3 Suelos

El suelo es un elemento clave para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra. Además de ser el principal soporte de la vegetación, la infraestructura y el hábitat de la biodiversidad, participa de manera esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema. El suelo, al igual que los bosques, el agua, e incluso los yacimientos minerales, es un recurso finito que forma parte del capital estratégico natural de cualquier país. Sin embargo, a pesar de ser el sostén de muchas de las economías agrícolas del mundo, se encuentra bajo una creciente presión de deterioro derivada tanto del crecimiento poblacional como de los patrones insostenibles de producción y consumo globales. Su degradación puede explicarse, al menos en parte, a que no se le considera aún en las políticas públicas como un recurso patrimonial ni ambiental de primer orden, debido, en gran medida, a que no es un bien directamente consumible y a la percepción errónea de que es renovable en la escala de tiempo humana, sin embargo, se calcula que una capa de un centímetro de espesor de suelo puede tardar en formarse alrededor de cien años (Zinck, 2005; Guevara *et al.*, 2012; Gardi *et al.*, 2014; FAO, 2015).

Si bien es necesario fortalecer la conciencia sobre el papel fundamental de los suelos, tanto para el funcionamiento de los ecosistemas como para el bienestar humano (ver el recuadro Los servicios ambientales del suelo), también es prioritario contar con información actualizada y confiable sobre su inventario, características y estado, así como de sus dinámicas de formación y degradación. El conocimiento y manejo de la información edafológica constituye la base estratégica para planificar e implementar acciones dirigidas a su estudio, conservación y manejo sustentable (Gardi *et al.*, 2014). En este contexto, el contenido de este capítulo se centra en presentar la información relativa al estado nacional de los suelos, el estado de su degradación y los procesos de desertificación a los que está siendo sometido, así como los programas de conservación y recuperación de suelos que están en marcha en el país.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Exceptuando los glaciares, los cuerpos de agua y las zonas urbanas, el suelo cubre de manera continua la superficie terrestre en una variada gama de tipos. Sin embargo, las ciencias del suelo (p. ej., la edafología y la pedología), no poseen un sistema de clasificación universalmente aceptado y los que son utilizados por la mayoría de los países dependen, en gran medida, de la inversión

Recuadro | Los servicios ambientales del suelo

Los servicios ambientales son los beneficios que la población obtiene de manera directa o indirecta de los ecosistemas. Comúnmente se clasifican en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo, al formar parte de los ecosistemas, contribuye de manera sustancial a cada una de estas categorías, siendo particularmente importante su participación en las tres primeras.

El suelo provee una gran variedad de microambientes para las bacterias, protozoarios, artrópodos y nemátodos, cuya participación es fundamental en los ciclos biogeoquímicos. En el caso particular del ciclo del carbono, y debido a la importancia de este gas en el contexto del cambio climático, la capacidad de almacenamiento del suelo se convierte en un elemento clave en el ciclo global de este elemento. Se ha estimado que los suelos contienen mucho más carbono que el que se encuentra en la vegetación y cerca de dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera. Algunos cálculos ubican el reservorio de carbono en el suelo en el orden de 2 300 gigatoneladas[1] en los primeros tres metros de profundidad, y con capacidad para permanecer retenido por cientos o miles de años, hasta que la propia actividad biológica o geológica lo libera en forma de CO_2. Sin embargo, las actividades humanas, principalmente las agrícolas, han roto este balance natural. Se estima que durante las primeras décadas en que el suelo es cultivado, arriba del 50% del almacén de carbono se pierde como CO_2. Esto ha llevado a que a lo largo de la historia humana, ya se podrían haber liberado entre 50 y 70 gigatoneladas de carbono a la atmósfera (Amudson *et al.*, 2015).

El suelo tiene también un papel muy importante en el ciclo hidrológico. El agua almacenada en el suelo, llamada agua verde (ver la sección Huella hídrica, en el capítulo de Población y medio ambiente de este Informe) representa cerca del 90% del agua consumida por los cultivos alrededor del mundo. Se estima que el flujo global de agua verde representa en torno al 65% del flujo global de agua dulce. Este servicio, junto con la capacidad del suelo para absorber y posteriormente emitir calor, lo convierten también en un importante regulador climático.

Otros servicios de regulación que se obtienen del suelo están asociado a la disponibilidad de nutrientes y compuestos tóxicos. Las cargas eléctricas de sus partículas, combinadas con su tamaño pequeño y su amplia superficie de contacto, proveen las condiciones para que se realicen una amplia gama de reacciones químicas. Estas reacciones pueden desactivar o reducir la toxicidad de los contaminantes que llegan al suelo, y con ello evitar su paso a las aguas subterráneas o afectar las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

El servicio ambiental más conocido que provee el suelo es el de provisión, ya que es el sustrato para la obtención de cultivos comestibles, para forraje, fibras y combustible. Se estima que 95% de los alimentos se producen directa o indirectamente en los suelos. También es la veta de materiales utilizados en la construcción (arenas, gravas y arcillas) y para objetos diversos

[1] Una gigatonelada equivale a mil millones de toneladas.

(piedras y metales preciosos). El suelo es el hábitat de organismos que son fuente de genes utilizados en el desarrollo biotecnológico, en el control de los patógenos o para promover el crecimiento vegetal.

Atendiendo a la importancia del suelo como recurso fundamental en la lucha contra el hambre y la inseguridad alimentaria, y como proveedor de otros servicios ambientales, la FAO junto a sus Estados miembros, implementaron la Alianza Mundial por el Suelo como estrategia para promover su manejo sostenible e incluirlo en las diversas agendas de desarrollo. Así mismo, la Asamblea General de las Naciones Unidas decretó a 2015 como el Año Internacional de los Suelos, entre cuyos objetivos específicos se encontraban apoyar políticas y medidas eficaces para la gestión y protección sostenibles del suelo, promover inversiones en actividades sostenibles y generar conciencia sobre este recurso tanto en la sociedad civil como en los responsables de la toma de decisiones.

Referencias:

Amudson, R., A.A. Berche, J.W. Hopmans, C. Olson, A.E. Sztein y D.L. Sparks. Soil and human security in the 21st century. *Science* 348 (6235): 1261071-1 - 1261071-6. 2015.

FAO. *Carbon sequestration in dryland soils.* World Soils Resources Reports. No. 102. FAO. Rome. 2004. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr102.pdf. Fecha de consulta: enero de 2016.

Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends.* MEA. Island Press. Washington, D.C. 2005.

ONU. *Resolución aprobada por la Asamblea General del 20 de diciembre de 2013. 68/232.* Día Mundial del Suelo y Año Internacional de los Suelos. 7 de febrero de 2014.

