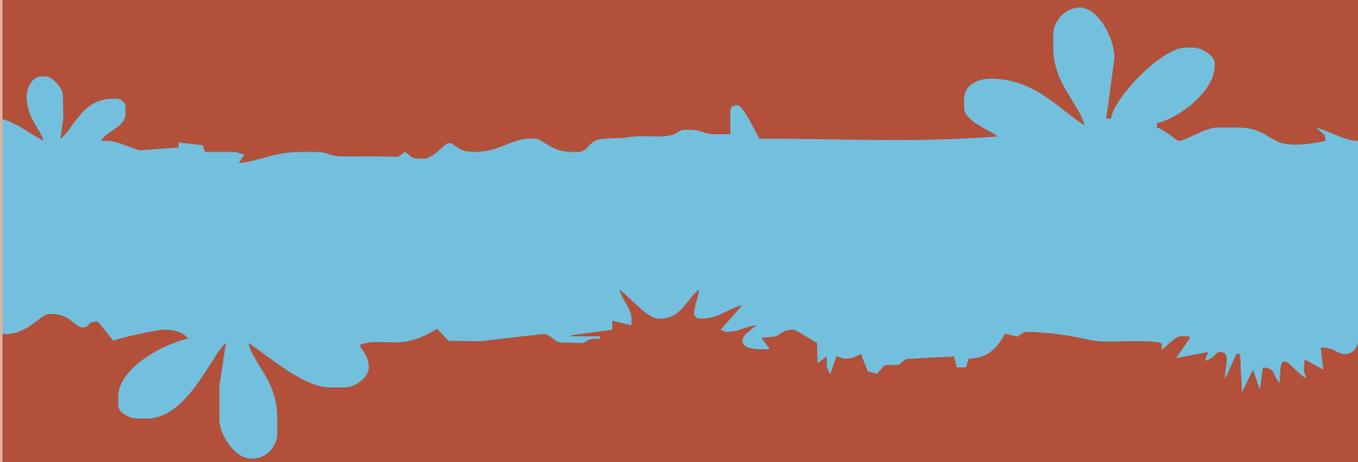


## Capítulo 3. Suelos





## Suelos

México es un país con una compleja topografía producto, en buena parte, de una intensa actividad volcánica ocurrida durante el Cenozoico; tiene un gradiente altitudinal que va de los cero a los 5 000 metros sobre el nivel del mar, presenta cuatro de los cinco grandes tipos de climas reconocidos por la clasificación de Köppen<sup>1</sup>; una enorme

diversidad paisajística y de tipos de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas). Todos estos elementos ayudan a explicar la gran diversidad de suelos que existen en el país, la cual también forma parte de la megadiversidad nacional (ver los Recuadros *¿Qué es el suelo y cómo se forma?* y *Los servicios ambientales del suelo*).

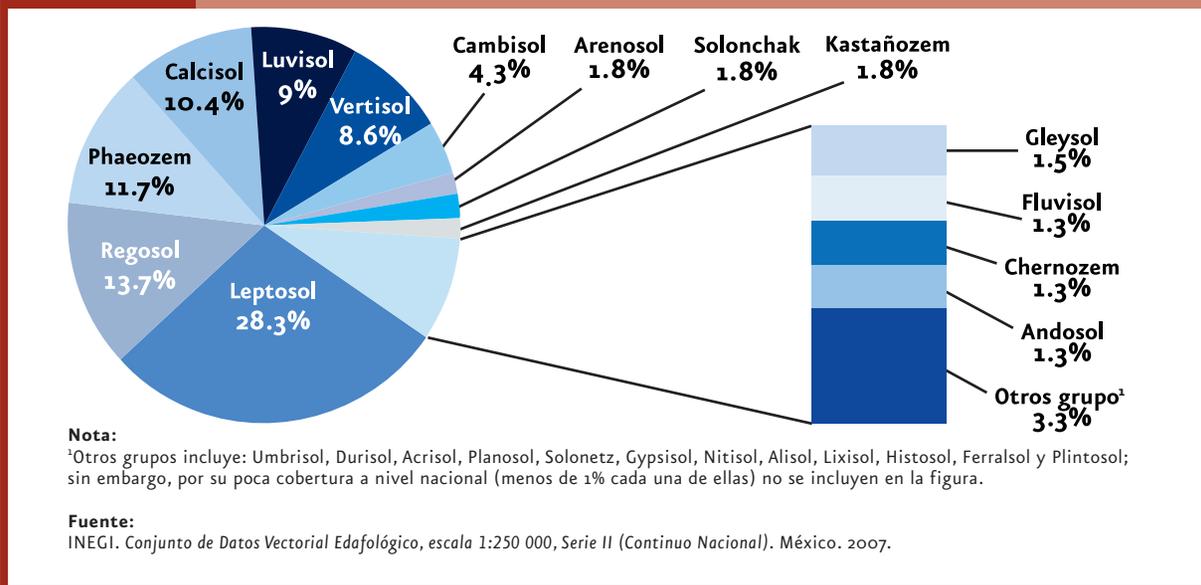
### SUELOS DE MÉXICO

De acuerdo con el INEGI (2007), en México existen 26 de los 30 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-ISSS, 1998); siendo

**En México existen 26 de los 30 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-ISSS, 1998).**

los dominantes los Leptosoles (28.3% del territorio), Regosoles (13.7%), Phaeozems (11.7%), Calcisoles (10.4%), Luvisoles (9%) y Vertisoles (8.6%), que en suma cubren 81.7% del país (Figura 3.1).

**Figura 3.1** Superficie relativa cubierta por los principales grupos de suelo en México, 2007



<sup>1</sup>Según la modificación de García (1988).

La definición del suelo depende del área de interés. Desde una visión geotécnica, el suelo es el material sin consolidar que se encuentra sobre el lecho rocoso. La ingeniería civil complementa este concepto señalando que el suelo es un material en el cual se puede excavar, y que dicha propiedad se relaciona directamente con la obra que se va a construir sobre él o con él.

Desde el punto de vista agrícola, el suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra y que es explotada por las raíces de las plantas y a partir de la cual obtienen sostén, nutrimentos y agua. Desde una perspectiva ambiental, este concepto simple ha evolucionado hasta reconocer su papel fundamental en todos los procesos ecosistémicos, debido a las funciones y servicios que realiza, tales como la regulación y la distribución del flujo de agua o como amortiguador de los efectos de diversos contaminantes.

A partir de su origen y de los factores ambientales, la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés), lo define como la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota, material parental y tiempo) y que debido a la interacción de éstos, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó. Por ello, el suelo ya no es roca ni sedimento geológico, sino un producto proveniente de las alteraciones e interacciones que experimentan estos materiales (Sumner, 2000).

El proceso de formación del suelo comienza con la desintegración de la roca madre que está expuesta en la superficie de la corteza terrestre a partir del rompimiento físico y químico ocasionado por las lluvias, el viento, la exposición al sol y la actividad mecánico-biológica de raíces de las plantas. En el caso de la actividad biológica, las cianobacterias y los líquenes son los primeros colonizadores del sustrato rocoso, ya que liberan ácidos orgánicos débiles, como el ácido carbónico, que disuelve lentamente la roca madre. Después, el efecto mecánico del crecimiento de las raíces acelera la ruptura de las rocas, además de que la presencia de las plantas permite una gran actividad de micro y meso organismos y la acumulación de materia orgánica en diferentes estados de descomposición, la cual también contribuye a la formación del suelo.

Aunque el suelo siempre está en formación, el proceso es sumamente lento. Se calcula que para tener un centímetro de suelo en la capa superficial son necesarios entre 100 y 400 años, por lo cual se considera que el suelo es un recurso natural no renovable en la escala de tiempo humana.

#### Referencias:

Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, y J. Etchevers-Barra. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620. 2002.

SSSA. *Glossary of Soil Science Terms*. Disponible en: [www.soils.org/sssagloss/index.php](http://www.soils.org/sssagloss/index.php) Fecha de consulta: 14-10-2008.

Sumner, M.E. *Handbook of Soil Science*. CRC Press. EU. 2000.

Los servicios ambientales son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas. Se dividen en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo, al formar parte de los ecosistemas, contribuye de manera sustancial a la provisión de servicios ambientales indispensables para el sustento de la humanidad.

Los servicios de **soporte** que se obtienen del suelo se relacionan en gran parte con su propia heterogeneidad. Los agregados proveen una gran variedad de microambientes para las bacterias, protozoarios, artrópodos y nematodos que están involucrados en el reciclaje de la materia orgánica y en la continuidad de los principales ciclos biogeoquímicos. En el suelo se fija el nitrógeno atmosférico utilizado por las plantas y también es uno de los principales reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres. Los suelos contienen mucho más carbono que el que se encuentra contenido en la vegetación y dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera (FAO, 2004). Este “secuestro” de carbono en el suelo reduce su liberación a la atmósfera como CO<sub>2</sub>, uno de los principales gases de efecto invernadero.

Dentro de los servicios de **regulación** está la capacidad de amortiguamiento al filtrar, desactivar o retener compuestos potencialmente tóxicos que pudieran llegar a las aguas subterráneas o afectar las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos. En el suelo se pueden degradar o desactivar estos compuestos a través de la actividad microbiana y las interacciones químicas entre las partículas de arcilla y materia orgánica. También interviene en

la regulación climática por la capacidad de infiltración y evaporación de agua y por la absorción de la radiación solar de onda corta, así como su posterior reemisión en forma de onda larga o por corrientes de convección, que producen el calentamiento de la atmósfera.

Los servicios de **provisión** que se obtienen del suelo son la producción de biomasa vegetal (alimentos) para el consumo humano y animal o para la producción de textiles; genes o información genética utilizados en el desarrollo biotecnológico, en el control de los patógenos o para promover el crecimiento vegetal. Además, en el suelo se encuentran materiales de construcción como arenas, gravas y arcillas, y otros materiales como piedras y metales preciosos.

Finalmente, dentro de los servicios ambientales de orden **cultural** que se obtienen del suelo, está el servir de sostén físico de la infraestructura terrestre utilizada o construida por las sociedades humanas, como son las estructuras de uso industrial, doméstico, recreación y demás actividades socioeconómicas. También el suelo representa el sitio de resguardo de vestigios antropológicos y arqueológicos que permiten la reconstrucción y preservación de la historia de la humanidad.

#### Referencias:

FAO. *Carbon sequestration in dryland soils*. World Soils Resources Reports. No. 102. FAO. Rome. 2004. Disponible en: [www.fao.org/docrep/007/y5738e/y5738e00.htm](http://www.fao.org/docrep/007/y5738e/y5738e00.htm) Fecha de consulta: 25-09-2008.

MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends* Volume 1. Chapter 22. Dryland Systems. USA. 2005.

El 52.4% del territorio nacional está cubierto por suelos someros y poco desarrollados: Leptosoles (54.3 millones de hectáreas), Regosoles (26.3 millones de hectáreas) y Calcisoles (20 millones de ha), lo cual dificulta su aprovechamiento agrícola y aumenta su vulnerabilidad. Los suelos con mayor fertilidad (Phaeozems, Luvisoles, y Vertisoles; 22.5, 17.3 y 16.5 millones de hectáreas, respectivamente) cubren en conjunto 29.4% del país (Figura 3.1; Mapa 3.1). En el resto del territorio (35 millones de hectáreas) se presenta una alta diversidad edáfica, encontrándose los otros 20 grupos distribuidos en un gran número de microrelieves, microclimas y tipos de vegetación (*Cuadro D3\_SUELO01\_01*).

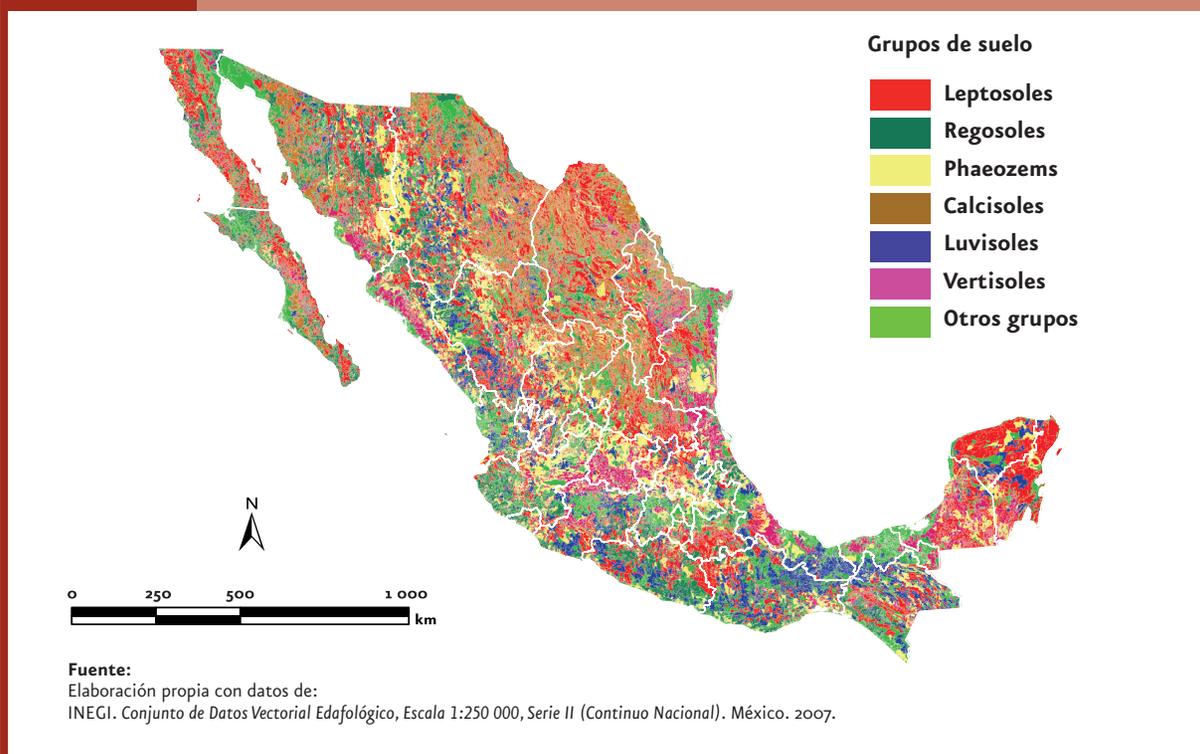
Los Leptosoles (del griego *leptos*, delgado), también conocidos en otras clasificaciones como Litosoles y Redzinas, son suelos muy delgados, pedregosos y poco desarrollados que pueden contener una gran cantidad de material calcáreo. Son los suelos de más amplia distribución a nivel mundial (mil 655 millones de hectáreas; FAO-

ISRIC-ITC, 2001) asociados a sitios de compleja orografía, lo que explica su amplia distribución en México. Estos suelos se encuentran en todos los tipos climáticos (secos, templados, húmedos), y son particularmente comunes en las zonas montañosas y en regiones altamente erosionadas. Su potencial agrícola está limitado por su poca profundidad y alta pedregosidad, lo que los hace difíciles de trabajar. Aunado a ello, el calcio que contienen puede inmovilizar los nutrientes minerales, por lo que es preferible mantenerlos con la vegetación original, o bien, utilizar técnicas agrícolas apropiadas para estas condiciones.

En México, los Leptosoles son comunes en la Sierra Madre Oriental, la Occidental y la del Sur, las Penínsulas de Yucatán y Baja California y una vasta región del Desierto Chihuahuense. Particularmente, en la Península de Yucatán, los Leptosoles tienen una capa superficial rica en materia orgánica que les confiere un mayor potencial de aprovechamiento agrícola.

**Mapa 3.1**

**Principales grupos de suelo en México, 2007**



En la categoría de Regosoles (del griego *reghos*, manto) se agrupa a los suelos que no pueden ser clasificados dentro de los grupos reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. En otras clasificaciones se reconocen como Entisoles. En general, son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado<sup>2</sup>, de colores claros y pobres en materia orgánica. Se encuentran en todos los climas, con excepción de zonas de permafrost, y en todas las elevaciones, aunque son particularmente comunes en las regiones áridas, semiáridas (incluyendo los trópicos secos) y montañosas. Muchas veces se asocian con los Leptosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Los Regosoles de zonas áridas tienen escasa vocación agrícola, aunque su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables (FAO, 2001).

A nivel mundial, los Regosoles ocupan alrededor de 260 millones de hectáreas (FAO, 2001). En México, las mayores extensiones se encuentran en la Sierra Madre Occidental y del Sur y en la Península de Baja California. Las variantes más comunes en el territorio son los Regosoles éutricos y calcáricos que se caracterizan por tener una capa conocida como ócrica, que cuando se retira la vegetación, se vuelve dura y costrosa lo que impide la penetración del agua hacia el subsuelo y dificulta el establecimiento de las plantas. Esta combinación (escasa cubierta vegetal y baja infiltración de agua al suelo) favorece la escorrentía superficial, y con ello, la erosión.

