. L. Mérega (Ed.), *Desertificación y sociedad civil*. Buenos Aires, Argentina: Fundación del Sur y Mecanismo Mundial de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación.
- Charney, J. G. (1975). Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101(428), 193–202. doi: 10.1002/qj.49710142802
- Charney, J., Stone, P. H., & Quirk, W. J. (1975) Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 187, 434–435, doi: 10.1126/science.187.4175.434.
- Colomer, M. J. C., & Sánchez, J. D. (2000). Agricultura y procesos de degradación del suelo. In M. S. Olalla (Ed.), *Agricultura y desertificación* (pp. 109–131). Madrid, España: Universidad de Castilla-La Mancha-Instituto de Desarrollo Regional-Ediciones Mundi-Prensa.
- DeBuys, W., & Myers, J. (1999). *Salt dreams: Land and water in low-down California, USA*: University of New Mexico Press.
- Dregne, H. E. (1983). *Desertification of arid lands*. New York, USA: Harwood Academic Publishers.
- Ferrandis, G. P., & Martínez, J. J. S. (2000). Diversidad biológica y desertificación. In M. S. Olalla (Ed.), *Agricultura y Desertificación* (pp. 177–193). Madrid, España: Universidad de Castilla-La Mancha-Instituto de Desarrollo Regional-Ediciones Mundi-Prensa.
- García, M. J. S. (2000). El papel de la población en el proceso de la desertificación. In M. S. Olalla (Ed.), *Agricultura y desertificación* (pp. 69–86). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Godínez, Á. H. (1998). Los desiertos mexicanos, sus características e importancia. *Ciencia y Desarrollo*, 143, 16–22.
- Grupo TRAGSA. (2003). *La Ingeniería en los procesos de desertificación*. Madrid, España: Ed. Mundi Prensa.
- Havastad, K. M., Huenneke, L. F., & Schlesinger, W. H. (2006). *Structure and function of a Chihuahuan Desert ecosystem. The jornada basin long-term ecological research site*. New York, USA: Oxford University Press.
- Hernández-García, M. A., Granados-Sánchez, D., & Sánchez-González, A. (2003). Productividad de los ecosistemas en las regiones áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 113–123. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=62913142002>
- Hernández, M. H. (2006). *La vida en los desiertos mexicanos*. México: FCE, SEP, CONACYT, CAB.
- Ibáñez, J. J., González, J. L. R., García A. A., & Saldaña A. (1997). Los geosistemas mediterráneos en el espacio y en el tiempo. In J. J. Ibáñez, B. L. V., Garcés, & C. Machado (Eds.), *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación* (pp. 27–130). Logroño, España: Geoforma Ediciones.
- Intergovernmental Negotiating Committee for the elaboration of an International Convention to Combat Desertification (INCD). (1994a). *Agenda 21. Herat Summit. United Nations Conference on Environment and Development*. Rio de Janeiro, Brazil: Autor.
- Intergovernmental Negotiating Committee for the elaboration of an International Convention to Combat Desertification (INCD). (1994b). *Experiencing serious drought and/or desertification. Draft final negotiating text of the Convention. United Nations*. Paris, France: Autor.
- López, B. F. (1996). La degradación de tierras en ambientes áridos y semiáridos. Causas y consecuencias. In T. Lasanta, & J. M. García-Ruiz (Eds.), *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales* (pp. 51–72). Logroño, España: Geoforma Ediciones.
- Middleton, N., & Thomas D. S. G. (1997). *World atlas of*

- desertification (2nd ed.) Egham, UK: Arnold.
- Molinero, F. (1990). *Los espacios rurales. Agricultura y sociedad en el mundo*. Barcelona, España: Editorial Ariel, S. A.
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1993). *Desarrollo sostenible de tierras áridas y lucha contra la desertificación*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1998). *Lucha contra la desertificación: Conservación y desarrollo de los recursos de las tierras áridas*. Roma, Italia: Autor.
- Ortiz, S. M. L. (1993). *Distribución y extensión de los suelos afectados por sales en México y en el mundo*. Chapingo, México: Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo.
- Ortiz, S. M. L., & Estrada, B. W. J. (1993). *Evaluación y cartografía de la erosión eólica en la República Mexicana*. Montecillo, México: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados.
- Queitsch, K. J. (2000). *Sociedad, desarrollo y medio ambiente*. Chapingo, México: Departamento de Sociología Rural, Universidad Autónoma Chapingo.
- Reynolds, J. F., Kemp P. R., Ogle K., Fernández, R. J., Gao, Q., & Wu, J (2006). Modeling the unique attributes of arid ecosystems: Lessons from the jornada basin. In K. M. Havastad, L. F. Huenneke, & W. H. Schlesinger (Eds.), *Structure and function of a Chihuahuan Desert ecosystem. The Jornada basin long-term ecological research site* (pp. 321–353). New York, USA: Oxford University Press.
- Rowntree, P. R. (1991). Atmospheric parameterization schemes for evaporation over land: Basic concepts and climate modeling aspects. In T. Schmugge, & J. C. André (Eds.), *Land surface evaporation: Measurement and parameterization*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Schulze, E. D., Beck, E., & Müller-Hohenstein, K. (2005). *Plant ecology*. Berlin, Germany: Springer Verlag.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1994). *Inventario nacional forestal periódico, 1992-1994*. México, D.F.: Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, SARH.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). (1996). *Programa forestal y de suelo 1995-2000*. México, D.F.: Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) .(1998). *Diagnóstico de la deforestación en México*. México, D.F: Subsecretaría de Recursos Naturales, Dirección General Forestal, Unidad del Inventario Nacional de Recursos Naturales.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1997). *Estadísticas del medio ambiente, México: Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1995-1996*. Aguascalientes, México: INEGI
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2003). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales 2002*. México: Autor.
- Thomas, D. S. G., & Middleton, N. J. (1994). *Desertification exploding the myth*. Chichester, England: J. Wiley and Sons.
- United Nations Conference on Desertification (UNCOD). (1977). *Desertification its causes and consequences. U. N. Conference on Desertification. Nairobi, Kenya*. New York. USA: Pergamon Press.
- United Nations Environmental Programs (UNEP). (1992). *Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification*. USA: United Nations Environment Programme.
- Walker, J. M., & Rowntree, R. (1977). The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(435), 29–46. doi: 10.1002/qj.49710343503
- Wallace, J. S. (1994). Procesos hidrológicos y degradación de las tierras secas. *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, 43(1), 22–28.