Sposito, G. Green water and global food security. *Vadose Zone Journal* 12(4). 2013.

que se realiza en el levantamiento de los suelos para su diagnóstico. De hecho, muchos países cuentan con un método propio de clasificación que puede basarse simplemente en necesidades prácticas, a tal grado, que los nombres que utilizan son locales y tienen sentido sólo en esa región (Gardi *et al.*, 2014). Esta situación complica la comparación internacional, ya que normalmente no hay una equivalencia entre estos sistemas clasificatorios. Existen, sin embargo, un par de intentos para armonizar la forma de clasificar y caracterizar los suelos: la taxonomía de suelos de la USDA[1] y la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (World Reference Base for Soil Resources, conocida como WRB por sus siglas en inglés), liderada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Esta última retoma las características mínimas indispensables de los suelos y es menos costosa, además de que es importante en algunos sistemas nacionales porque incorpora los suelos típicos de varias regiones del mundo a su descripción general, por lo que su objetivo no es sustituir, sino facilitar la comunicación internacional a través de un lenguaje que incorpore los términos edáficos comunes (WRB, 2014).

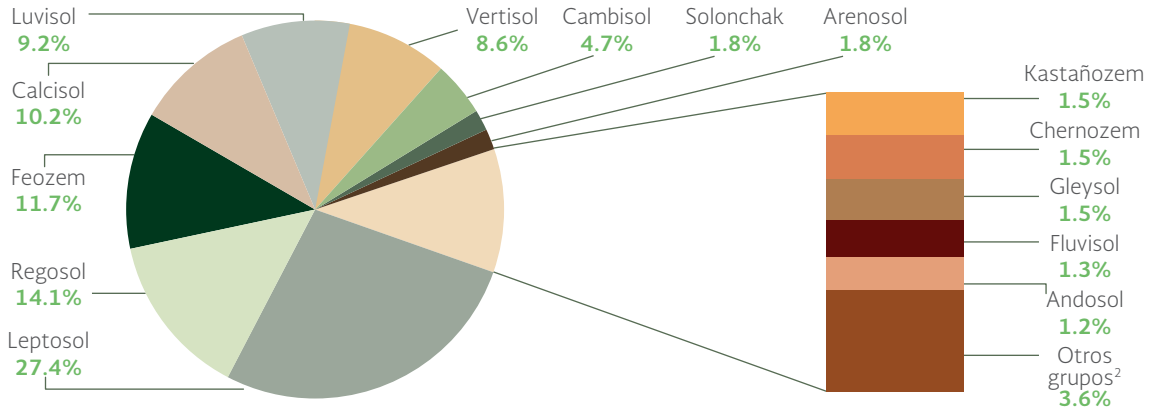
[1] USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Para la WRB, el suelo es cualquier material dentro de los dos metros de superficie terrestre que está en contacto con la atmósfera, con exclusión de los organismos vivos, las áreas con hielo continuo que no están cubiertas por otro material y los cuerpos de agua con profundidades mayores a dos metros. Sin embargo, incluye la roca continua, los suelos urbanos pavimentados, de áreas industriales, de cuevas y los suelos subacuáticos (WRB, 2014). La clasificación más actualizada de la WRB (2014) incluye 32 unidades de suelo, y está basada en las diferencias que existen en sus características diagnósticas (horizontes, propiedades físicas, químicas y biológicas) y la relación con sus factores formadores (roca madre, clima, topografía, biota y tiempo; Gardi *et al.*, 2014; WRB, 2014). El sistema de clasificación edáfica utilizado oficialmente en México por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es el de la WRB adaptado para las condiciones ambientales nacionales a partir de 1968, y reportado en la primera versión de las cartas edafológicas del INEGI.

SUELOS DE MÉXICO

El INEGI reporta la presencia en México de 25 de las 32 unidades de suelo que aparecen en la clasificación WRB. Esta riqueza edáfica se puede explicar por las múltiples combinaciones de los factores que forman el suelo y que se presentan en el territorio nacional. A pesar de que seis grupos cubren en conjunto el 80.7% de la superficie nacional, la diversidad edáfica nacional la determinan los restantes 19 grupos distribuidos en un gran número de microrrelieves, microclimas y tipos de vegetación (Cruz *et al.*, 2007). Las seis unidades dominantes son: Leptosoles (con 52.6 millones de ha, 27.4% del territorio), Regosoles (27 millones de ha; 14.1%), Feozems (22.5 millones de ha; 11.7%), Calcisoles (19.6 millones de ha; 10.2%), Luvisoles (17. 7 millones de ha; 9.2%) y Vertisoles (16.5 millones de ha; 8.6%; Figura 3.1). Las 19 unidades minoritarias cubren una superficie aproximada de 36 millones de hectáreas (Mapa 3.1). Para mayores detalles respecto a las características de los suelos mencionados, consultar el recuadro Unidades principales de suelo en México.

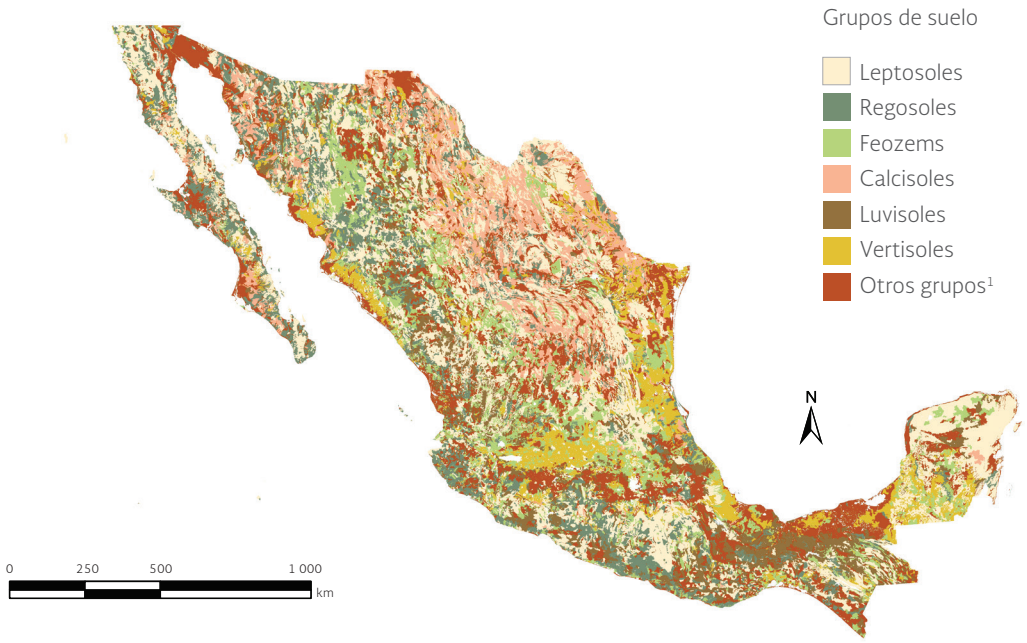
Figura 3.1 | *Superficie relativa[1] de los principales grupos de suelo en México*



Notas:
[1] Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.
[2] Incluye: Acrisol, Alisol, Durisol, Gypsisol, Histosol, Lixisol, Nitisol, Planosol, Plintosol, Solonetz y Umbrisol.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Serie II, escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2007.