Los Phaeozem (del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, tierra) también se forman sobre material no consolidado. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. Son suelos oscuros y ricos en materia orgánica, lo que les confiere un alto potencial agrícola; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus

principales limitantes. Se utilizan intensamente para la producción de granos (soya, trigo y cebada, por ejemplo) y hortalizas, y como zonas de agostadero cuando están cubiertos por pastos. A nivel mundial, ocupan alrededor de 190 millones de hectáreas, de las cuales alrededor de una cuarta parte se encuentra en las pampas argentinas y uruguayas (FAO, 2001). En México, se distribuyen en porciones del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Occidental, la Península de Yucatán, Guanajuato y Querétaro, principalmente.

Los Calcisoles (del latín, *calx*, cal) se conocen en otras clasificaciones como Xerosoles y Yermosoles. Son suelos propios de las zonas áridas y semiáridas en donde la deficiencia de humedad impide el lavado de sustancias solubles como sales y carbonatos, especialmente de calcio, que se acumulan a lo largo de su perfil y forman una capa impermeable conocida como “caliche” u horizonte petrocálcico. En los Calcisoles se desarrollan preferentemente los matorrales xerófilos con arbustos y pastos efímeros. Su potencial agrícola puede ser alto siempre y cuando se cuente con infraestructura de riego, fertilización y un adecuado drenaje que evite la potencial salinización y el encostramiento superficial originado por el arrastre de las sales y los altos índices de evaporación (FAO, 2001).

Es difícil calcular con exactitud la extensión mundial de los Calcisoles debido a que muy comúnmente se encuentran combinados con los Solonchak; sin embargo, su extensión se estima en alrededor de mil millones de hectáreas, principalmente en las regiones áridas, semiáridas y subtropicales de ambos hemisferios. En México, se encuentran en el Desierto Chihuahuense, y en los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas.

Los Luvisoles (del latín *luere*, lavar) son suelos que se encuentran sobre una gran variedad

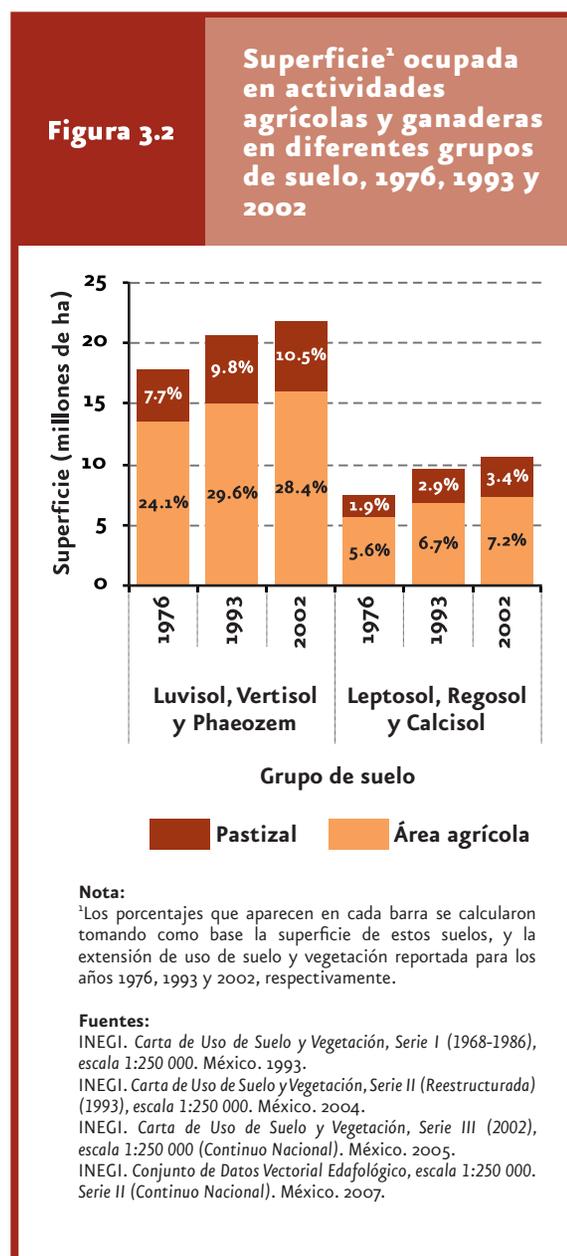
<sup>2</sup>El material no consolidado es un agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.

de materiales no consolidados, tales como las terrazas aluviales o los depósitos glaciales, eólicos, aluviales y coluviales. Son muy comunes en climas templados y fríos o cálidos húmedos con estacionalidad de lluvia y sequía. Se encuentran dentro de los suelos más fértiles, por lo que su uso agrícola es muy elevado y cubre, por lo general, la producción de granos pequeños, forrajes y caña de azúcar. Los Luvisoles se extienden por alrededor de 500 a 600 millones de hectáreas en el mundo (FAO, 2001). En México, se distribuyen en la Sierra Madre Occidental, Guerrero, Oaxaca, Campeche y la Península de Yucatán.

Los Vertisoles (del latín *vertere*, invertir) son suelos de climas semiáridos a subhúmedos y de tipo mediterráneo, con marcada estacionalidad de sequía y lluvias. La vegetación natural que se desarrolla en ellos incluye sabanas, pastizales, matorrales y bosques maderables. Se pueden encontrar en los lechos lacustres, en las riberas de los ríos o en sitios con inundaciones periódicas. Se caracterizan por su alto contenido de arcillas que se expanden con la humedad y se contraen con la sequía, lo que puede ocasionar grietas en esta última temporada. Esta propiedad hace que aunque son muy fértiles, también sean difíciles de trabajar debido a su dureza durante el estiaje y a que son muy pegajosos en las lluvias (FAO, 2001).

A nivel mundial ocupan alrededor de 335 millones de hectáreas, de las cuales cerca de la mitad se destinan al cultivo de maíz (FAO, 2001). En México, sus colores más comunes son el negro o gris oscuro en las zonas centro y oriente del país y el café rojizo hacia el norte. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Ocupan gran parte de los principales distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Se utilizan para la producción de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización (INEGI, 2008).

La intensidad en el desarrollo agropecuario del país en las últimas décadas determinó que los suelos más fértiles y profundos, con buena estructura y alto contenido de nutrimentos y materia orgánica tuvieran mayor demanda. Tan sólo entre 1976 y 2002 la proporción de Luvisoles, Vertisoles y Phaeozems dedicados a actividades agrícolas y pecuarias pasó de 31.8% (24.1% en agricultura y 7.7% en pastizales) a 38.9% (28.4% en agricultura y 10.5% en pastizales, Figura 3.2). También, pero en menor magnitud, los suelos que se consideran



menos aptos para la agricultura o ganadería están siendo utilizados para estos fines. En 1976, 7.4% de la superficie nacional cubierta por este grupo de suelos (Leptosoles, Regosoles y Calcisoles) era utilizada en estas actividades y en 2002 ya se utilizaba 10.6% (7.2% en agricultura y 3.4% en pastizales).

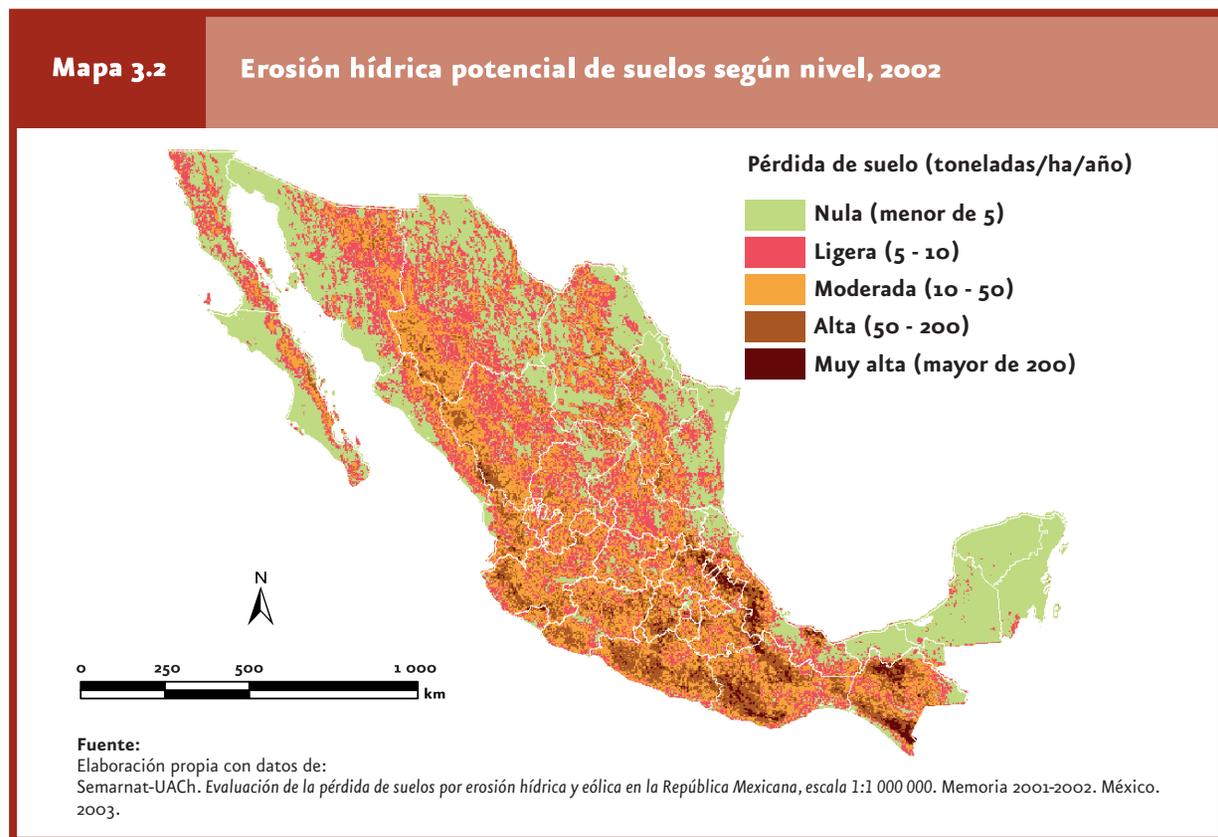
## LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO

La degradación del suelo se refiere a los procesos inducidos por las actividades humanas que provocan la disminución de su productividad biológica o de su biodiversidad, así como de la capacidad actual y/o futura para sostener la vida humana (Oldeman, 1998).

Se han realizado diversos estudios para estimar la superficie nacional con degradación de suelo, sin embargo sus resultados no son comparables debido a diferencias metodológicas y a la escala utilizada (Cuadro [Cuadro D3\\_R\\_SUELO03\\_12](#)). Los

dos más recientes son la *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1 000 000* (Semarnat-UACH, 2003) y la *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000* (Semarnat-CP, 2003).

En el primer estudio se evaluó la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica y eólica en cada entidad federativa a partir de cartografía y modelos paramétricos. De acuerdo con esta evaluación, la superficie con pérdida potencial de suelo por erosión hídrica llegaría al 42% del territorio nacional y 17 entidades federativas estarían afectadas en más de 50% de su territorio, entre ellas Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y el Estado de México (73.7%). También las regiones montañosas de las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, así como vastas regiones de Chiapas y las entidades del centro del país, tendrían alta y muy alta pérdida de suelo por erosión hídrica (Mapa 3.2).



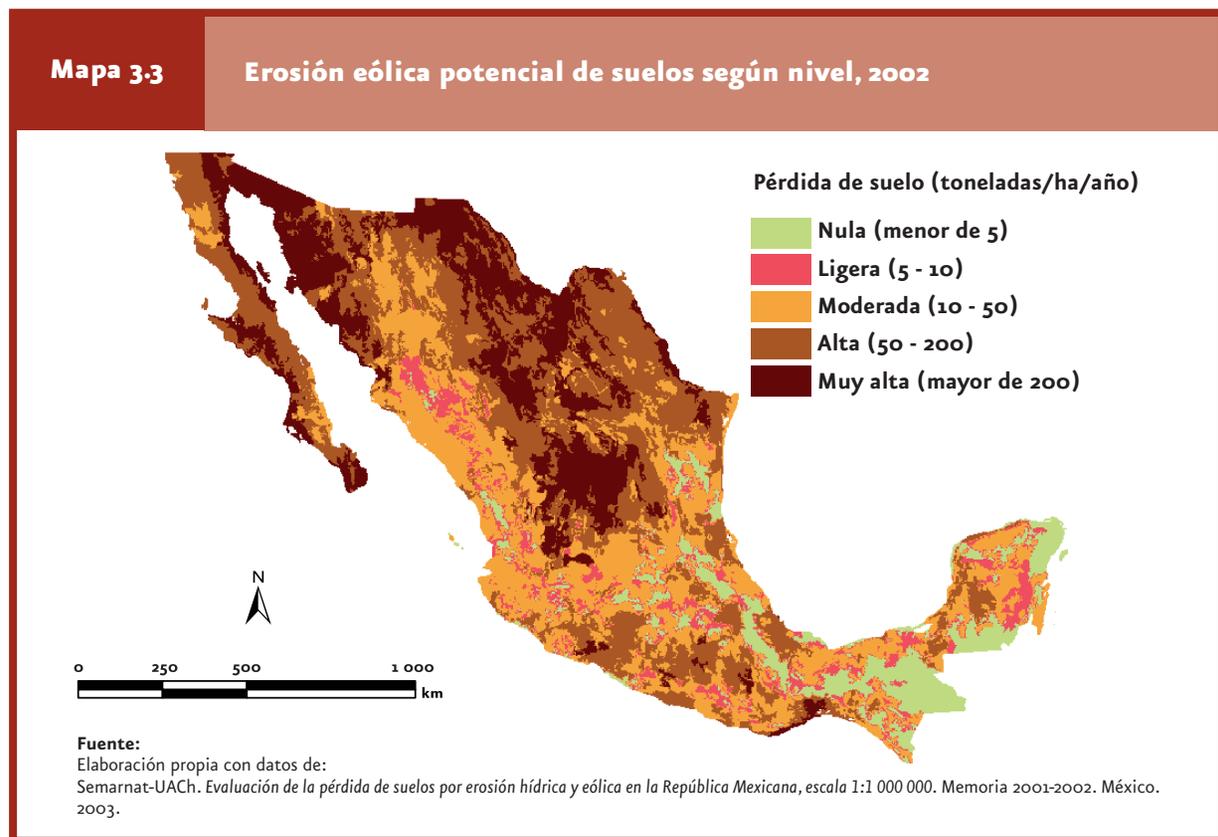
Para la erosión eólica potencial, se estimó que 89% del territorio nacional se encontraba afectado, principalmente en las regiones áridas del norte del país (en los desiertos Chihuahuense y Sonorense), y en amplias zonas de Veracruz, Guerrero y Oaxaca. Se registraron entidades donde prácticamente toda su superficie tendría erosión eólica potencial: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Durango, Sonora y Zacatecas, y sólo dos con menos de 30%: Chiapas (29.3%) y el Distrito Federal (21.8%; Mapa 3.3).

La *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre* elaborada por la Semarnat y el Colegio de Posgraduados (2003), es el estudio más reciente de degradación de suelos en México, y el que se ha realizado con mayor nivel de resolución. En él se consideraron cuatro procesos de degradación: la erosión hídrica y eólica y la degradación física y química. A su vez, cada proceso fue evaluado en diferentes direcciones: causas, tipos específicos y niveles de afectación. Para ello, el país fue dividido en unidades cartográficas de diferente tamaño y se

consideró como degradación o erosión dominante a aquella que cubría más de 30% de la superficie de cada unidad.

Tanto la erosión hídrica y eólica incluyen procesos en los cuales hay desplazamiento de material del suelo; mientras que en la degradación química y física hay procesos que ocasionan el deterioro interno del suelo.

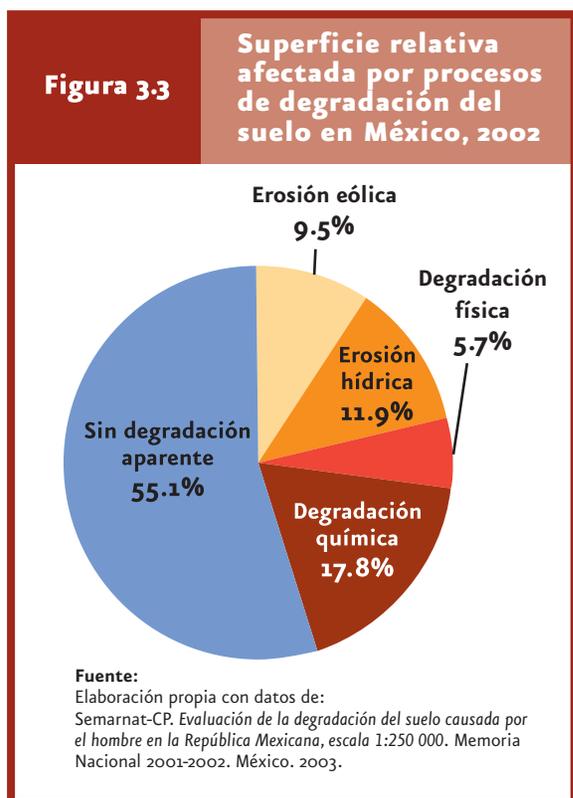
La erosión hídrica se define como la remoción laminar o en masa de los materiales del suelo por medio de las corrientes de agua. Por acción de éstas se puede deformar el terreno y originar cavernas y cárcavas. En la erosión eólica, el agente de cambio del terreno es el viento. La degradación química involucra procesos que conducen a la disminución o eliminación de la productividad biológica del suelo y está fuertemente asociada con el incremento de la agricultura. La degradación física se refiere a un cambio en la estructura del suelo cuya manifestación más conspicua es la pérdida o disminución de su capacidad para absorber y almacenar agua.