Mapa 3.1 | *Principales grupos de suelo en México*



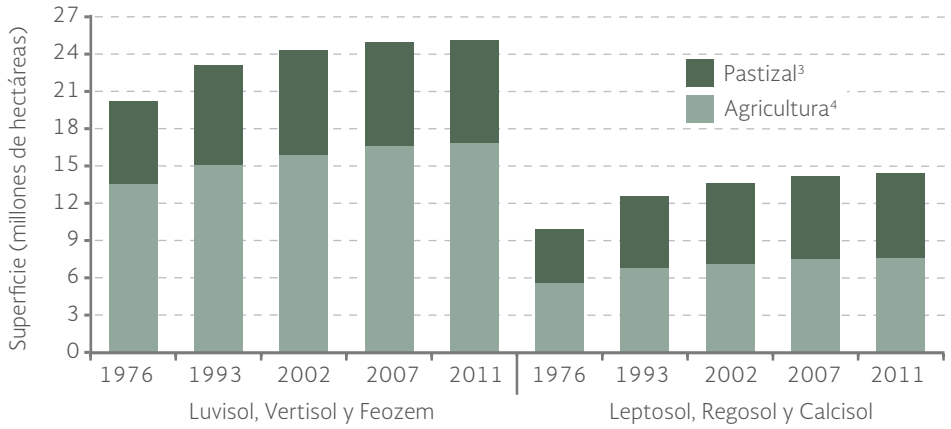
Nota:
[1] Incluye: Acrisol, Alisol, Andosol, Arenosol, Cambisol, Chernozem, Durisol, Fluvisol, Gleysol, Gypsisol, Histosol, Kastañozem, Lixisol, Nitisol, Planosol, Plintosol, Solonetz, Solonchak y Umbrisol.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Serie II, escala 1: 250 000*. INEGI. México. 2007.

AGRICULTURA Y GRUPOS DE SUELO

De las seis unidades de suelo dominantes en México, tres tienen características que las vuelven apropiadas para su aprovechamiento agrícola: los Luvisoles, Vertisoles y Feozems. La superficie conjunta de estos suelos que está dedicada a labores agropecuarias ha crecido significativamente en las últimas décadas. A mediados de los años setenta del siglo pasado, del área total ocupada por estos suelos, el 35.8% era utilizada en actividades agropecuarias (24.1% dedicado a la agricultura y 11.7% para pastizales ganaderos), alcanzando en 2011 el 44.7% (30% en agricultura y 14.7% en pastizales; Figura 3.2). Los tres restantes grupos de suelo dominantes tienen propiedades que dificultan su aprovechamiento agrícola y aumentan su vulnerabilidad a la erosión. Los Leptosoles tienen severas limitaciones para el enraizamiento de las plantas, debido a su poca profundidad, los Regosoles son relativamente jóvenes por lo que tienen poco o nulo desarrollo del perfil, mientras que los Calcisoles tienen elevadas concentraciones de carbonato de calcio. Sin embargo, a pesar de estas características su uso para actividades agropecuarias ha aumentado. A mitad de la década de los setenta, el 9.9% de la superficie que ocupaba este conjunto de suelos estaba dedicado a las actividades agropecuarias, mientras que a finales de la primera década del siglo XXI, esta cifra alcanzaba 14.4% (7.6% en agricultura y 6.8% en pastizales; Figura 3.2).

Figura 3.2 | *Superficie agropecuaria según grupo de suelos, 1976, 1993, 2002, 2007 y 2011*[1,2]



Notas:
[1] Aunque la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I hace referencia al año 1976, para su elaboración se emplearon fotografías aéreas de prácticamente toda la década de los 70.
[2] Los valores se calcularon tomando como base la superficie conjunta de estos suelos a nivel nacional reportada por INEGI (2007), y la extensión de uso del suelo y vegetación reportada también por INEGI (1993, 2004, 2005, 2011 y 2013) para los años 1976, 1993, 2002, 2007 y 2011.
[3] Pastizal incluye: pastizal cultivado, inducido y sabanoide.
[4] Agricultura incluye: riego, temporal y humedad.

Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986), escala 1: 250 000.* INEGI. México. 1993.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993), escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2004.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1: 250 000* (Continuo Nacional). INEGI. México. 2005.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007), escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2011.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2013.
INEGI. *Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos. Serie II, escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2007.

LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO

Los procesos de la degradación del suelo son un fenómeno presente en todo el mundo, con diferentes niveles e impactos en la sociedad. Implican la reducción de su complejidad biológica, de su capacidad para producir bienes económicos y de llevar a cabo funciones de regulación directamente relacionadas con el bienestar humano, como son la productividad agrícola y el mantenimiento de la calidad del agua y el aire (Lal, 1998). La FAO define a la degradación como un cambio en la salud del suelo, que se refleja en la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes y servicios ambientales, tanto directos como indirectos (FAO, s/a). Puede ser de origen natural y humano, y es el resultado de una compleja interacción de factores naturales, como el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima; de factores socioeconómicos como la densidad poblacional, tenencia de la tierra, las políticas ambientales y los usos y gestión del suelo (Gardi *et al.*, 2014).

La preocupación e importancia de la degradación de los suelos se debe a la pérdida y deterioro de la calidad de los servicios ambientales que se obtienen de él, siendo quizá los más importantes la producción de alimentos y la captación de agua. El problema de la degradación y de la pérdida de productividad de los suelos se extiende, en muchos casos, más allá de las afectaciones a este recurso, cuando zonas con coberturas forestales o de otros ecosistemas naturales se transforman a campos de cultivo, con lo cual, además de los daños a la biodiversidad, se producen grandes pérdidas de carbono orgánico del suelo y, por ende, la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Recuadro | Unidades principales de suelo en México

En México existe una gran diversidad edáfica, representada por 25 grupos de suelo. Sin embargo, sólo seis de ellos (Leptosoles, Regosoles, Feozems, Calcisoles, Luvisoles y Vertisoles) ocupan en conjunto 81.7% del territorio. Las características principales de estos suelos son:

Los Leptosoles (del griego *leptos*, delgado) son suelos someros y pedregosos que pueden tener roca continua en o muy cerca de la superficie. Se encuentran en todos los tipos de climas (secos, templados, húmedos) y son particularmente comunes en las zonas montañosas y en planicies calizas superficiales. El calcio que contienen puede inmovilizar los minerales, lo cual junto con su poca profundidad y alta pedregosidad, limita su uso agrícola si no se utilizan técnicas apropiadas, por lo que debe preferirse mantenerlos con su vegetación original. Son los suelos de mayor distribución a nivel mundial con alrededor de 1 655 millones de hectáreas (IUSS, 2007). En México, los Leptosoles cubren 54.3 millones de hectáreas y son particularmente comunes en las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, las penínsulas de Yucatán y Baja California, y una vasta región del Desierto Chihuahuense.

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 (IUSS, 2007). En general, son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado[1], de colores claros y pobres en materia orgánica y con mínimo desarrollo de perfil. Se encuentran en todos los climas, con excepción de zonas de permafrost, y en todas las elevaciones, y son particularmente comunes en las regiones áridas, semiáridas (incluyendo los trópicos secos) y montañosas. Los Regosoles de las zonas áridas tienen escasa vocación agrícola, aunque su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables (IUSS, 2007), mientras que los de regiones montañosas son frágiles y susceptibles a la erosión, por lo que no son convenientes para actividades agropecuarias. A nivel mundial, los Regosoles ocupan alrededor de 260 millones de hectáreas (IUSS, 2007), mientras que en México lo hacen en 26.3 millones de hectáreas, distribuidos entre otras zonas en la Sierra Madre Occidental y del Sur, y en la Península de Baja California.

Los Feozems (del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, tierra) son suelos porosos, oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que se utilizan intensivamente en la agricultura; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes. Se utilizan para la producción de granos (soya, trigo y cebada, por ejemplo) y hortalizas, y como zonas de agostadero cuando están cubiertos por pastos. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. A nivel mundial ocupan alrededor de 190 millones de hectáreas, de las cuales cerca de una cuarta parte se encuentra en las pampas argentinas y uruguayas (IUSS, 2007). En México, están en aproximadamente 22.5 millones de hectáreas que se distribuyen, entre otras regiones, en porciones del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Occidental, la Península de Yucatán, Guanajuato y Querétaro, principalmente.

[1] Es un agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.

Los Calcisoles (del latín *calx*, cal) son suelos con acumulación sustancial de material calcáreo. Están muy extendidos en ambientes áridos y semiáridos. Provienen principalmente de depósitos aluviales, coluviales y eólicos de material meteorizado. 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 (IUSS, 2007). Los matorrales xerófilos son los ecosistemas naturales típicos de estos suelos. Es difícil calcular con exactitud la superficie mundial que ocupan 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, cubren alrededor de 20 millones de hectáreas y se encuentran principalmente 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 forman a partir de una gran variedad 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 marcada estacionalidad de lluvia y sequía. Se encuentran dentro de los suelos más fértiles, por lo que su uso agrícola es muy elevado, sobre todo para 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 y en México en 17.3 millones, siendo la Sierra Madre Occidental, Guerrero, Oaxaca, Campeche y la Península de Yucatán, algunas de sus zonas de distribución.

Los Vertisoles (del latín *vertere*, invertir) son suelos muy comunes 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 y matorrales. 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 y con alto riesgo de salinización (IUSS, 2007). Su uso agrícola, particularmente de riego, es muy extenso, variado y productivo. A nivel mundial ocupan alrededor de 335 millones de hectáreas, de las cuales cerca de la mitad se destinan al cultivo de maíz. En México cubren 16.5 millones de hectáreas y ocupan gran parte de los principales distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz.

Referencias:

INEGI. *Conjunto Nacional de Información Edafológica.* Serie II. INEGI. México. 2007.

IUSS *Grupo de Trabajo WRB. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. FAO. Roma. 2007.

Por lo anterior, es necesario dar a conocer la información sobre la extensión de la degradación, sus tipos y niveles para tomar las medidas necesarias de prevención, recuperación y, sobre todo, de su remediación (Zinck, 2005).

Regularmente, la información sobre la degradación de los suelos se obtenía a partir de los inventarios edáficos nacionales o regionales. Sin embargo, desde la década de los años noventa muchos países dejaron de actualizarlos, principalmente por lo complejo y costoso de su levantamiento, ya que involucran personal altamente especializado, tanto para realizar determinaciones en campo y laboratorio, como para el uso de herramientas de teledetección (p. ej., imágenes de satélite) y de sistemas de información geográfica (Zinck, 2005).

En México, los estudios sobre la degradación de suelos datan de mediados del siglo pasado, pero debido a diferencias metodológicas, a los objetivos en su valoración, las estimaciones difieren significativamente entre sí y no son comparables (Tabla 3.1; Semarnat y CP, 2003). Esto implica no tener una descripción precisa de los cambios ocurridos a través del tiempo con respecto a la superficie nacional de suelos degradados.

En los primeros años de la década pasada, se publicó la *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000* (Semarnat y UACh, 2003). En este estudio se determinó de manera indirecta la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica a partir de información cartográfica (p. ej., de edafología y precipitación) y de modelos paramétricos (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos y Ecuación de la Erosión Eólica) que fueron alimentados

Tabla 3.1 | *Estimaciones de la superficie nacional afectada por erosión[1] del suelo*

Autor	*Año*	*Superficie nacional afectada (%)*	*Forma de cuantificación*
Baldwin	1945	45	Indirecta
SARH	1960	69	Estimaciones visuales
Andrade	1975	80	
Estrada y Ortiz	1982	98	Ecuaciones paramétricas
García	1983	71	Imágenes de satélite
SARH	1986	81	Imágenes de satélite
Geissert y Rossignol	1987	86	Indirecta

Nota:
[1] Se refiere a un grupo de procesos (lluvia, viento u oleaje) que descomponen, desintegran, remueven, transportan y acumulan materiales sobre la superficie de la tierra, modelando y transformando el paisaje.

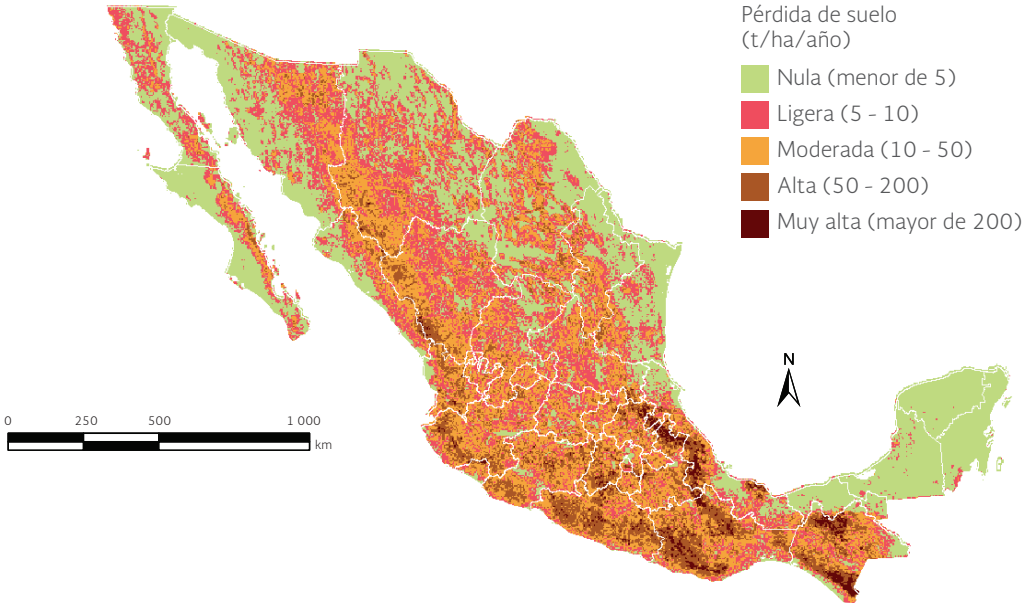
Fuente:
Tomado de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor, UAch. México. 2013.

por diversas variables evaluadas en muestras de suelo. Por su metodología, la estimación resultante es más una medida de la degradación potencial[2] y es una evaluación indirecta de la degradación existente en el país. Este enfoque, sin embargo, permite identificar las zonas que se encuentran en mayor riesgo, y con ello contribuir a la toma de decisiones sobre el uso del suelo en el marco del desarrollo sustentable, de tal manera que se impida o reduzca su degradación.