Con base en los resultados de este trabajo, 44.9% de los suelos del país muestran algún tipo de degradación. La degradación química es el proceso dominante (17.8% de la superficie del país), le sigue la erosión hídrica (11.9%), la eólica (9.5%) y la degradación física con 5.7% (Figura 3.3; **IB 3-3, IC 14**)<sup>3</sup>.

En la erosión hídrica y eólica, el tipo específico dominante fue la pérdida de suelo superficial. En el caso de la primera representó 88% de la superficie nacional afectada, y en la segunda el 95.5%. En la degradación química, el tipo específico dominante fue la disminución de la fertilidad del suelo y en la física la compactación (92.7% y 68.2% de la superficie nacional afectada, respectivamente; Figura 3.4; **Cuadro D3\_SUELO03\_01**).



**La degradación química es el proceso dominante de degradación de suelos en México (17.8% de la superficie nacional), le siguen la erosión hídrica (11.9%), la eólica (9.5%), y la degradación física (5.7%).**

Con respecto al nivel de degradación, 2.1% del país se encuentra en las categorías de fuerte a extrema, y 42.8% entre ligera y moderada (Figura 3.5; **Cuadro D3\_SUELO03\_01**).

Si se analiza por proceso de degradación, en la erosión hídrica y en la degradación química y física, la mayor parte de la superficie degradada (arriba de 50%) se encuentra en nivel ligero, y en la erosión eólica, se encuentra en el nivel moderado (Figura 3.6).

Con respecto a las causas de la degradación, de la superficie nacional degradada, 35% se asocia a las actividades agrícolas y pecuarias (17.5% cada una de ellas) y 7.5% a la pérdida de la cubierta vegetal. El resto se divide entre urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales (Mapa 3.4).

La degradación en el territorio nacional no es homogénea (véanse los Mapas 3.4, 3.5, 3.6, 3.7). En cada entidad, los procesos de degradación, sus tipos específicos y sus niveles, tienen diferente importancia. Por ejemplo, en Chiapas prácticamente no existen evidencias de erosión eólica; mientras que en Chihuahua, este proceso afectó a 28.5% de su territorio (**Cuadros D3\_SUELO03\_01 y D3\_SUELO03\_03**).

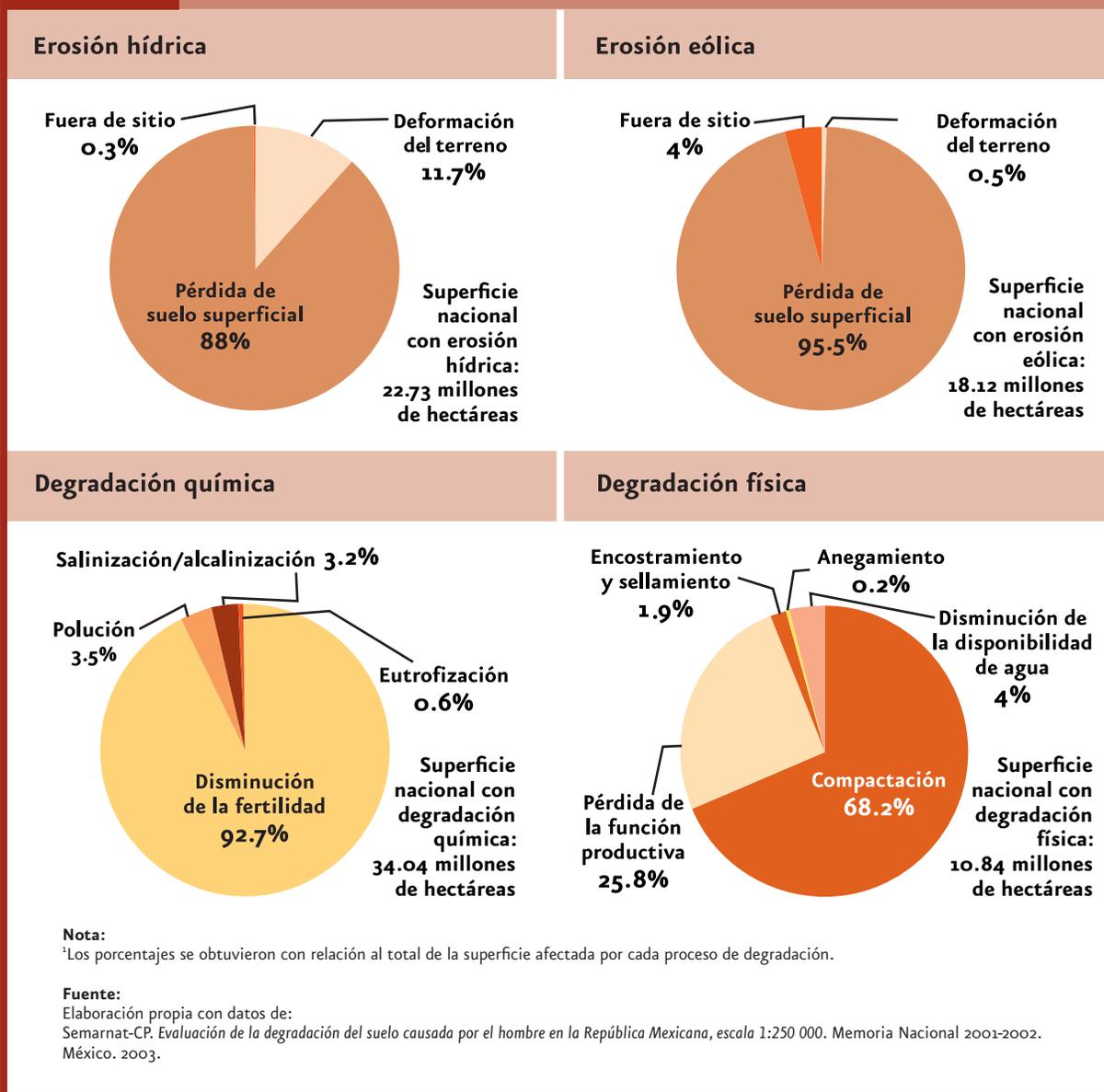
**Las principales causas de la degradación de suelos en México son las actividades agrícolas y pecuarias.**

A continuación se describen de manera detallada, las características, niveles, distribución geográfica y causas de cada proceso de degradación.

<sup>3</sup>Las cifras en proporción pueden variar con respecto a otros análisis dependiendo de cual es la superficie nacional que se está considerando, y si se incluyen o no cuerpos de agua, zonas urbanas y superficie insular.

**Figura 3.4**

**Superficie relativa<sup>1</sup> afectada por la degradación de suelos según tipo, en México 2002**



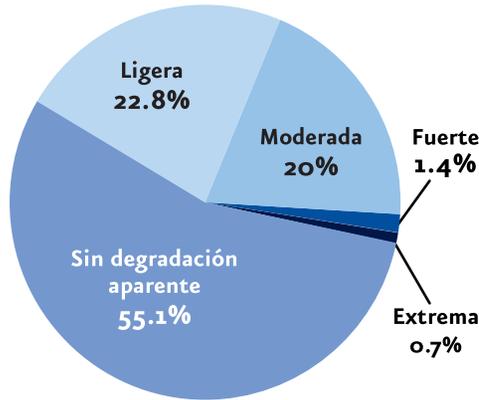
**Erosión hídrica**

La susceptibilidad a la erosión hídrica en México es elevada debido a que cerca de la mitad del territorio (42.2%) tiene pendientes mayores a tres grados (INE, 2003). Esta característica topográfica, junto con el manejo inadecuado de las tierras forestales, agrícolas y ganaderas, favorecen las escorrentías que erosionan las capas superficiales del suelo.

De los tipos específicos de erosión hídrica, la pérdida de suelo superficial es el dominante. Este tipo específico de degradación tiene serias consecuencias en las funciones del suelo: remueve los nutrientes y la materia orgánica, reduce la profundidad de enraizamiento de las plantas, y disminuye la tasa de infiltración y retención de agua. Cuando los sitios afectados por este tipo de erosión se destinan a fines agrícolas, es necesaria la aplicación de fertilizantes, pesticidas o el uso

**Figura 3.5**

**Superficie relativa afectada por degradación del suelo según nivel en México, 2002**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

de aguas tratadas para mejorar su productividad, pero en ocasiones esto promueve la eutrofización y la contaminación de los acuíferos o de otros cuerpos de agua donde llegan los escurrimientos. Estos eventos se conocen como efectos “fuera de sitio” de la erosión hídrica.

De la superficie nacional con erosión hídrica (22.73 millones de ha), 56.4% se encuentra en el nivel ligero, 39.7% en el nivel moderado y 3.9% entre fuerte y extremo (Figura 3.6, Mapa 3.5, [Cuadro D3\\_SUELO03\\_03](#)). En escala estatal, Guerrero presenta, en términos proporcionales, la mayor afectación con 31.8% de su superficie con erosión hídrica (Tabla 3.1).

**Erosión eólica**

La erosión eólica afecta principalmente a las regiones áridas, semiáridas, subhúmedas y secas del país, aunque no es exclusiva de ellas. Las causas de la erosión eólica también se atribuyen

**Mapa 3.4**

**Principales causas de la degradación de los suelos en México, 2002<sup>1</sup>**

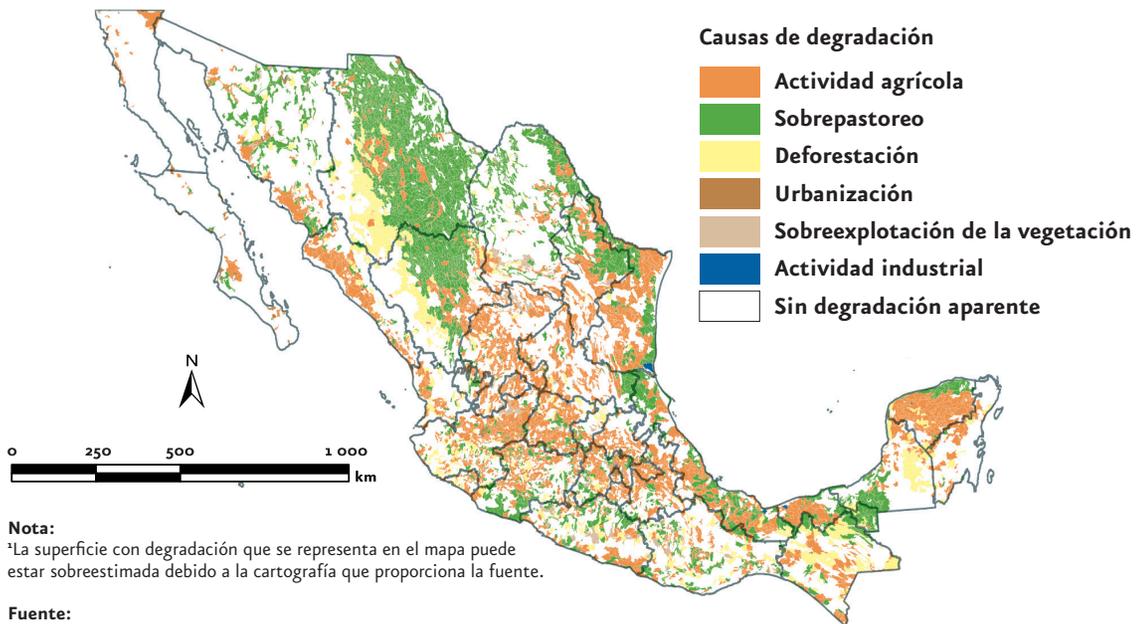
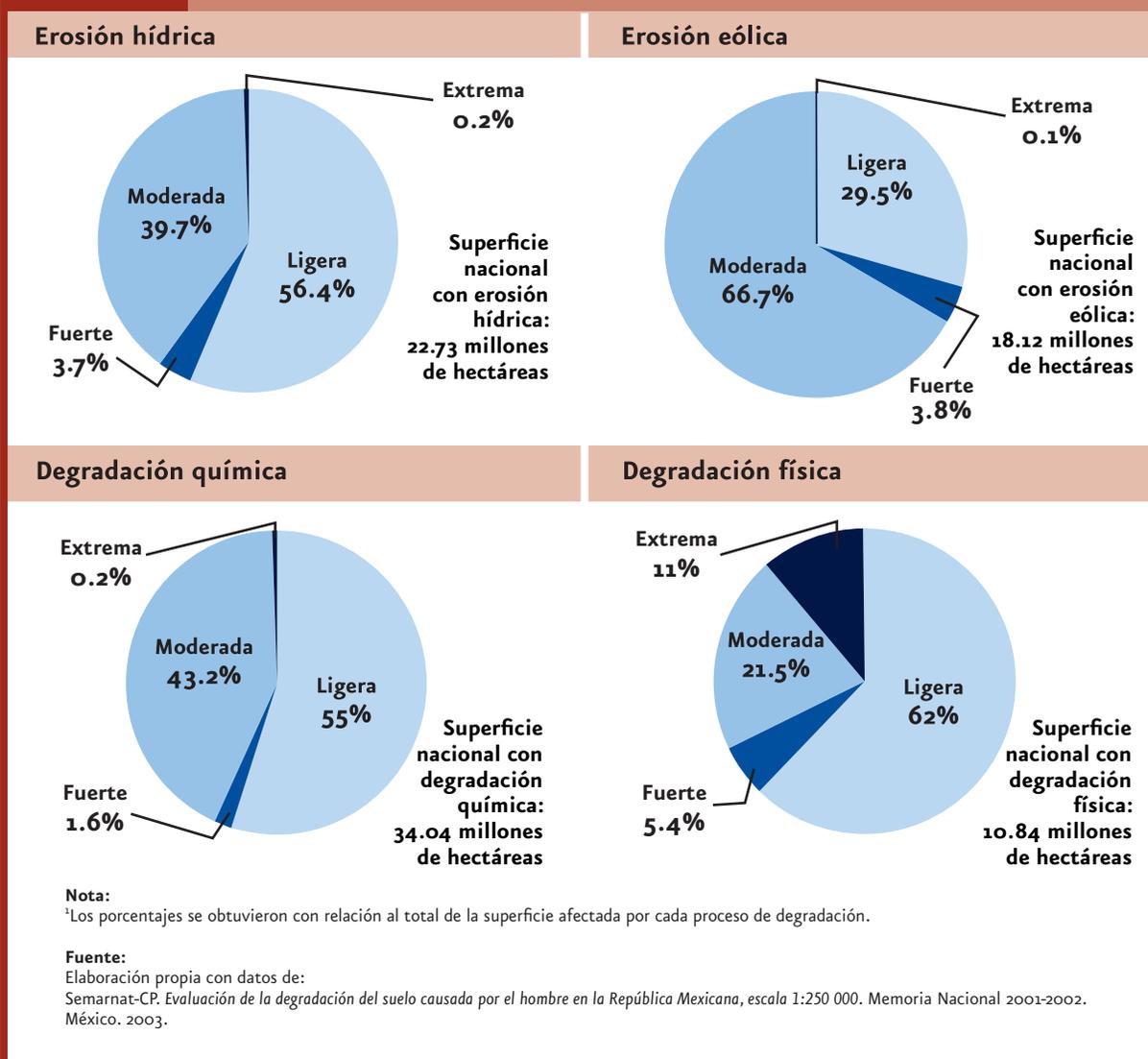


Figura 3.6

Superficie relativa<sup>1</sup> afectada por degradación de suelos, según nivel en México, 2002



a una insuficiente protección del suelo por la cubierta vegetal, a niveles bajos de humedad y a la destrucción de la estructura del suelo.

En escala nacional, 9.5% del territorio muestra evidencias de erosión eólica. Las entidades más afectadas son Chihuahua (28.5%), Tlaxcala (26%), Nuevo León (18.9%) y Durango (17.9%). En Campeche, Chiapas, Quintana Roo,

**La pérdida de suelo superficial es el tipo dominante de erosión hídrica en México y tiene diversos efectos fuera de sitio, como son la remoción de nutrientes y de materia orgánica y la eutrofización de cuerpos de agua superficiales y subterráneos.**

Tabasco y Yucatán no se encontró evidencia de este tipo de erosión (Tabla 3.2).

Con respecto a los niveles de erosión eólica, del total nacional afectado (18.1 millones de hectáreas), 66.7% se encuentra en nivel moderado, 29.5% en ligero y 3.9% entre fuerte y extremo (Figura 3.6; Mapa 3.6; Cuadro D3\_SUELO03\_03).

**Tabla 3.1**
**Erosión hídrica según tipo, por entidad federativa, 2002  
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

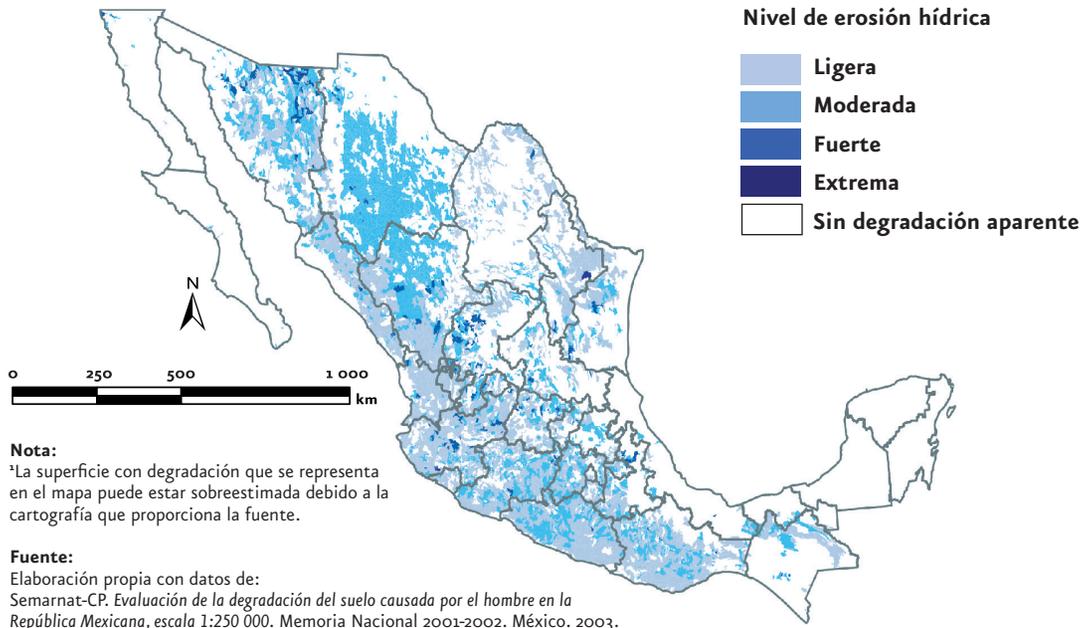
	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	Proporción (%)
Aguascalientes	19.99	3.7	110.67	20.5	0	0	130.66	24.1
Baja California	2.65	0.04	3.93	0.1	0	0	6.58	0.1
Baja California Sur	1.06	0.02	1.14	0.02	0	0	2.20	0.03
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	108.33	0.7	495.53	3.3	0	0	603.85	4.0
Colima	5.70	1.1	109.61	20.2	0	0	115.31	21.3
Chiapas	42.47	0.6	324.71	4.5	0	0	367.18	5.1
Chihuahua	35.35	0.1	2 915.07	11.9	0	0	2 950.42	12.0
Distrito Federal	0.75	0.9	15.77	17.9	0	0	16.52	18.8
Durango	208.45	1.7	2 608.14	21.5	0	0	2 816.59	23.2
Guanajuato	104.39	3.5	598.01	20.2	1.79	0.1	704.19	23.8
Guerrero	351.02	5.6	1 643.62	26.2	0	0	1 994.65	31.8
Hidalgo	10.87	0.5	120.73	5.9	0	0	131.61	6.5
Jalisco	182.73	2.4	1 723.26	22.8	6.52	0.1	1 912.51	25.3
Estado de México	158.02	7.5	382.92	18.2	0	0	540.94	25.7
Michoacán	242.99	4.3	1 292.23	22.8	0	0	1 535.22	27.1
Morelos	12.29	2.6	51.64	11.0	0	0	63.93	13.7
Nayarit	5.03	0.2	482.55	17.8	0	0	487.59	18.0
Nuevo León	102.80	1.6	564.42	9.0	0	0	667.21	10.6
Oaxaca	231.71	2.5	1 436.73	15.7	0	0	1 668.44	18.3
Puebla	105.05	3.1	232.42	6.9	0	0	337.46	10.1
Querétaro	11.57	1.0	148.93	13.2	2.42	0.2	162.92	14.4
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	79.96	1.3	352.25	5.9	33.46	0.6	465.68	7.8
Sinaloa	41.67	0.8	821.60	15.4	0	0	863.27	16.2
Sonora	161.96	0.9	2 150.64	12.0	0	0	2 312.60	12.9
Tabasco	0.56	0.0	55.59	2.4	0	0	56.15	2.4
Tamaulipas	119.75	1.6	496.50	6.6	4.13	0.1	620.37	8.3
Tlaxcala	21.16	5.4	50.87	13.0	0	0	72.02	18.4
Veracruz	2.84	0.04	57.17	0.8	6.12	0.1	66.13	1.0
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	289.33	3.9	757.31	10.2	6.87	0.1	1 053.51	14.2
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>2 660.43</b>	<b>1.4</b>	<b>20 003.97</b>	<b>10.5</b>	<b>61.31</b>	<b>0.03</b>	<b>22 725.71</b>	<b>11.9</b>

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México.

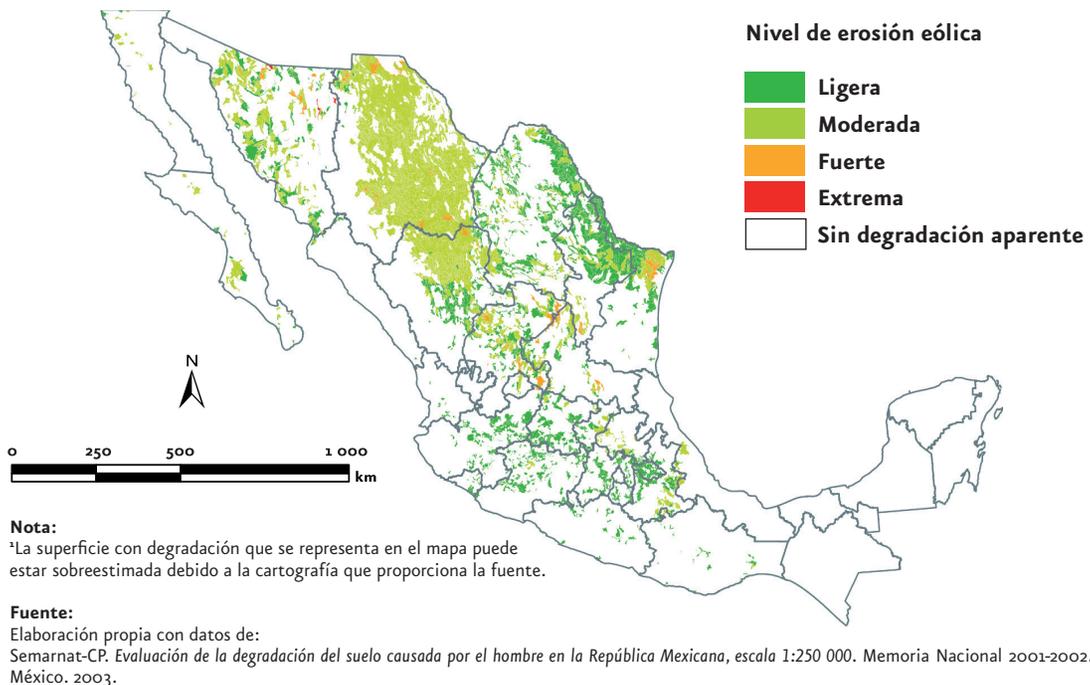
Mapa 3.5

Erosión hídrica de suelos según nivel en México, 2002<sup>1</sup>



Mapa 3.6

Erosión eólica de suelos según nivel en México, 2002<sup>1</sup>



**Tabla 3.2**
**Erosión eólica según tipo por entidad federativa, 2002  
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	Proporción (%)
Aguascalientes	0	0	66.40	12.3	0	0	66.40	12.3
Baja California	0.00	0	19.62	0.3	0	0	19.62	0.3
Baja California Sur	0.00	0	83.36	1.2	0	0	83.36	1.2
Campeche	0.00	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	29.94	0.2	2 038.72	13.6	0	0	2 068.65	13.8
Colima	0.00	0	15.09	2.8	0	0	15.09	2.8
Chiapas	0.00	0	0	0	0	0	0	0
Chihuahua	0.00	0	6 367.20	25.9	636.74	2.6	7 003.93	28.5
Distrito Federal	0.00	0	2.12	2.4	0	0	2.12	2.4
Durango	0.47	0	2 097.87	17.3	81.31	0.7	2 179.65	17.9
Guanajuato	0.00	0	242.46	8.2	0	0	242.46	8.2
Guerrero	0.00	0	53.02	0.8	0	0	53.02	0.8
Hidalgo	2.47	0.1	109.23	5.4	0	0	111.69	5.5
Jalisco	0.00	0	204.56	2.7	0	0	204.56	2.7
Estado de México	0.00	0	99.52	4.7	0	0	99.52	4.7
Michoacán	0.00	0	183.48	3.2	0	0	183.48	3.2
Morelos	0.00	0	20.02	4.3	0	0	20.02	4.3
Nayarit	0.00	0	9.73	0.4	0	0	9.73	0.4
Nuevo León	0.00	0	1 187.78	18.9	0	0	1 187.78	18.9
Oaxaca	0.00	0	43.80	0.5	0	0	43.80	0.5
Puebla	43.08	1.3	280.31	8.4	0	0	323.39	9.6
Querétaro	0.00	0	82.85	7.3	0	0	82.85	7.3
Quintana Roo	0.00	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	0.00	0	449.15	7.5	0	0	449.15	7.5
Sinaloa	2.66	0.1	22.61	0.4	0	0	25.27	0.5
Sonora	0.00	0.0	1 279.20	7.1	0	0	1 279.20	7.1
Tabasco	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0
Tamaulipas	0.00	0	1 021.28	13.7	0	0	1 021.28	13.7
Tlaxcala	0.00	0	101.53	26.0	0	0	101.53	26.0
Veracruz	0.00	0	47.90	0.7	0	0	47.90	0.7
Yucatán	0.00	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	4.78	0.1	1 194.62	16.1	0	0	1 199.40	16.2
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>83.39</b>	<b>0.04</b>	<b>17 323.43</b>	<b>9.1</b>	<b>718.05</b>	<b>0.4</b>	<b>18 124.86</b>	<b>9.5</b>

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

El tipo dominante de la erosión eólica es la pérdida de suelo superficial, el cual se presenta en 9.1% del territorio nacional. En estos sitios y sus alrededores es común la formación de dunas, lo que dificulta el establecimiento y desarrollo de la vegetación. Los estados más afectados por la pérdida de suelo superficial son Tlaxcala (26%), Chihuahua (25.9%) y Nuevo León (18.9%). Por otra parte, la erosión eólica con deformación de terreno y fuera de sitio no están muy extendidas en el país, ya que sólo afectan a poco más de 800 mil hectáreas, es decir, 0.44% del territorio nacional. Esta superficie se concentra en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila y Puebla (Tabla 3.2).

La erosión eólica en su modalidad de efectos fuera de sitio fue muy importante en el Distrito Federal (DF) y sus alrededores en los años 50; en ese tiempo, se formaban grandes tolveneras cuyo origen era el lecho seco del ex lago de Texcoco. El problema se agravó debido a que esta zona fue utilizada para la descarga de las aguas residuales del DF, por lo que el paso estacional de los vientos del noreste arrastraba partículas de polvo, materia orgánica y microorganismos patógenos que provocaron problemas de salud pública en la zona metropolitana del Valle de México.

## Degradación química

La degradación química es el proceso de degradación del suelo más extendido en el país (17.8% del territorio). Está presente en todas las entidades; pero la más afectada es Yucatán (55.1%), y las menos afectadas son Baja California Sur, Coahuila, Baja California y Sonora, donde la superficie con degradación química no excede 5.5% de su territorio (Tabla 3.3).

La degradación química en el nivel ligero representa 55% de la superficie nacional con degradación química; la moderada, 43.2% y la fuerte y extrema en conjunto, 1.8% (Figura 3.6; Mapa 3.7; [Cuadro D3\\_SUELO03\\_03](#)).

El tipo dominante en la degradación química fue la disminución de la fertilidad del suelo (92.7% del total de superficie afectada con degradación química en el país) originada por la disminución de los elementos minerales y de la materia orgánica disponible en el suelo. Este tipo de degradación se encuentra presente en más de la mitad de Yucatán, y en casi la tercera parte de Tlaxcala, Chiapas, Morelos, Tabasco y Veracruz (Tabla 3.3; Mapa 3.8). Los otros tipos específicos

de degradación química (polución<sup>4</sup>, salinización y eutrofización) están mucho menos extendidos, ocupando en conjunto 7.3% de la superficie con degradación química del país.

La degradación química del suelo por polución se debe a la presencia, la concentración y

el efecto biológico adverso de algunas sustancias. Éstas pueden provenir de tiraderos a cielo abierto, derrames, residuos industriales, deposición de compuestos acidificantes y/o metales pesados. La salinización o alcalinización es un incremento del contenido de sales en el suelo superficial que provoca, entre otras cosas, la disminución del rendimiento de los cultivos. Se presenta principalmente en las zonas áridas, en las cuencas cerradas y en las zonas costeras que tienen suelos naturalmente salinos. Los sistemas de riego que utilizan agua con una alta concentración de sodio pueden ocasionar la formación de una capa de salitre en la superficie de los suelos con drenaje deficiente, riego excesivo o alta evaporación. La eutrofización es el exceso de nutrientes en el

***El tipo dominante de degradación química del suelo en México es la disminución de la fertilidad (92.7% de la superficie total con degradación química en el país), la cual es originada por la disminución de los nutrientes y de la materia orgánica disponible en el suelo.***

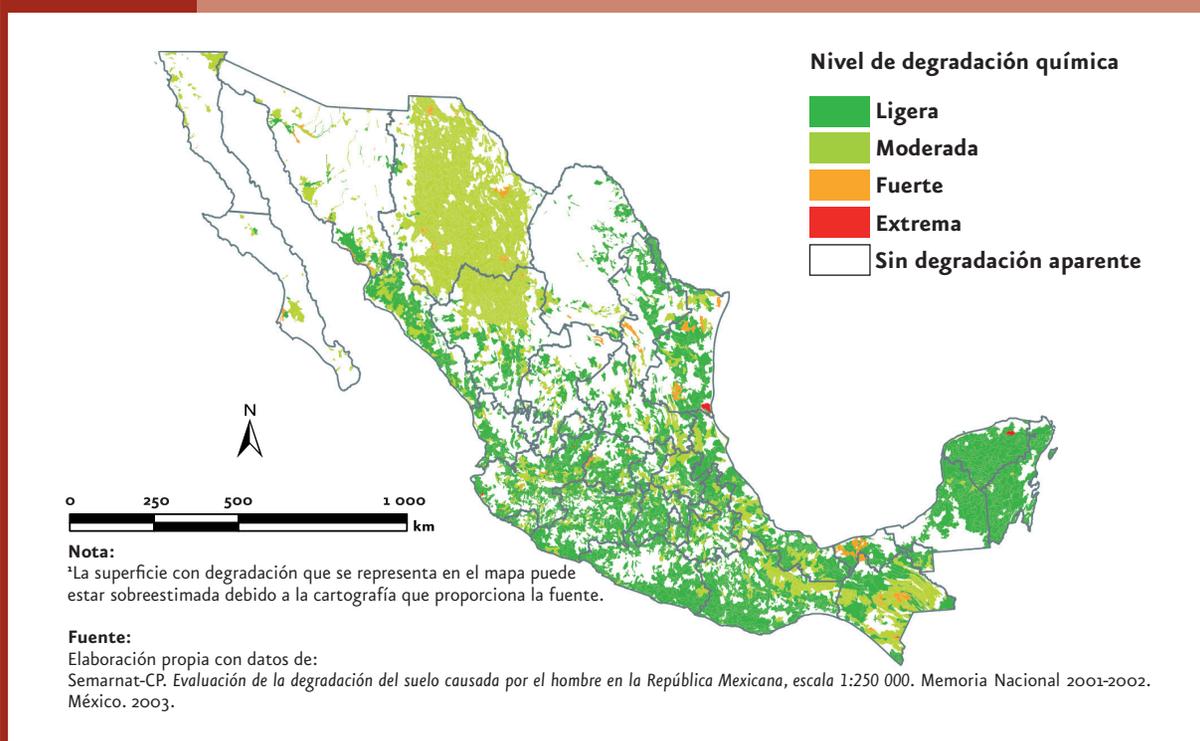
<sup>4</sup>La polución se diferencia de la contaminación en que esta última se debe a una sustancia extraña que no produce efectos adversos significativos, mientras que la polución sí los tiene.