Los resultados de este trabajo muestran que 42% de la superficie nacional podría estar afectada por erosión hídrica, y que 17 entidades federativas presentarían daño en más de 50% de su territorio, entre ellas Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y 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 riesgo de presentar alta y muy alta pérdida de suelo por erosión hídrica (Mapa 3.2).

Con respecto a la erosión eólica, se estimó que 89% del territorio nacional estaría en riesgo de ser afectado. Prácticamente el 100% del territorio de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Durango y Zacatecas, tendría alta y muy alta erosión eólica potencial, lo que concuerda con los tipos de vegetación y climas típicos en las zonas áridas y semiáridas del país. Sólo dos entidades mostraron menos de 30% de su territorio con riesgo de presentar erosión eólica: Chiapas (29.3%) y el Distrito Federal (21.8%; Mapa 3.3).

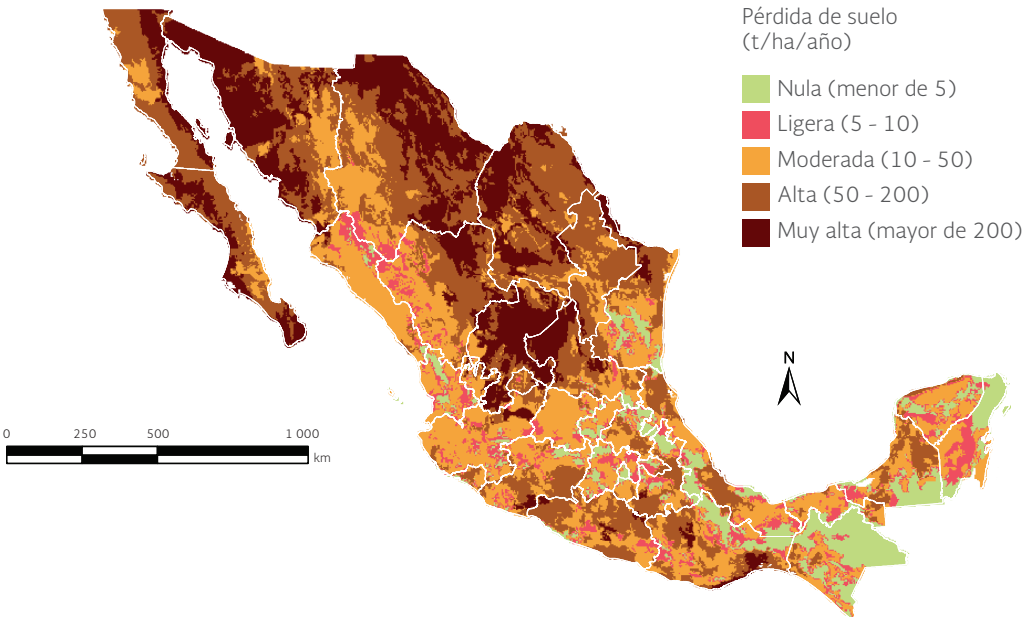
Mapa 3.2 | *Erosión hídrica potencial de suelos según nivel, 2002*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat y UACh. *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000. Memoria 2001-2002*. Semarnat y UACh. México. 2003.

[2] Se refiere a que el trabajo al que se hace referencia es cartográfico, con puntos de reconocimiento en campo y apoyado en datos cuantitativos generados en otros estudios.

Mapa 3.3 | *Erosión eólica potencial de suelos según nivel, 2002*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat y UACh. *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000. Memoria 2001-2002.* Semarnat y UACh. México. 2003.

En el año 2003 se publicaron los resultados del estudio denominado *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000* (Semarnat y CP, 2003)[3]. Esta evaluación parte de la metodología de Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en el Sur y Sureste de Asia (ASSOD, por sus siglas en inglés), la cual es una modificación de otra metodología usada por el Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos (ISRIC) para elaborar el Mapa Mundial de la Degradación del Suelo inducida por el Hombre (GLASSOD, por sus siglas en inglés). En la metodología ASSOD no se consideró el proceso de degradación biológica debido a lo complejo de su documentación, y se sustenta en un amplio muestreo en campo que permitió determinar de manera directa cuatro procesos de degradación: degradación física y química y erosión eólica e hídrica, cada uno de ellos con diversos tipos específicos y niveles (ligero, moderado, fuerte y extremo); así como las causas de cada proceso. Estas variables se ubicaron en espaciomapas de INEGI en escala 1: 250 000. Con estas bases, la Evaluación de la Degradación del Suelo causada por en el hombre en la República Mexicana es hasta hoy el estudio de degradación de mayor resolución que se ha hecho para México.

Los resultados de esta evaluación indican que el 44.9% de los suelos del país se encontraban afectados por algún proceso de degradación. La degradación química ocupaba el primer lugar en extensión (34 millones de ha, 17.8% del territorio nacional), seguida por la erosión hídrica (22.7 millones de ha, 11.9%), eólica (18.1 millones de ha, 9.5%) y, al final, la degradación física

[3] Aunque existen evaluaciones más recientes realizadas en la presente década, sus resultados está sujetos a validación, por lo que los datos que continúan siendo oficiales para México en cuanto a superficie afectada por degradación del suelo son los que se reportan en la *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana.*

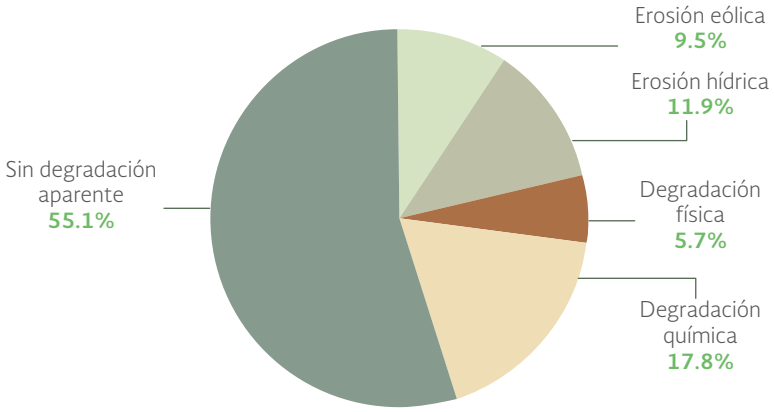
(10.8 millones de ha, 5.7%); mientras que los suelos sin degradación aparente ocupaban el 55.1% restante del territorio nacional (105.2 millones de ha; Figura 3.3; **IB 3.3, IC 13**). Los cuatro procesos de degradación del suelo, así como la superficie sin degradación aparente, se detectaron tanto en suelos de ecosistemas naturales como manejados.