**Tabla 3.3**
**Degradación química según tipo por entidad federativa, 2002  
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

	Disminución de la fertilidad		Polución		Salinización - Alcalinización		Eutrofización		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	(%)
Aguascalientes	57.81	10.7	15.03	2.8	0	0	2.87	0.5	75.71	14.0
Baja California	111.72	1.6	0	0	98.15	1.4	50.40	0.7	260.26	3.6
Baja California Sur	132.75	1.9	1.56	0.02	0	0	0	0	134.31	1.9
Campeche	1 401.18	25.5	0	0	4.31	0.1	0	0	1 405.50	25.6
Coahuila	344.83	2.3	18.46	0.1	1.42	0.01	0	0	364.70	2.4
Colima	142.17	26.2	3.08	0.6	0.81	0.1	0	0	146.06	27.0
Chiapas	2 330.24	32.5	4.36	0.1	25.22	0.4	40.07	0.6	2 399.90	33.5
Chihuahua	5 455.26	22.2	5.10	0.02	30.46	0.1	0	0	5 490.81	22.4
Distrito Federal	11.77	13.4	0	0	0	0	0	0	11.77	13.4
Durango	2 107.78	17.4	19.02	0.2	16.66	0.1	0	0	2 143.46	17.6
Guanajuato	658.20	22.2	100.98	3.4	97.39	3.3	0	0	856.56	28.9
Guerrero	891.52	14.2	6.71	0.1	0.10	0.002	0	0	898.33	14.3
Hidalgo	473.75	23.2	80.29	3.9	0.11	0.01	0	0	554.15	27.2
Jalisco	1 528.85	20.2	99.29	1.3	28.51	0.4	0	0	1 656.64	21.9
Estado de México	544.66	25.9	0.49	0.02	0.11	0.01	0.46	0.02	545.71	26.0
Michoacán	1 218.91	21.5	28.48	0.5	67.00	1.2	0	0	1 314.40	23.2
Morelos	138.38	29.6	0.62	0.1	1.36	0.3	0	0	140.37	30.0
Nayarit	507.71	18.7	15.29	0.6	14.79	0.5	0	0	537.80	19.8
Nuevo León	464.01	7.4	133.08	2.1	9.33	0.1	7.92	0.1	614.34	9.8
Oaxaca	1 670.95	18.3	5.87	0.1	0	0	1.80	0.02	1 678.62	18.4
Puebla	735.84	22.0	5.47	0.2	0	0	0	0	741.31	22.1
Querétaro	198.06	17.5	0	0	1.11	0.1	0	0	199.17	17.6
Quintana Roo	1 020.10	25.7	0	0	0	0	0	0	1 020.10	25.7
San Luis Potosí	697.66	11.6	158.42	2.6	6.03	0.1	1.87	0.03	863.98	14.4
Sinaloa	1 410.84	26.5	49.97	0.9	193.98	3.6	0	0	1 654.80	31.1
Sonora	564.53	3.2	19.90	0.1	307.25	1.7	33.85	0.2	925.52	5.2
Tabasco	695.35	30.1	34.14	1.5	0	0	0	0	729.49	31.6
Tamaulipas	1 201.11	16.1	280.27	3.8	145.56	1.9	19.66	0.3	1 646.60	22.0
Tlaxcala	90.27	23.1	1.55	0.4	0	0	0	0	91.81	23.5
Veracruz	2 120.17	31.0	15.80	0.2	10.91	0.2	18.15	0.3	2 165.04	31.6
Yucatán	2 128.32	55.0	1.64	0.04	0	0	1.30	0.03	2 131.26	55.1
Zacatecas	549.68	7.4	78.54	1.1	3.98	0.1	11.86	0.2	644.06	8.7
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>31 604.37</b>	<b>16.6</b>	<b>1 183.4</b>	<b>0.0</b>	<b>1 064.57</b>	<b>0.6</b>	<b>190.20</b>	<b>0.1</b>	<b>34 042.55</b>	<b>17.8</b>

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

**Mapa 3.7****Degradación química de suelos según nivel en México, 2002<sup>1</sup>**

suelo que perjudica el desarrollo de la vegetación. La polución, salinización y eutrofización se encuentran principalmente en Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz y Zacatecas (Mapa 3.8).

Las causas de la degradación química del suelo involucran una amplia gama de actividades industriales y agrícolas, entre las que se encuentran los derrames de hidrocarburos, la aplicación excesiva de fertilizantes y pesticidas, el mal manejo de materiales, residuos peligrosos y residuos sólidos urbanos. En el caso de la disminución de la fertilidad, ésta se produce cuando la entrada de nutrientes, ya sea por fertilización química o biológica o por la conservación de residuos de la cosecha, es menor a su salida en forma de los productos de las cosechas, por las quemaduras y las lixiviaciones.

### Degradación física

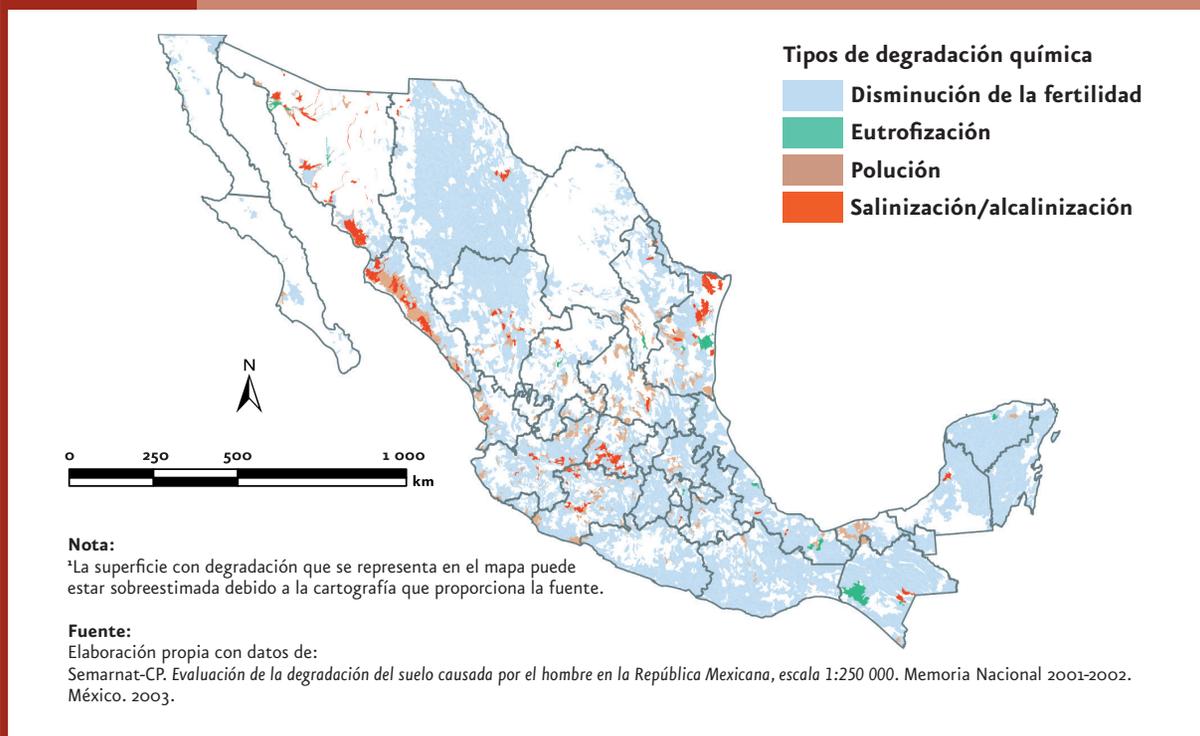
La degradación física del suelo se presenta en cinco tipos específicos: compactación, encostramiento, anegamiento, disminución de la disponibilidad de agua y pérdida de la función productiva.

La compactación es la destrucción de la estructura<sup>5</sup> del suelo asociada frecuentemente al pisoteo del ganado o al paso frecuente de maquinaria pesada, provocando la ruptura de los agregados del suelo. En el encostramiento, los poros se rellenan con material fino, lo que impide la infiltración del agua de lluvia, con el consecuente incremento del volumen de las escorrentías superficiales y la erosión hídrica. El encostramiento del suelo es mayor en zonas con escasa cobertura vegetal y bajo contenido de materia orgánica, lo que incrementa el daño mecánico de las gotas de lluvia. El

<sup>5</sup>La estructura del suelo es el arreglo de las partículas de arena, limo y arcilla para formar conglomerados o agregados de suelo. Las partículas se mantienen unidas por raíces y por productos de la actividad microbiana en el suelo.

Mapa 3.8

Degradación química de suelos según tipos específicos en México, 2002<sup>1</sup>



anegamiento se debe a la presencia de una lámina superficial de agua sobre el suelo, frecuentemente asociada a la construcción de represas para riego. El caso contrario al anegamiento es la disminución de la disponibilidad de agua, que se origina por su extracción excesiva con fines agrícolas o de suministro a la población, o por la disminución de la cobertura vegetal y de la materia orgánica del suelo.

La degradación física es el proceso de degradación menos extendido en el país, con 5.7% de la superficie nacional afectada; sin embargo, tiene un alto impacto debido a que es prácticamente irreversible y conlleva a la pérdida de la función productiva de los terrenos. En escala estatal, la entidad más afectada fue Tabasco (38.4%) y las menos afectadas fueron Coahuila, Sonora, Querétaro, Nuevo León y Michoacán con menos de 2% (Tabla 3.4).

***Aunque la degradación física es el proceso de degradación menos extendido en México (5.7% de la superficie nacional afectada), tiene un alto impacto debido a que es prácticamente irreversible y conlleva a la pérdida de la función productiva de los terrenos.***

De los tipos específicos de degradación física, la compactación, y la pérdida de la función productiva fueron las más extendidas (4% y 1.3%, respectivamente de la superficie nacional con degradación).

El encostramiento, el anegamiento y la disminución de la disponibilidad de agua, afectaron en conjunto a 0.31% del país. La entidad más afectada por compactación fue Tabasco (36.5%) y las menos afectadas fueron Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Coahuila, Baja California, Baja California Sur, Durango y Guanajuato, con menos de 1%. En cuanto a la pérdida de la función productiva por actividades no biológicas, la entidad más afectada fue el Distrito Federal (10%), y las que tuvieron menos de 1% de superficie afectada fueron Campeche, Coahuila, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Sonora.

**Tabla 3.4**
**Degradación física según tipo por entidad federativa, 2002  
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

	Encostramiento y sellamiento		Pérdida de la función productiva		Anegamiento		Disminución de la disponibilidad de agua		Compactación		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	Proporción (%)
Aguascalientes	0	0	4.67	0.9	0	0	0	0	7.89	1.5	12.56	2.3
Baja California	0	0	93.18	1.3	0	0	0	0	42.80	0.6	135.98	1.9
Baja California Sur	0.21	0.003	81.01	1.1	0	0	0	0	4.33	0.1	85.55	1.2
Campeche	0	0	29.72	0.5	0	0	0	0	716.60	13.1	746.32	13.6
Coahuila	0	0	46.50	0.3	0	0	0	0	0	0	46.50	0.3
Colima	0	0	5.34	1.0	2.35	0.4	0	0	9.98	1.8	17.66	3.3
Chiapas	0	0	149.99	2.1	0	0	0	0	820.64	11.4	970.63	13.5
Chihuahua	0.60	0.002	445.45	1.8	0	0	421.23	1.7	90.89	0.4	958.18	3.9
Distrito Federal	0	0	8.76	10.0	0	0	0	0	1.40	1.6	10.15	11.5
Durango	0.15	0.001	161.27	1.3	0	0	0	0	83.24	0.7	244.66	2.0
Guanajuato	2.13	0.1	54.60	1.8	0	0	0	0	17.93	0.6	74.66	2.5
Guerrero	0	0	16.37	0.3	0	0	0	0	110.57	1.8	126.94	2.0
Hidalgo	0	0	34.03	1.7	0	0	0	0	44.79	2.2	78.83	3.9
Jalisco	12.99	0.2	170.51	2.3	5.50	0.1	0	0	113.31	1.5	302.32	4.0
Estado de México	0	0	61.64	2.9	0	0	0	0	25.20	1.2	86.84	4.1
Michoacán	3.91	0.1	35.40	0.6	0.56	0.01	0	0	61.73	1.1	101.60	1.8
Morelos	0	0	13.52	2.9	0	0	0	0	12.00	2.6	25.52	5.5
Nayarit	16.77	0.6	26.98	1.0	0.84	0.03	0	0	36.93	1.4	81.52	3.0
Nuevo León	0	0	62.23	1.0	0	0	4.23	0.1	7.02	0.1	73.48	1.2
Oaxaca	1.29	0.01	31.30	0.3	8.16	0.1	0	0	442.56	4.8	483.31	5.3
Puebla	0	0	32.32	1.0	0	0	0	0	64.95	1.9	97.27	2.9
Querétaro	0	0	11.52	1.0	0	0	0	0	7.45	0.7	18.98	1.7
Quintana Roo	0	0	80.07	2.0	0	0	0	0	104.10	2.6	184.17	4.6
San Luis Potosí	0	0	78.27	1.3	0	0	0	0	422.18	7.0	500.45	8.3
Sinaloa	100.81	1.9	135.19	2.5	0.20	0.004	0	0	3.41	0.1	239.61	4.5
Sonora	52.55	0.3	126.82	0.7	0	0	28.68	0.2	31.63	0.2	239.67	1.3
Tabasco	0	0	42.62	1.8	0.70	0.03	0	0	844.23	36.5	887.55	38.4
Tamaulipas	15.29	0.2	128.31	1.7	0	0	0	0	812.16	10.9	955.75	12.8
Tlaxcala	0	0	14.38	3.7	0	0	0	0	7.05	1.8	21.42	5.5
Veracruz	0	0	59.78	0.9	0	0	0	0	1 961.77	28.7	2 021.55	29.5
Yucatán	1.51	0.04	116.36	3.0	0	0	0	0	623.55	16.1	741.42	19.2
Zacatecas	0	0	101.08	1.4	0	0	0	0	165.66	2.2	266.74	3.6
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>208.23</b>	<b>0.1</b>	<b>2 459.18</b>	<b>1.3</b>	<b>18.31</b>	<b>0.01</b>	<b>454.14</b>	<b>0.2</b>	<b>7 697.95</b>	<b>4.0</b>	<b>10 837.81</b>	<b>5.7</b>

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Los otros tres tipos específicos de degradación física afectaron alrededor de 2% del territorio de diversos estados del país (Tabla 3.4).

Con respecto a los niveles de degradación, la física extrema se extendió en 1.2 millones de hectáreas; la fuerte en 587 mil, la moderada en 2.3 millones y la ligera en 6.7 millones (Figura 3.6; Mapa 3.9, Cuadro D3\_SUELO03\_03).

### Relación entre la degradación del suelo y la cobertura vegetal

La degradación del suelo ocurre como resultado de múltiples factores ambientales y socioeconómicos entre los que se encuentran la topografía, el clima, los sistemas de producción y de tenencia de la tierra, las políticas públicas y el mercado. Rara vez es un sólo factor el que desencadena la degradación del suelo y la pérdida de la cubierta vegetal, aunque en prácticamente todos los

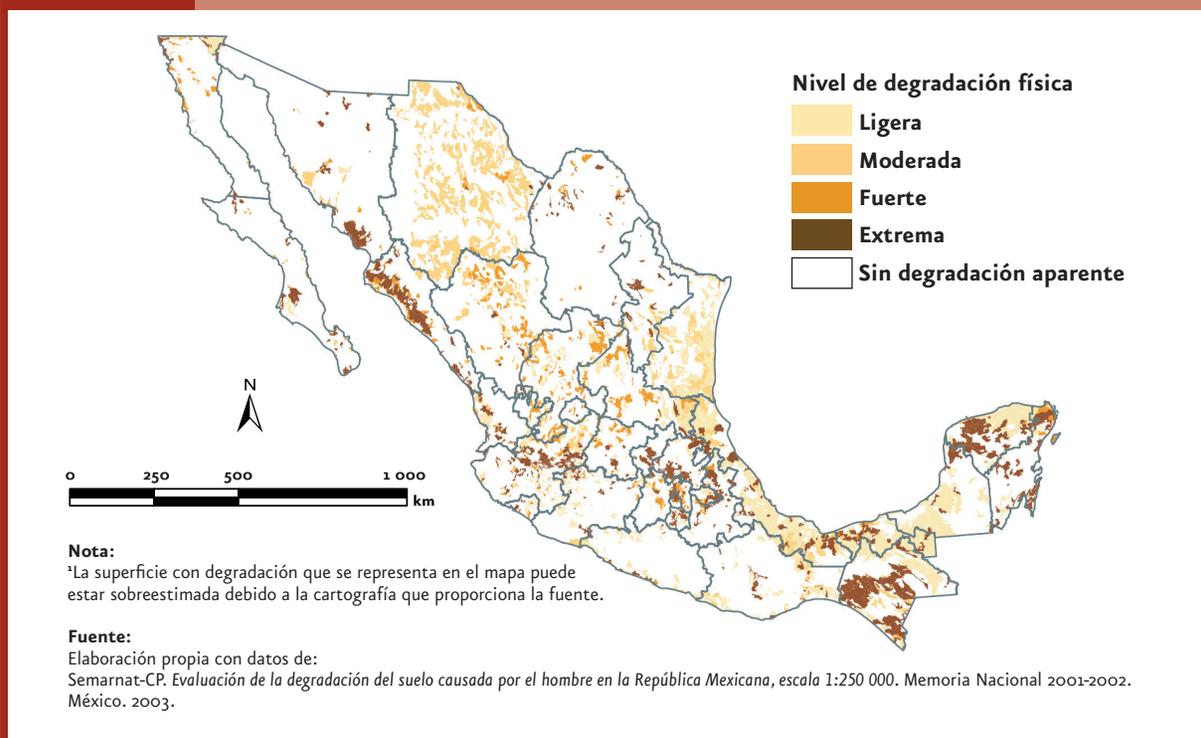
casos el factor dominante son las actividades humanas a través del cambio de uso del suelo, que sustituye la vegetación natural por terrenos para las actividades agrícolas y ganaderas.

A pesar de que hasta el momento no se ha realizado un estudio específico que evalúe la relación entre la degradación del suelo y la cubierta vegetal en el país, la combinación de las cartas nacionales más recientes de degradación (Semarnat-CP, 2003) y de uso de suelo y vegetación (INEGI, Serie III) proporciona una buena aproximación de su estatus en el territorio nacional.

De acuerdo con este ejercicio se encontró que aun en zonas con vegetación natural habría degradación del suelo. En las selvas subhúmedas y húmedas, y en los bosques templados y mesófilos de montaña, el nivel de degradación dominante sería el ligero; mientras que en el matorral xerófilo el nivel dominante sería el moderado.

Mapa 3.9

Degradación física de suelos según nivel en México, 2002<sup>1</sup>

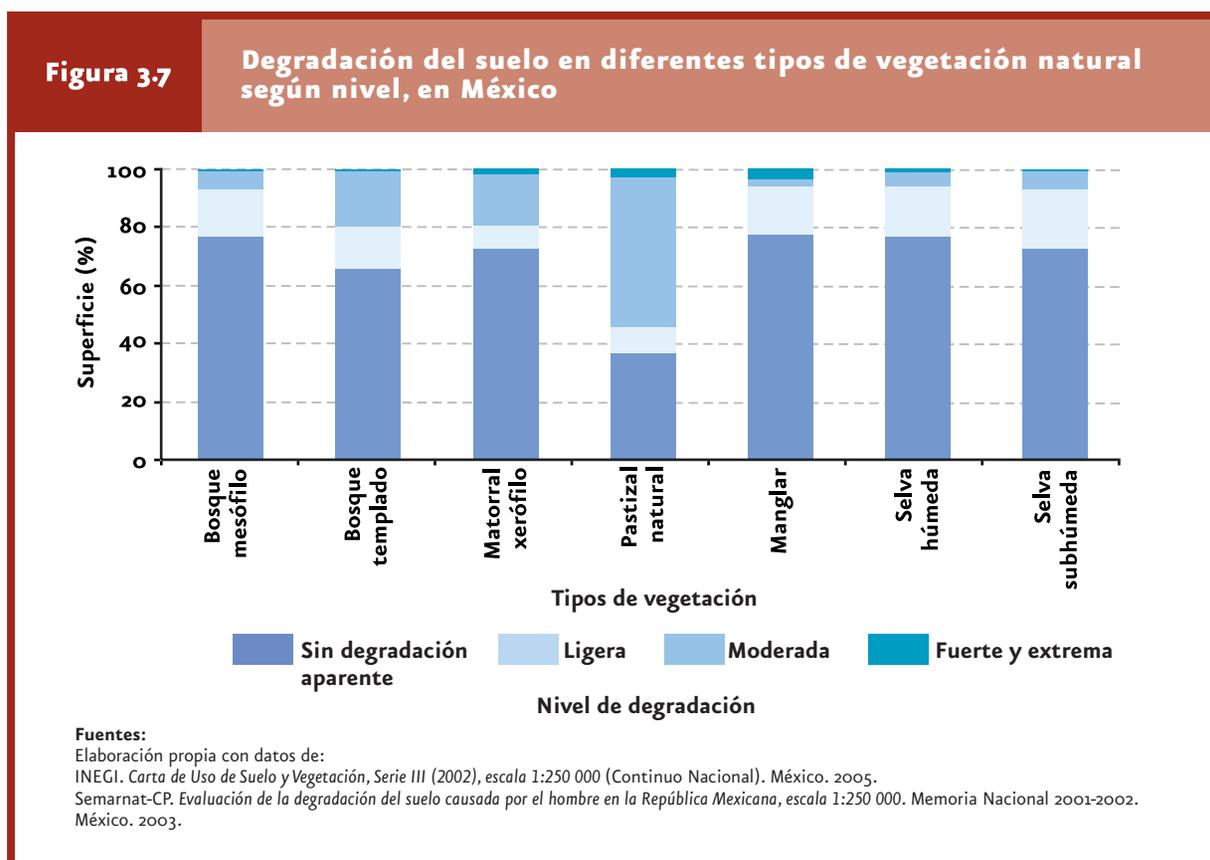


La degradación fuerte y extrema del suelo estaría en los pastizales naturales, los cuales son utilizados como zonas de agostadero, y en los manglares, cuyo uso posterior a la transformación incluye actividades acuícolas y de infraestructura carretera, entre otras (Figura 3.7).

Un aspecto importante de la relación suelo-vegetación es el nivel y tipo de degradación del suelo en las zonas agrícolas, pecuarias y bosques cultivados del país. De la superficie nacional dedicada a estas actividades, alrededor de 70% (aproximadamente 34.5 millones de hectáreas) está afectada por algún tipo específico de degradación, siendo la química en su calidad de pérdida de la fertilidad, el tipo dominante. Esta degradación del suelo podría explicarse por el cambio de uso de suelo en zonas sin vocación agrícola (Figura 3.8).

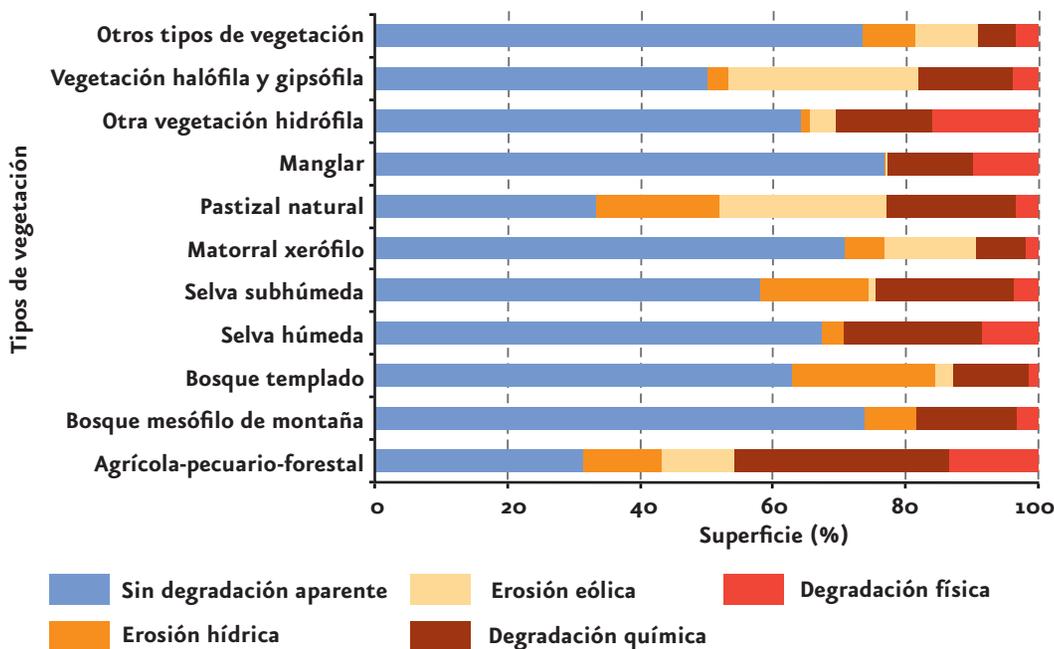
**Aun en zonas con vegetación natural se ha detectado degradación del suelo.**

Dentro de las categorías de vegetación natural, los suelos del bosque templado están mayormente afectados por erosión hídrica probablemente porque muchos de ellos se encuentran en zonas de montaña, donde la pendiente incrementa el efecto de las escorrentías. Los suelos del matorral xerófilo, los pastizales y la vegetación halófila y gipsófila, son los tipos de vegetación en donde la erosión eólica es el proceso dominante, mientras que las selvas húmedas y subhúmedas tienen un alto porcentaje de degradación química. Si se considera la superficie nacional ocupada por estos ecosistemas, el matorral xerófilo y el bosque templado tienen la mayor proporción de superficie degradada (32.6% y 41.2%, respectivamente) que equivale a 14.8 y 11.8 millones de hectáreas afectadas, respectivamente (Figura 3.8 Cuadros D3\_SUELO03\_02 y D3\_SUELO03\_06; IB 3.3, IC 14).



**Figura 3.8**

**Degradación del suelo por tipo de vegetación y uso del suelo en México**



**Fuentes:**  
 Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1:250 000 (Continuo Nacional)*. México. 2005.  
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002*. México. 2003.

**TIERRAS FRÁGILES: EL PROBLEMA DE LA DESERTIFICACIÓN**

Si bien el suelo es el sustento de las actividades productivas primarias como la agroforestería y la ganadería, su relación con la sociedad se entiende mejor cuando se liga al concepto de tierra.

El concepto de tierra incluye a muchos otros componentes, además del suelo. Se define como el área específica de la corteza terrestre con características particulares de atmósfera, suelo, geología, hidrología y biología, así como los resultados de la actividad humana pasada y presente en esa área y las interacciones entre todos estos elementos (UNCCD, 1994).

La Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD,

por sus siglas en inglés), definió a la degradación de la tierra como “la reducción o pérdida de la productividad económica y de la complejidad de los ecosistemas terrestres, incluyendo a los suelos, la vegetación y otros componentes bióticos de los ecosistemas, así como los procesos ecológicos, biogeoquímicos e hidrológicos que tienen lugar en los mismos”. En este sentido, la degradación de la tierra incluye a la degradación del suelo, de los recursos hídricos y de la vegetación, los cambios en la frecuencia de incendios, las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos y las invasiones biológicas, entre otros fenómenos.

Cuando la degradación de la tierra se produce en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, se habla de desertificación, la cual puede darse como resultado de factores que incluyen a las variaciones climáticas y las actividades

humanas (UNCCD, 1994). En México, el concepto de desertificación se ha ampliado hacia todos los ecosistemas, debido a que la degradación de la tierra no está restringida a las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Sin embargo, se considera que éstas son las más vulnerables a la desertificación (Conaza-Sedesol, 1994).

La atención mundial en la lucha contra la desertificación gira en torno de la UNCCD, la cual entró en vigor en la década de los 90. Hasta marzo de 2008, 193 países se habían adherido, aceptado o ratificado como miembros de dicha Convención, entre ellos México, que ratificó su firma en 1995 (UNCCD, 2008). Los objetivos de la UNCCD incluyen la lucha contra la desertificación y la sequía prolongada mediante estrategias de largo plazo que permitan simultáneamente el aumento de la productividad, la rehabilitación, la conservación y el aprovechamiento sostenible de la tierra y los recursos hídricos, con miras a mejorar las condiciones de vida de la población que habita en las zonas desertificadas.

En México, la atención gubernamental al problema de la desertificación se remonta a 1970, con la creación de la Comisión Nacional de Zonas Áridas (Conaza), pero es hasta 2005, en el marco de los objetivos de la UNCCD, que se conformó el Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (Sinades).

El Sinades coordina las acciones de diversas instituciones públicas y organismos sociales y tiene como objetivos contener y revertir

la desertificación, lograr que los productores rurales, especialmente de las zonas críticas, adopten sistemas y prácticas productivas para preservar y mejorar los recursos naturales a través de políticas, instrumentos y recursos financieros específicos en contra de la desertificación. En el Sinades participan la Semarnat, Sagarpa, Sedesol, SRA, SEP, SS y SE, así como gobiernos estatales, productores rurales, organismos de la sociedad civil, campesinos, e instituciones de educación superior e investigación.

### Distribución de las tierras secas

Las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, genéricamente denominadas tierras secas, se caracterizan por condiciones climáticas particulares, como son la precipitación escasa y variable, temperaturas elevadas o muy bajas -en el caso de los desiertos fríos- y elevada evapotranspiración potencial. Técnicamente, las zonas áridas se definen como zonas que tienen un índice de aridez (obtenido a partir del cociente entre la precipitación anual media y la evapotranspiración potencial media) comprendido entre 0.5 y 0.65. Con base en estos valores, 30% de las zonas áridas del mundo están en zonas propiamente áridas, 45% en zonas semiáridas y 25% en zonas subhúmedas secas (Reynolds *et al.*, 2005; Mapa 3.10).

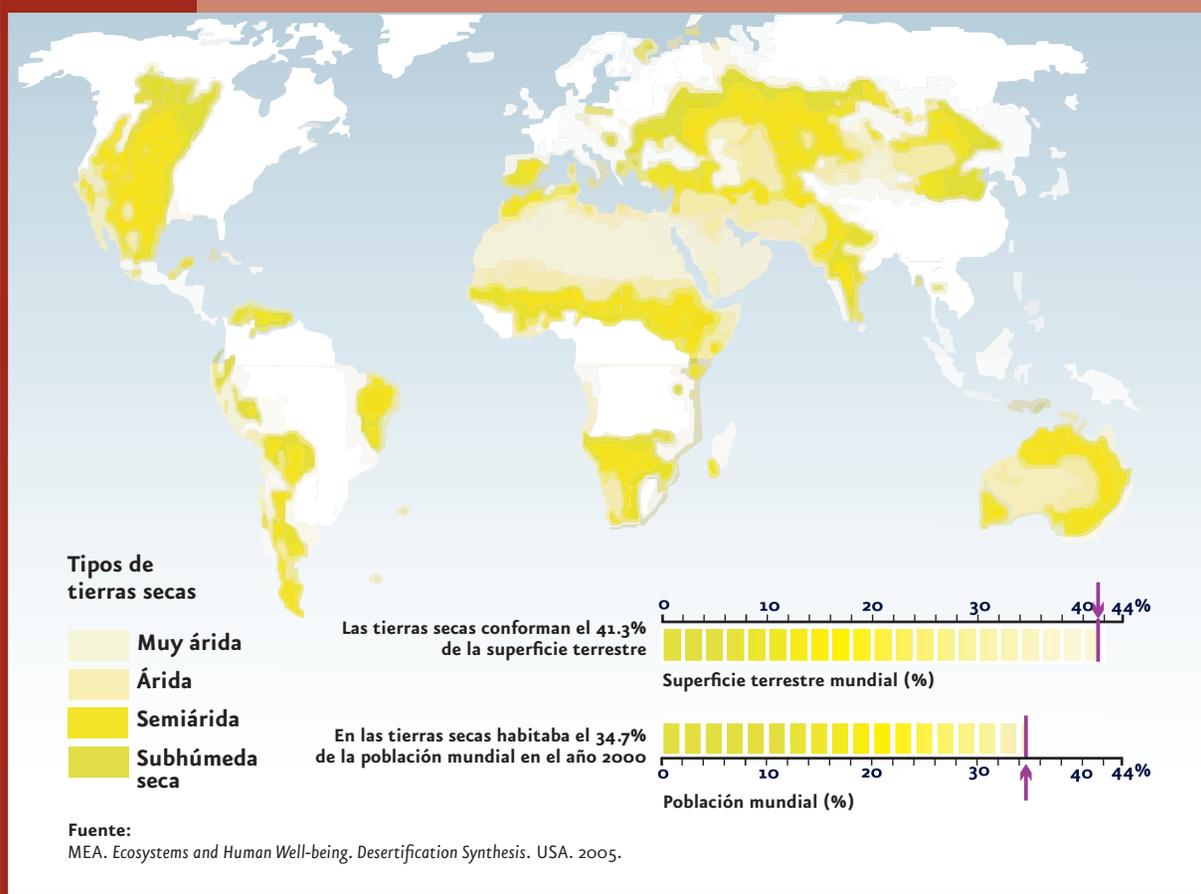
En términos globales, las tierras secas (incluyendo las muy áridas)<sup>6</sup> ocupan 41.3% del planeta, lo que equivale a 6 mil 90 millones de hectáreas distribuidas principalmente en Asia, norte de

***La desertificación es la degradación de la tierra en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, y puede darse como resultado de factores que incluyen las variaciones climáticas y las actividades humanas. En México, se considera que la desertificación puede darse en todos los ecosistemas, pero se considera a los secos como los más vulnerables.***

<sup>6</sup>En el presente capítulo se consideran como tierras secas a las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Además, con base en la terminología utilizada por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en su estudio sobre Desertificación (MEA, 2005), se incluyen también a las muy áridas o hiperáridas.