Para profundizar en el análisis de la degradación, cada proceso se subdividió en tipos específicos. En los casos de erosión hídrica y eólica se dividieron en pérdida de suelo superficial, deformación de terreno y efectos fuera de sitio. En ambos casos, la pérdida de suelo superficial representó el tipo específico dominante, ya que en la erosión hídrica alcanzó 88%, y en la eólica, el 95.5% de la superficie nacional afectada por cada uno de estos procesos de degradación.

Para la degradación química, los tipos específicos fueron la disminución de la fertilidad, polución, salinización-alcalinización y eutrofización; mientras que para la física, fueron la compactación, pérdida de la función productiva, disminución de la disponibilidad de agua, encostramiento y sellamiento y anegamiento. En la degradación química predominó la disminución de la fertilidad (92.7% de la superficie nacional con degradación química) y en la física, la compactación (68.2% de la superficie nacional con degradación física; Figura 3.4; Cuadro D3_SUELO03_01).

El otro ángulo de análisis de la degradación de suelo fue a través del nivel de afectación, el cual se determinó a partir de la reducción de la productividad biológica[4]. De esta manera, el 2.1% (3.97 millones de ha) del país presentaba niveles de degradación fuerte y extremo y el 42.8% (81.78 millones de ha), ligero y moderado (Figura 3.5; Cuadro D3_SUELO03_01).

Figura 3.3 | *Superficie relativa[1] afectada por procesos de degradación del suelo en México, 2002[2]*

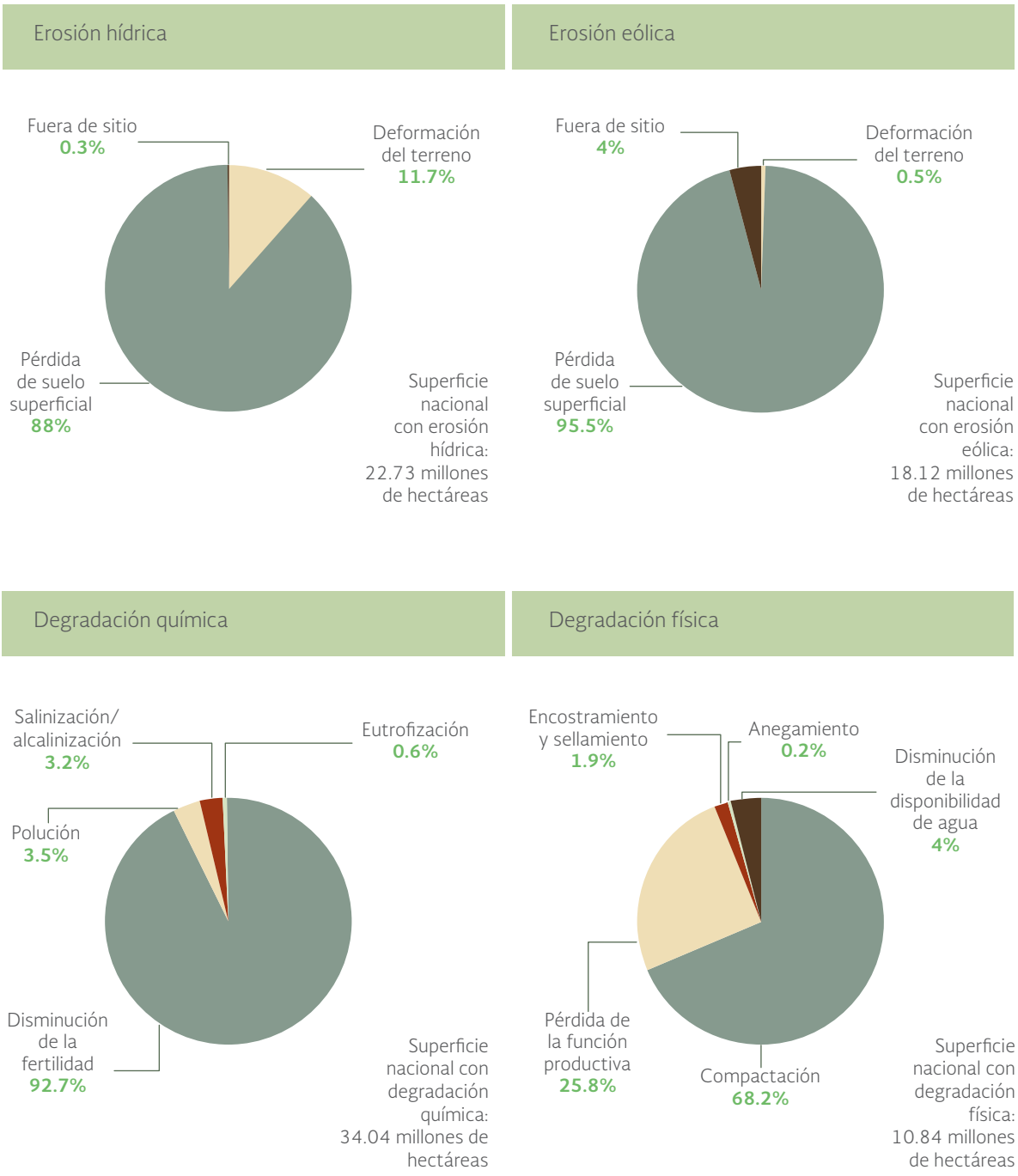


Notas:
[1] Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.
[2] Superficie nacional considerada: 1 909 818.5 km². No incluye cuerpos de agua, asentamientos humanos, zonas urbanas, regiones desprovistas de vegetación y superficie insular.

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

[4] El estudio describe cuatro niveles de afectación: ligero, donde los terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas presentan alguna reducción apenas perceptible en su productividad; moderado, en el cual los terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas presentan una marcada reducción en su productividad; fuerte, en donde los terrenos a nivel de predio o de granja tienen una degradación tan severa que se pueden considerar con productividad irrecuperable a menos que se realicen grandes trabajos de ingeniería para su restauración; y extremo, cuya productividad es irrecuperable y su restauración materialmente imposible.

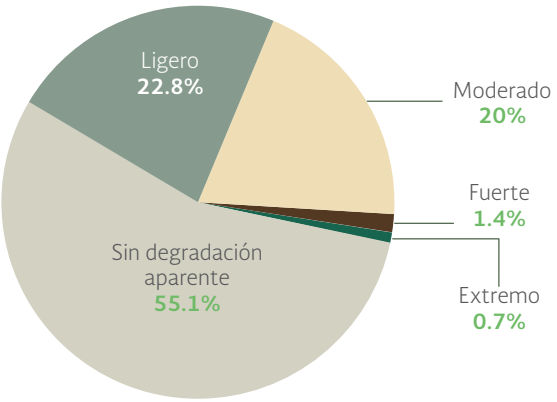
Figura 3.4 | *Superficie relativa[1] afectada por degradación del suelo por proceso y tipo en México, 2002*



Nota:
[1] Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

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

Figura 3.5 *Superficie relativa afectada por degradación del suelo según nivel en México, 2002*



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

La combinación de los dos criterios descritos (procesos y niveles) mostró que entre 55 y 62% de la superficie con erosión hídrica y degradación química y física, se encontraba en nivel ligero, mientras que para el caso de la erosión eólica, la mayor proporción de superficie afectada (alrededor de 67%) se encontraba en el nivel moderado (Figura 3.6).

Los resultados nacionales anteriormente descritos muestran diferencias importantes en cuanto a la degradación del suelo en cada entidad federativa. Por ello, en las siguientes secciones se describen de manera detallada los cuatro procesos de degradación (erosión hídrica y eólica y degradación química y física), los niveles de afectación en que se presentan y su distribución geográfica en el territorio nacional.

EROSIÓN HÍDRICA

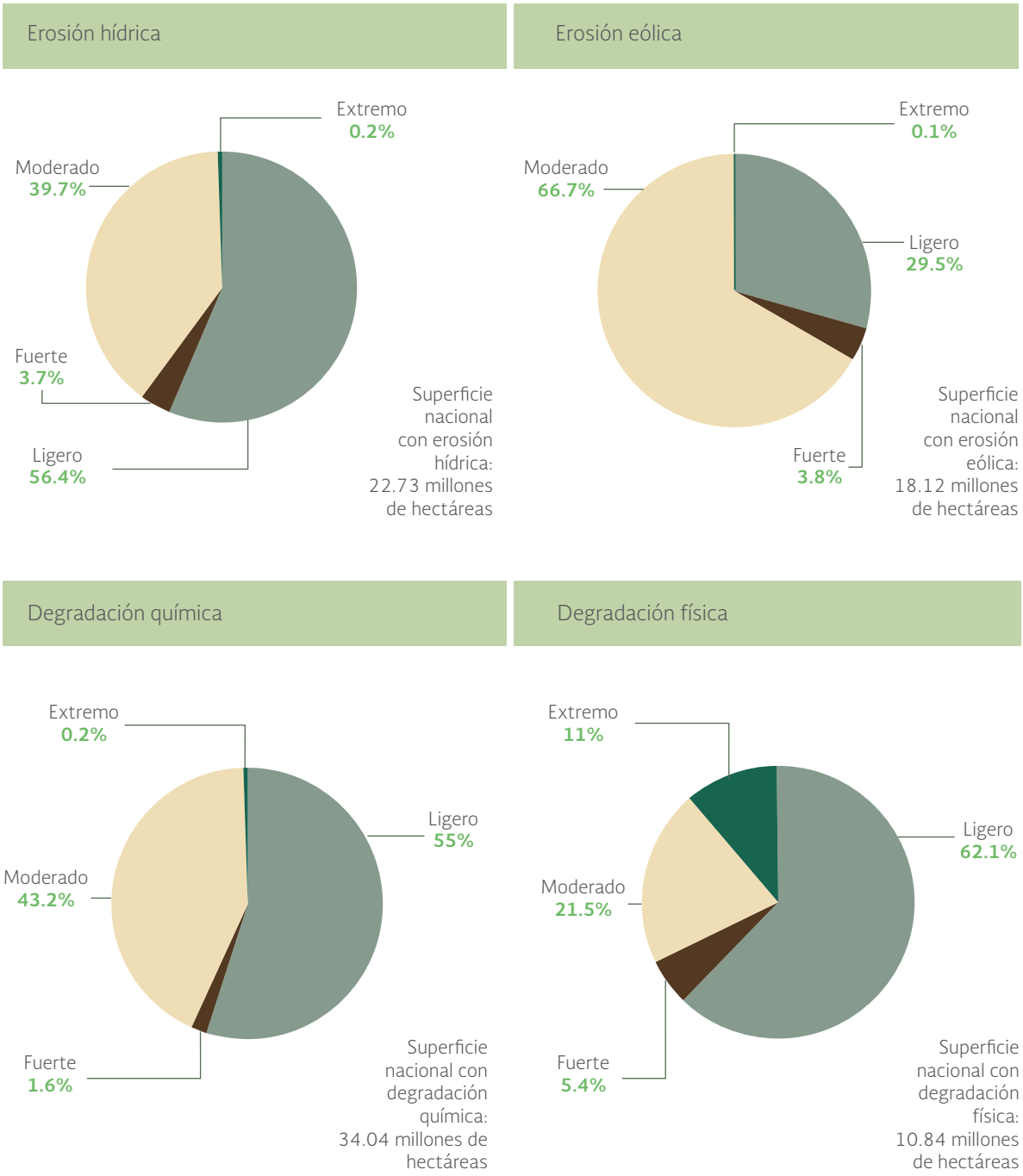
La tasa y magnitud de la erosión hídrica están controladas principalmente por la intensidad de la lluvia, la erodabilidad propia de los suelos, la pendiente del terreno y la cubierta vegetal. Estos factores, combinados con el manejo inadecuado de las tierras forestales, agrícolas y ganaderas, provocaron que para el 2002 la erosión hídrica estuviera presente en casi 12% del territorio nacional (22.73 millones de ha). De esta superficie, 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 3.4, Cuadro D3_SUELO03_03). Si se analiza a nivel estatal, en proporción relativa a su territorio, Guerrero resultó la entidad mayormente afectada con 31.8% con este tipo de erosión; mientras que Baja California Sur (0.03%), Baja California (0.1%) y Veracruz (1%) se encontraban entre las menos afectadas (Tabla 3.2).

EROSIÓN EÓLICA

La erosión eólica comparte con la erosión hídrica dos de los factores que controlan su tasa y magnitud, estos son la erodabilidad y la presencia de la vegetación. Sin embargo, en este proceso, la rugosidad del suelo[5] y el clima también desempeñan papeles significativos. Este tipo de erosión afecta principalmente a las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país, aunque no es exclusiva de ellas. Su presencia está asociada a una insuficiente protección del suelo por la cubierta vegetal, a la destrucción de la estructura del suelo y a niveles bajos de humedad. A escala nacional, 18.12 millones de hectáreas (equivalentes al 9.5% del territorio) muestran evidencias de erosión eólica. Con respecto a los niveles de afectación, de la superficie nacional con erosión eólica, 66.7% se encuentra en nivel moderado, 29.5% en ligero y 3.9% entre fuerte y extremo (Figura 3.6; Mapa 3.5; Cuadro D3_SUELO03_03).

[5] La rugosidad es importante porque las superficies planas y lisas ofrecen menos resistencia al viento, y en el caso del clima, resulta relevante porque la dirección y velocidad del viento determina el movimiento de las partículas y la desecación del suelo.