Mapa 3.10

Distribución de las zonas secas en el mundo



África y la mayor parte de Australia (Mapa 3.10). En los países desarrollados se encuentra 28% del total de las tierras secas del mundo y el resto (72%), en los países pobres (MEA, 2005).

En México<sup>7</sup>, las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas ocupan aproximadamente 128 millones de hectáreas, es decir, más de la mitad del país. Las zonas muy áridas y áridas se encuentran principalmente en Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua y Sonora, representando 49% del total de las tierras secas del país. Las zonas semiáridas abarcan 29%, distribuidas en su mayoría en el desierto Sonorense y en los estados del altiplano mexicano; y el 22% corresponde a las

zonas subhúmedas secas de Campeche y Yucatán, el Golfo de México y las costas del Océano Pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas (Mapa 3.11).

En el 2000, 2 mil millones de habitantes, es decir, cerca de un tercio de la población mundial habitaba en las tierras secas (MEA, 2005). En México, en 2005, 46% de la población habitaba en éstas zonas, lo que equivale a 47.7 millones de habitantes. De los cuales, 21.8% es población rural y 78.2% urbana (Figura 3.9; INEGI, 2006).

En las zonas semiáridas y subhúmedas secas de México se concentra alrededor de 75% de la población que habita en las zonas secas, debido

<sup>7</sup>La clasificación de las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas se realizó con base en el Sistema de Clasificación Climática de Köppen adaptado para México (García, 1988).

Mapa 3.11

Distribución de las zonas secas en México, 1996

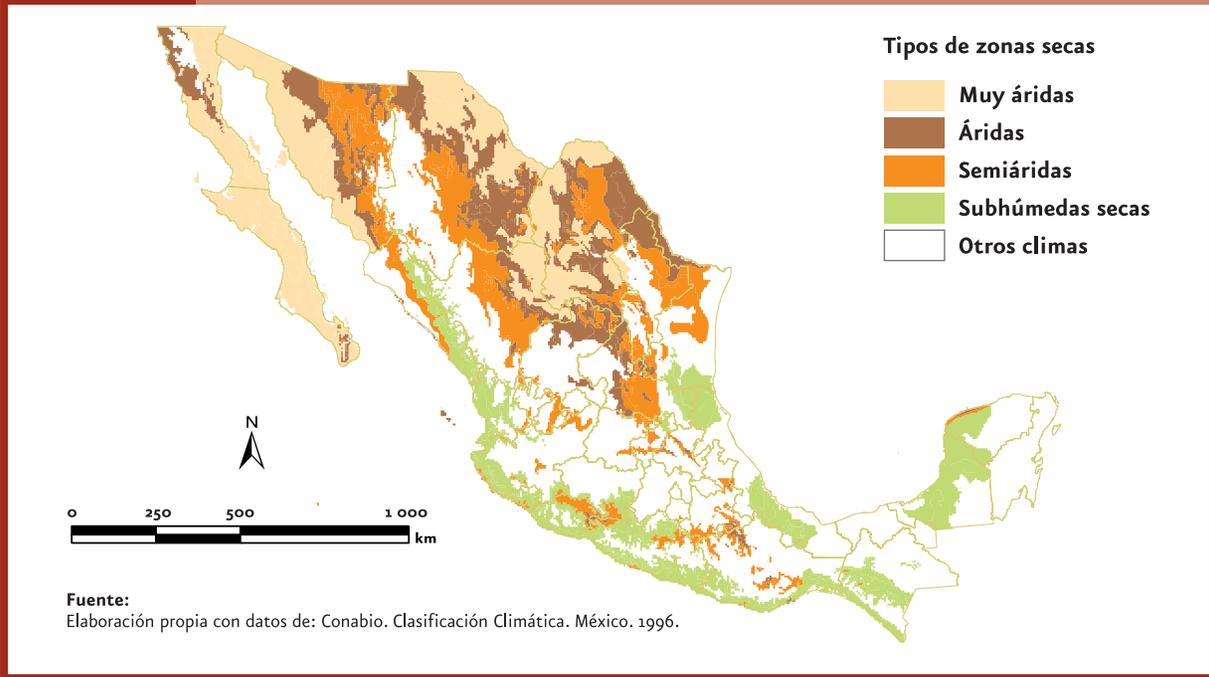
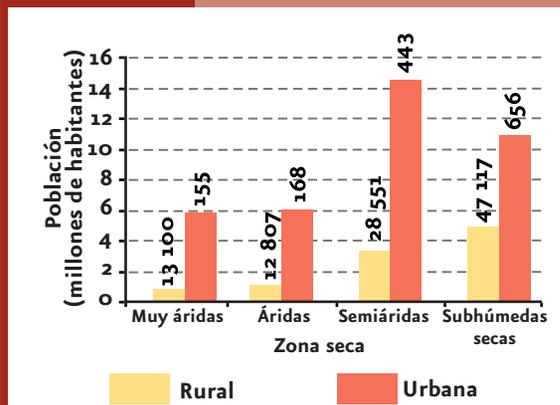


Figura 3.9

Población en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 2005



**Nota:**  
Las cifras de la parte superior de cada barra corresponden al número de localidades.

**Fuentes:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conabio. Clasificación Climática. México. 1996.  
Conapo. II Censo de Población y Vivienda. México. 2006.  
Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

muy probablemente a que en ellas, los suelos son más productivos (Figura 3.9). De hecho, 60% de la superficie agrícola del país se encuentra en las tierras secas, y de este total 42% se ubica en las zonas semiáridas y 30% en las subhúmedas secas (Figura 3.10).

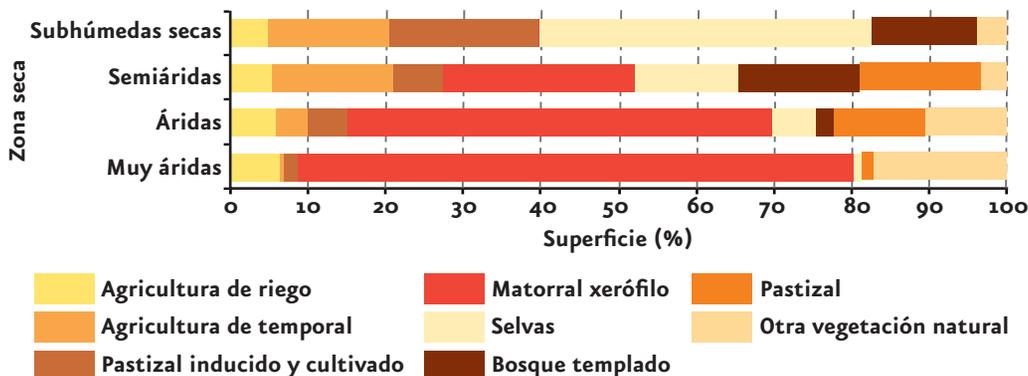
Durante el periodo comprendido entre 1993 y 2002, los cambios en la cobertura de los matorrales, selvas húmedas y subhúmedas y bosques templados ubicadas principalmente en las tierras semiáridas y subhúmedas secas del país, hacia tierras con algún otro uso (por ejemplo, agropecuario), se calculó en una pérdida de aproximadamente 1.7 millones de hectáreas. Por otro lado, la superficie con valor forrajero destinada a la actividad pecuaria, durante el mismo periodo, creció a un ritmo anual de 1.26% (Figura 3.11).

### Magnitud de la desertificación

Las estimaciones sobre la magnitud de la desertificación son muy diferentes porque

**Figura 3.10**

**Usos del suelo y vegetación en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 2002**

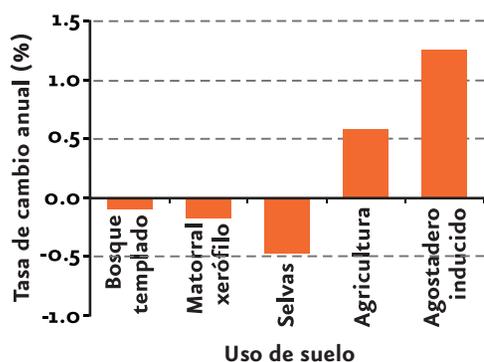


**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.  
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

**Figura 3.11**

**Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 1993 - 2002**



**Nota:**

Las tasas se calcularon utilizando la fórmula  $r = (s_2/s_1)^{1/t} - 1$ , donde r es la tasa,  $s_1$  y  $s_2$  son las superficies ocupadas por usos de suelo a los tiempos inicial y final, respectivamente, y t es el tiempo transcurrido entre ambas fechas.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.  
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

dependen del método de cálculo y del tipo de degradación del suelo incluido en la evaluación. La UNCCD calcula que entre 71 y 75% de las zonas secas del mundo están desertificadas, aunque esta cifra ha sido criticada debido a que las estimaciones se han hecho tomando en cuenta separadamente los factores biofísicos (erosión o pérdida de la cobertura vegetal) y socioeconómicos (pérdidas económicas, disminución de la producción, migraciones humanas) de la desertificación; basta señalar que raramente se consideran ambos grupos de factores simultáneamente para estimar la magnitud de la desertificación (Reynolds et al., 2005).

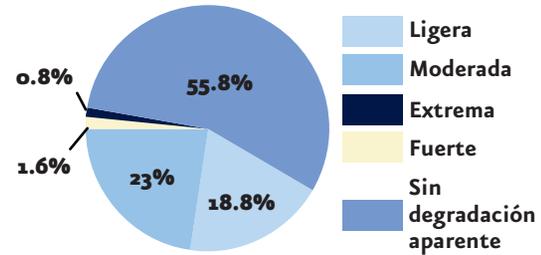
En México, a la fecha, no existen estudios específicos sobre la extensión de la desertificación a nivel nacional, sin embargo, para tener una idea de la magnitud de este fenómeno, se consideró a la degradación del suelo como un estimador de la desertificación en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país, sin perder de vista que es sólo uno de sus elementos.

Tomando el criterio antes señalado, en nuestro país la degradación del suelo afecta a 44.2% de las tierras secas en distintos niveles de intensidad (Figuras 3.12 y 3.13). Entre 93 y 97% del total de la superficie con degradación en las zonas secas ya se encuentra en los niveles de ligera y moderada, lo que es un foco de alerta, debido a que de continuar este proceso se puede llegar a los niveles de degradación fuerte o extrema, en los cuales la recuperación de la productividad del suelo es materialmente imposible. Las zonas secas que no presentan evidencias de degradación de suelo se encuentran en el centro del Desierto Chihuahuense (cerca de la confluencia de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango), el Gran Desierto de Altar, al Noroeste de Sonora y la península de Baja California (Mapa 3.12).

**En México la degradación del suelo afecta a 44.2% de las tierras secas. De ellas, entre 93 y 97% tienen niveles de degradación ligero y moderado.**

**Figura 3.12**

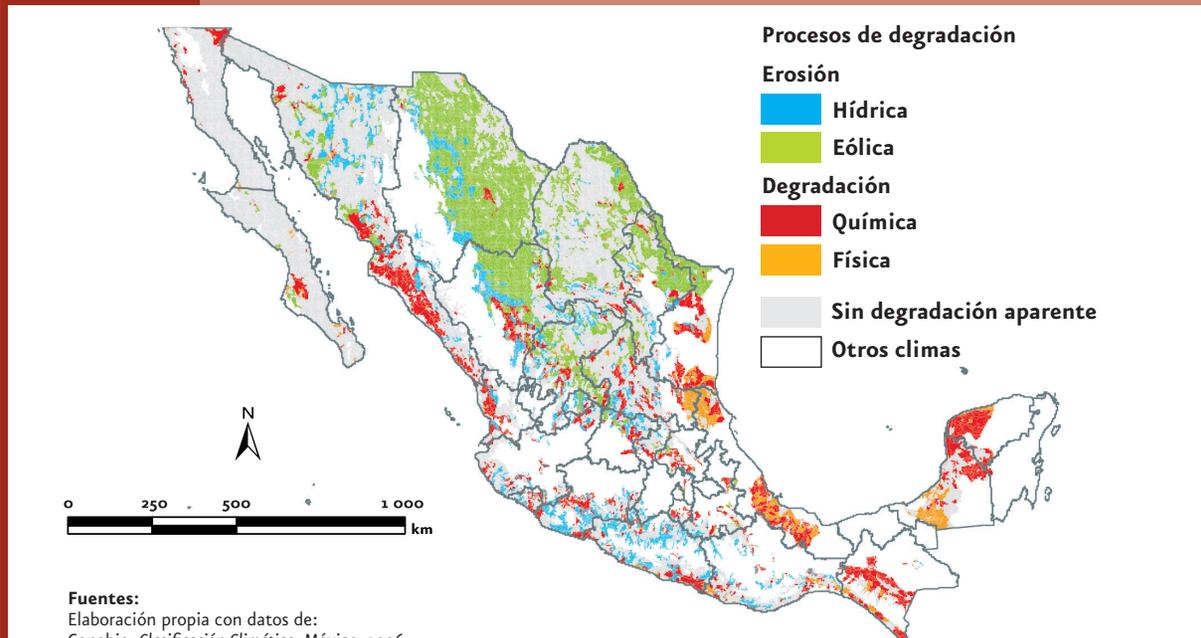
**Degradación del suelo según nivel en las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México**



**Fuentes:**  
 Elaboración propia con datos de:  
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.  
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

**Mapa 3.12**

**Procesos de degradación del suelo en las zonas secas de México**



**Fuentes:**  
 Elaboración propia con datos de:  
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.  
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Del total de las tierras secas del país que presentan degradación del suelo, 32.4% son semiáridas, 26.1% subhúmedas, 19.1% muy áridas y 22.4% áridas. Sin embargo, cuando se examina la proporción afectada con respecto a la superficie que ocupa cada una de esas tierras, las subhúmedas secas son las más afectadas (52.8%), seguidas de las semiáridas (48.9%), las áridas (45%) y las muy áridas (30.4%).

**Históricamente, el suelo ha sido un recurso natural poco atendido por los gobiernos y la sociedad en general, a pesar de que su degradación tiene consecuencias negativas para el ambiente y la sociedad.**

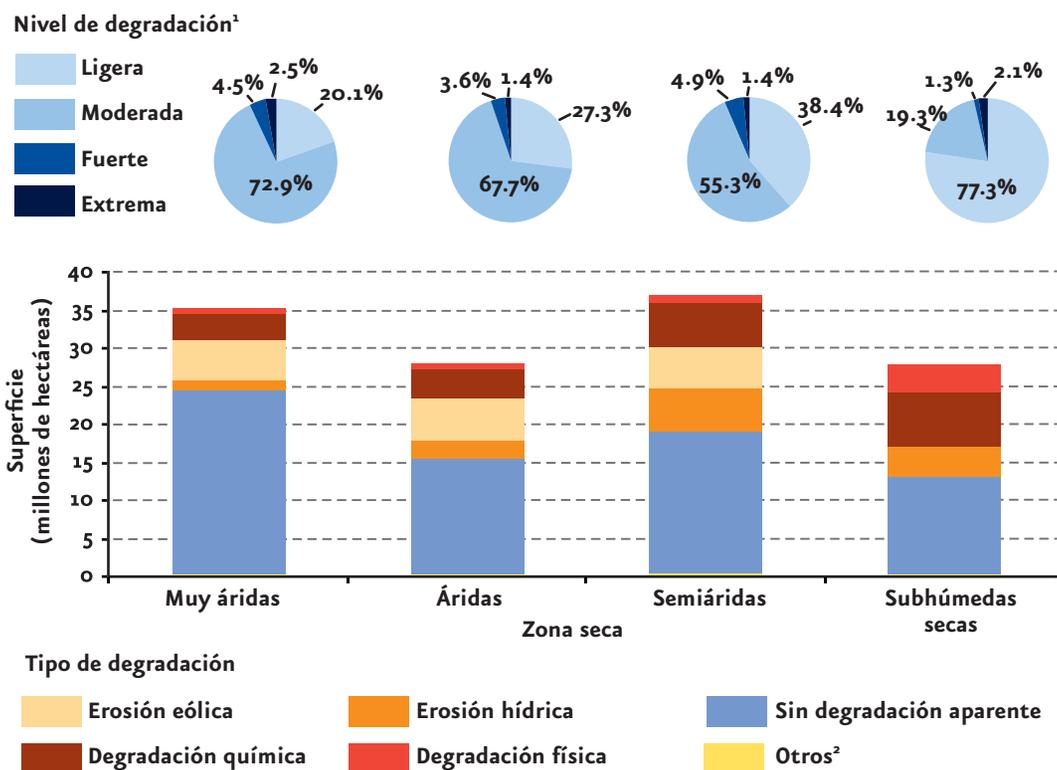
Respecto de la distribución de los procesos de degradación por tipo de zona seca, la erosión eólica del suelo es el proceso dominante en las zonas muy áridas y áridas, mientras que en las semiáridas y subhúmedas secas es la degradación química (Figura 3.13).

### Conservación y restauración de suelos

Históricamente, el suelo ha sido un recurso natural

**Figura 3.13**

### Degradación del suelo según proceso y nivel en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas en México, 2002



**Notas:**

<sup>1</sup>Las figuras arriba de cada barra corresponden exclusivamente al total de la superficie con degradación en cada tipo de zona seca.

<sup>2</sup>Incluye cuerpos de agua y superficies que no pueden ser asignados a ningún proceso de degradación debido al origen de los datos.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.

INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.

Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002.

México. 2003.

poco atendido por los gobiernos y la sociedad en general, a pesar de que su degradación y desertificación tienen consecuencias negativas tanto ambientales como sobre el bienestar de la población. La pérdida de la productividad de los ecosistemas, presencia de tolvaneras, pérdida de hábitats acuáticos y disminución del rendimiento pesquero, aumento de la frecuencia de inundaciones, incremento de la emisión de gases de efecto invernadero al oxidarse la materia orgánica, son sólo algunas de las consecuencias ambientales asociadas a la degradación de los suelos. Todas ellas están muy relacionadas con el incremento de la pobreza y las migraciones (Cotler et al., 2007). Debido a la complejidad de las causas y las consecuencias, el tema de la degradación de los suelos y la desertificación es atendido por la Semarnat, la Sagarpa, la Conaza y la Comisión Nacional Forestal (Conafor).

Para hacer frente al problema de la degradación del suelo, la mejor alternativa es utilizar un enfoque de desarrollo sostenible, el cual además de atender las necesidades humanas actuales, considera preservar un ambiente sano para las generaciones futuras. Sin embargo, llevar este principio a la práctica no es una tarea sencilla, ya que, además del componente estrictamente ambiental, existe una serie de factores sociales, económicos y políticos que dificultan la eliminación o el amortiguamiento de las causas que provocan la degradación del suelo. Por ello, son necesarias acciones que promuevan el manejo sostenible del suelo mediante el impulso al sector rural, el acceso a tecnología adecuada y asequible y la asistencia a la comercialización, todas ellas considerando las condiciones y necesidades de cada región del país y sin que esto comprometa la actividad agrícola y comercial de la población actual.

**Existen diversos programas institucionales que apoyan la ejecución de acciones relacionadas con la conservación de suelos; sin embargo hacen falta acciones específicas que contrarresten la degradación química de los suelos, la cual es la más extendida en el país.**

A pesar de que se carece de una estrategia nacional integral para la conservación de suelos en la cual se definan acciones directas y específicas para la conservación y el mantenimiento de sus funciones, dentro de los programas operados por la Semarnat, Sagarpa, Conafor y Conaza se aplican acciones indirectas con apoyo económico y técnico enfocadas a la realización de obras hidráulicas, de reforestación y de manejo de tierras agrícolas que están dirigidas a conservar este importante recurso natural.

Los programas institucionales más importantes en cuanto a superficie incorporada a la protección y rehabilitación del suelo son el Programa de Suelos Forestales, operado por la Conafor y el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (Piasre), operado por Sagarpa (Figura 3.14). Como parte de las acciones de estos programas se brinda apoyo económico y asesoría técnica a los dueños de las tierras para la ejecución de obras de conservación y restauración de suelos forestales en el primero, y a zonas con sequía recurrente, en el segundo (Cuadro [D3\\_SUELO04\\_01](#); **IB 3-4**).



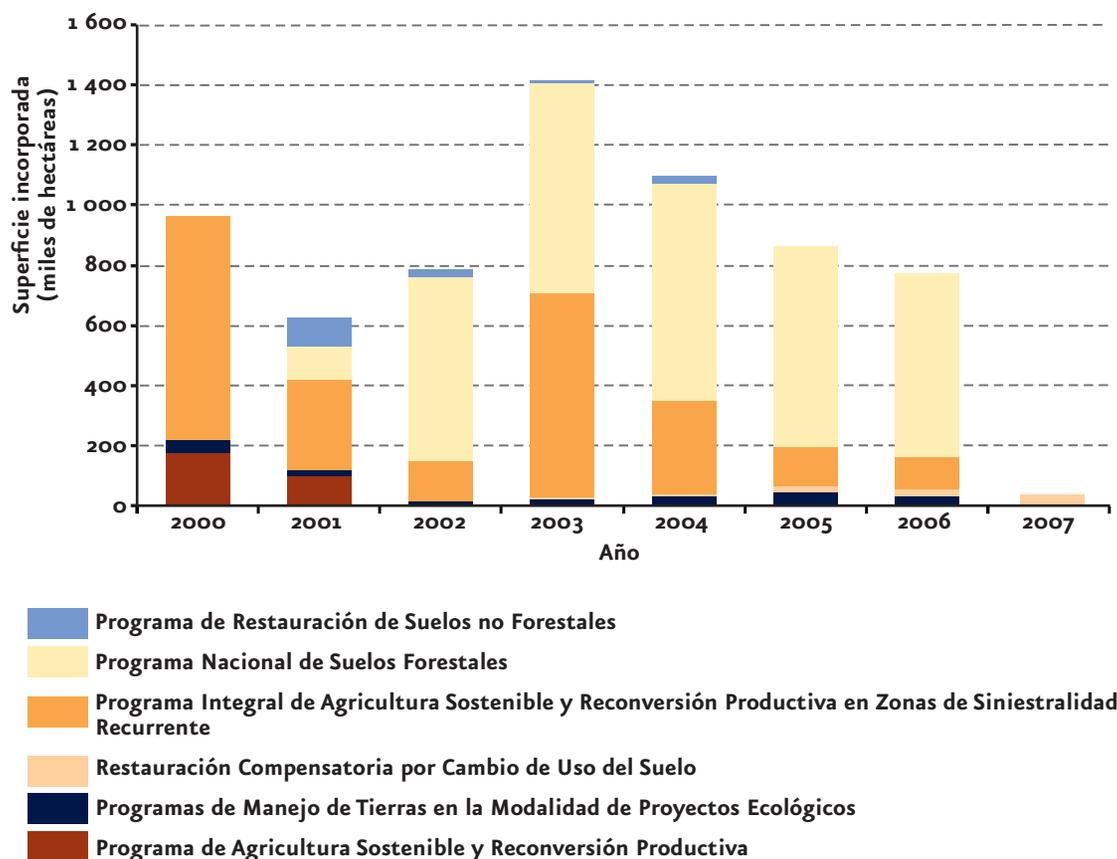
Estos programas apoyan a proyectos de índole muy diversa, como la construcción de represas, el establecimiento de cortinas rompevientos o la reconversión productiva del suelo mediante sistemas silvopastoriles y de agroforestería. Debido a que otros programas forestales

(por ejemplo, el manejo forestal sustentable o la reforestación) también tienen efectos sobre el suelo, es complicado determinar con precisión la superficie en la cual se realizan prácticas de conservación y recuperación (Figura 3.14; **IB 3-4**; Cuadro [D3\\_SUELO04\\_01](#)). Estos problemas también se reflejan en la insuficiente información confiable que permite evaluar el desempeño de estos programas.



Figura 3.14

Superficie incorporada a programas institucionales relacionados con conservación y rehabilitación de suelos, 2000 - 2007<sup>1</sup>



**Nota:**

<sup>1</sup>Los datos reportados para cada uno de los programas no están disponibles para todos los años debido a que están sujetos a diseño y concertación de recursos para su operación. Las superficies incorporadas no son acumulables entre los años porque los productores pueden entrar, retirarse o reafirmar su permanencia en el programa dependiendo de su interés o del cumplimiento de las obligaciones del mismo.

**Fuentes:**

Semarnap-INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente, México 1999. 2000.*  
 Semarnap-INEGI. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1995-1996.* México. 1997.  
 Semarnat. Dirección General de Federalización de Servicios Forestales y de Suelo. México. 2002 y 2007.  
 Sagarpa. Dirección General de Apoyos al Desarrollo Rural, Dirección de Incentivos a la Inversión Rural. México 2004-2007.  
 Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. *Cuarto Informe de Gobierno*, 1 de septiembre 2004. Presidencia de la República. México. 2004.  
 Semarnat. Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables, Dirección de Agricultura y Ganadería. México. 2005-2007.  
 Conafor. Gerencia de Suelos. México. 2005.  
 Conafor. Gerencia de Suelos. Coordinación General de Conservación y Restauración. México. 2007.

Dada la magnitud del problema y la insuficiencia de recursos destinados a este fin, el reto es focalizar los apoyos en función de las características de la degradación de los suelos con acciones específicas para cada tipo y nivel de degradación observado. Las acciones de conservación más comunes que se aplican están dirigidas al control de los escurrimientos que afectan la infraestructura y los

centros de población, pero son poco eficaces para revertir, por ejemplo, el problema de la degradación química, en la modalidad de pérdida de la fertilidad, que es el tipo de degradación dominante (16.6%) en el país, causado principalmente por prácticas agrícolas y pastoriles deficientes (ver Recuadro *¿Es posible recuperar los suelos degradados?*)

Cuando se habla de degradación de suelo, los especialistas y la propia población asentada en el área degradada, buscan alternativas que permitan la recuperación y conservación del recurso edáfico y con él, los beneficios que se obtienen de los ecosistemas. Esto no siempre es sencillo. Se requiere de interés, conocimiento y recursos económicos que en muchos de los casos no se tienen de manera inmediata.

Para recuperar los suelos se requiere del restablecimiento de su calidad, es decir, de su capacidad para promover la productividad del sistema sin perder de vista sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sustentable); atenuar a los contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y la interacción entre la calidad del suelo y la salud de las plantas, animales y humanos.

Bajo estas premisas, la recuperación y conservación de los suelos es un proceso complejo que involucra aspectos ecológicos, sociales y económicos. De esta manera, la susceptibilidad y resiliencia de los suelos y el tipo e intensidad de la degradación determinarán las acciones necesarias, así como el tiempo y los recursos económicos que se requieren invertir en esas tierras. En general, existen pocos estudios que enfatizan la importancia de estos últimos aspectos, los cuales son indispensables en la planeación de estrategias y programas de recuperación y conservación de suelos.

En México, los estudios realizados en escala local en diferentes ecosistemas, muestran que a pesar de todo, la recuperación de la calidad de los suelos degradados es viable cuando se utilizan diferentes técnicas agronómicas.

Por ejemplo, en Lacanjá, Chiapas, los sistemas agroforestales utilizados por los mayas Lacandones, que incluyen la permanencia en el suelo de la hojarasca de *Ochroma pyramidale* y *Sapium laterifolium* en las milpas, acahuals y bosques secundarios, que son sitios donde alguna vez hubo selva húmeda, contribuyen significativamente a la restauración de la fertilidad del suelo y de la productividad primaria. Estas especies funcionan como “bomba de succión” de fósforo e incorporan materia orgánica de lenta descomposición, respectivamente, en un medio donde ambas propiedades son escasas.

Otros ejemplos de recuperación de suelos han sido documentados en cultivos de maíz en la región purépecha. Aquí se determinó que la práctica de labranza de conservación durante 15 años, acompañada de por lo menos 60% de residuos de cultivos, incrementó el contenido de materia orgánica de los suelos hasta en un 50% y que la incorporación de abonos verdes y de cero labranza con rotación de cultivos, pueden incrementar de manera significativa el rendimiento del maíz (hasta 30%), así como los contenidos de nitrógeno y fósforo y la tasa de infiltración de agua.

La selva tropical caducifolia es uno de los ambientes con mayores tasas de deforestación para siembra de maíz y pastos. En este ecosistema, se ha documentado que el uso de hojarasca como cobertura protectora ("mulch") reduce la erosión hasta en 90% en parcelas sembradas con maíz.

Cuando las acciones de tipo biológico no son suficientes, es necesario recurrir a obras de mecanización y construcción de terrazas, además de la incorporación de abonos y fertilizantes. Estas actividades son comunes en la conversión de los tepetates a suelos productivos, lo cual tiene un elevado costo económico. De acuerdo con datos de 1991, los costos de rehabilitación de los tepetates pueden ascender hasta 2 mil dólares por hectárea aproximadamente, con resultados visibles a mediano plazo.

Si bien en estos ejemplos se ha puesto énfasis en el conocimiento técnico de la conservación de suelos, el éxito de este largo proceso reside en la participación y el compromiso de la población y todos los niveles de gobierno. En ese sentido, la dificultad en la recuperación de los suelos no recae tanto en las técnicas sino en la organización, convencimiento y apropiación de parte de los usuarios de la tierra, por un lado, así como de los gobiernos locales y federal, por el otro.

H. Cotler  
(INE, DGOECE)

#### Referencias:

Doran, J.W. y B.T. Parkin. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America. INC. Special Publication No. 35. Madison, Wiscconsin. USA. 1994.

Diemont, S.A.W., J.F. Martin, S. Levy-Tacher, R. Nigh, P. Ramírez y J. Duncan. Lacandon Maya forest management: restoration of soil fertility using native tree species. *Ecological Engineering* 28: 205-212. 2006.

Huber-Sannwald, E., F.T. Maestre, J.E. Herrick, y J.F. Reynolds. Ecohydrological feedbacks and linkages associated with land degradation: a case study from Mexico. *Hydrological Processes* 20: 3395-3411. 2006.

Maass J.M., C.F. Jordan y J. Sarukhán. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *Journal of Applied Ecology* 25:595-607. 1998.

Salinas-García, J.R., A.D. Báez-Gonzalez, M. Tiscareño-López y E. Rosales-Robles. Residue removal and tillage interaction effects on soil properties and rain-fed corn production in Central Mexico. *Soil & Tillage Research* 59:67-69. 2001.

Werner, G. Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. *Terra* 10 (Número especial): 318-331. 1992.

## REFERENCIAS

- Conaza-Sedeso. *Plan de acción para combatir la desertificación en México*. México. 1994. Disponible en: [www.conaza.gob.mx/pacd.htm](http://www.conaza.gob.mx/pacd.htm) Fecha de consulta: 25-09-2008.
- Cotler, H., E. Sotelo, J. Domínguez, M. Zorrilla, S. Cortina, y L. Quiñones. La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* 83:5-71. 2007.
- FAO-ISRIC-ITC. *Lecture notes of the mayor soil of the World*. Rome. 2001. Disponible en: [www.fao.org/docrep/003/Y1899E/y1899e00.htm](http://www.fao.org/docrep/003/Y1899E/y1899e00.htm) Fecha de consulta: 18-08-2008.
- FAO-ISRIC-ISSS. *World reference base for soil resources*. Rome. 1988. Disponible en: [www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm](http://www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm) Fecha de consulta: 19-08-2008.
- FAO. 2001. *Major soils of the world. World reference base for soil resources: Atlas*. CD-Room. Disponible en: [www.isric.org/Isric/Webdocs/Docs/Major\\_Soils\\_of\\_the\\_World/start.pdf](http://www.isric.org/Isric/Webdocs/Docs/Major_Soils_of_the_World/start.pdf) Fecha de consulta: 25-09-2008.
- García, E. *Modificaciones al sistema climático de Köppen adaptado para México*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 1988.
- INE. Ángulo de inclinación de la pendiente, escala 1: 250 000. México. 2003.
- INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000. (Continuo Nacional) México. 2005.
- INEGI. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Serie II*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2007.
- INEGI. Aspectos generales del territorio mexicano. Recursos naturales. Edafología. Disponible en: [http://mapserver.inegi.org.mx/map/datos\\_basicos/edafologia/?s=geo&rc=936](http://mapserver.inegi.org.mx/map/datos_basicos/edafologia/?s=geo&rc=936) Fecha de consulta: 23-09-08.
- INEGI. *II Censo de población y vivienda 2005*. México. 2006.
- MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. USA. 2005.
- Oldeman, L.R. *Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation*. Working paper 88/4. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen. 1998.
- Reynolds, J.F., F.T. Maestre, E. Huber-Sannwald, J. Herrick, y P.R. Kemp. Aspectos económicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas* 14:3-21. 2005.
- Semarnat-CP. *Evaluación de la Degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.
- Semarnat-UACH. *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000*. Memoria 2001-2002. México. 2003.
- UNCCD. *Texto final de la Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África*. 1994. Disponible en: [www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-spa.pdf](http://www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-spa.pdf) Fecha de consulta: 23-09-2008.
- UNCCD. *Estado de ratificación y entrada en vigor de la UNCCD*. 2008. Disponible en: [www.unccd.int/convention/ratif/doiif.php](http://www.unccd.int/convention/ratif/doiif.php) Fecha de consulta: 24-09-2008.