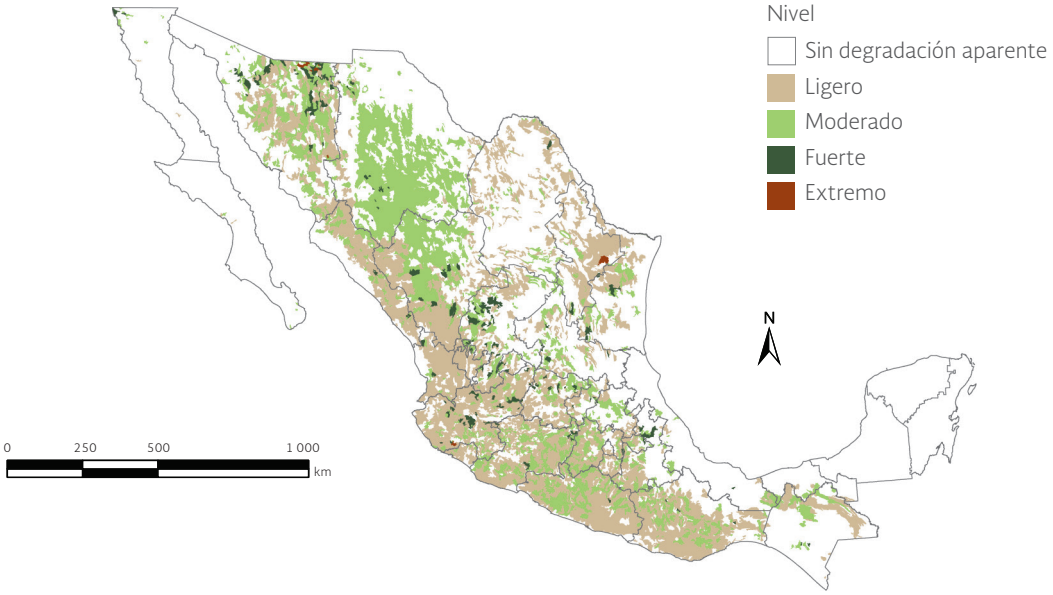
Figura 3.6 | *Superficie relativa[1] afectada por degradación del suelo por proceso y nivel en México, 2002*



Nota:
[1] Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

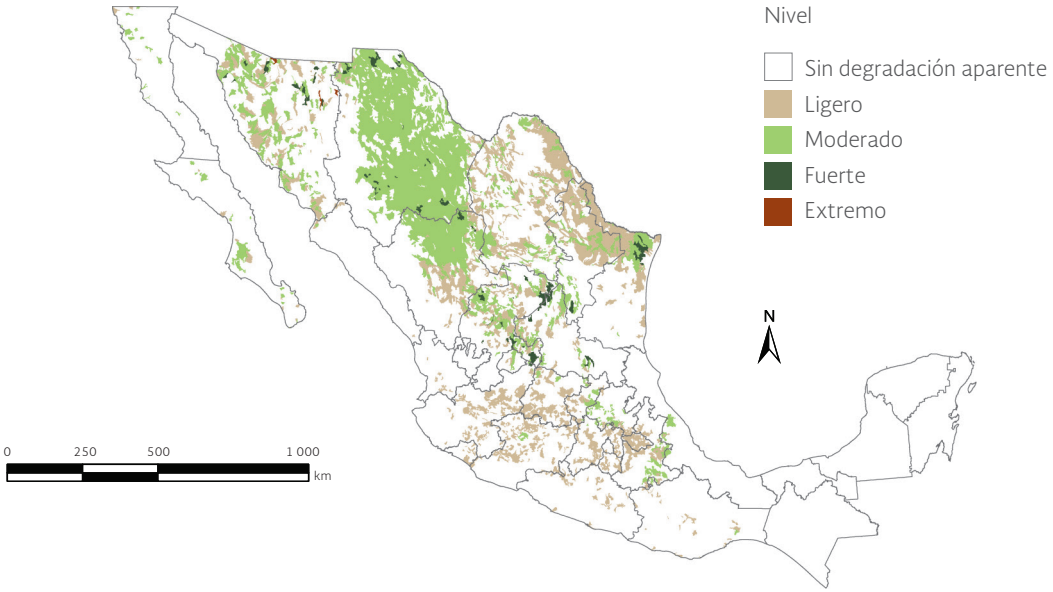
Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat y CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002.* Semarnat y CP. México. 2003.

Mapa 3.4 | *Erosión hídrica de suelos según nivel en México, 2002*



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

Mapa 3.5 | *Erosión eólica de suelos según nivel en México, 2002*



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

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

	Deformación de terreno		*Pérdida de suelo superficial*		*Fuera de sitio*		*Superficie estatal afectada*	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	20	3.7	110.67	20.5	0	0	130.66	24.1
Baja California	2.7	0.04	3.93	0.1	0	0	6.58	0.1
Baja California Sur	1.1	0.02	1.14	0.02	0	0	2.20	0.03
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	108.3	0.7	495.53	3.3	0	0	603.85	4.0
Colima	5.7	1.1	109.61	20.2	0	0	115.31	21.3
Chiapas	42.5	0.6	324.71	4.5	0	0	367.18	5.1
Chihuahua	35.3	0.1	2 915.07	11.9	0	0	2 950.42	12.0
Distrito Federal	0.7	0.9	15.77	17.9	0	0	16.52	18.8
Durango	208.4	1.7	2 608.14	21.5	0	0	2 816.59	23.2
Guanajuato	104.4	3.5	598.01	20.2	1.79	0.1	704.19	23.8
Guerrero	351	5.6	1 643.62	26.2	0	0	1 994.65	31.8
Hidalgo	10.9	0.5	120.73	5.9	0	0	131.61	6.5
Jalisco	182.7	2.4	1 723.26	22.8	6.52	0.1	1 912.51	25.3
México	158.0	7.5	382.92	18.2	0	0	540.94	25.7
Michoacán	243.0	4.3	1 292.23	22.8	0	0	1 535.22	27.1
Morelos	12.3	2.6	51.64	11.0	0	0	63.93	13.7
Nayarit	5.0	0.2	482.55	17.8	0	0	487.59	18.0
Nuevo León	102.8	1.6	564.42	9.0	0	0	667.21	10.6
Oaxaca	231.7	2.5	1 436.73	15.7	0	0	1 668.44	18.3
Puebla	105	3.1	232.42	6.9	0	0	337.46	10.1
Querétaro	11.6	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	80.0	1.3	352.25	5.9	33.46	0.6	465.68	7.8
Sinaloa	41.7	0.8	821.60	15.4	0	0	863.27	16.2
Sonora	162	0.9	2 150.64	12.0	0	0	2 312.60	12.9
Tabasco	0.6	0	55.59	2.4	0	0	56.15	2.4
Tamaulipas	119.7	1.6	496.50	6.6	4.13	0.1	620.37	8.3
Tlaxcala	21.2	5.4	50.87	13.0	0	0	72.02	18.4
Veracruz	2.8	0.04	57.17	0.8	6.12	0.1	66.13	1.0
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	289.3	3.9	757.31	10.2	6.87	0.1	1 053.51	14.2
Superficie nacional afectada	**2 660.4**	**1.4**	**20 003.97**	**10.5**	**61.3**	**0.03**	**22 725.7**	**11.9**

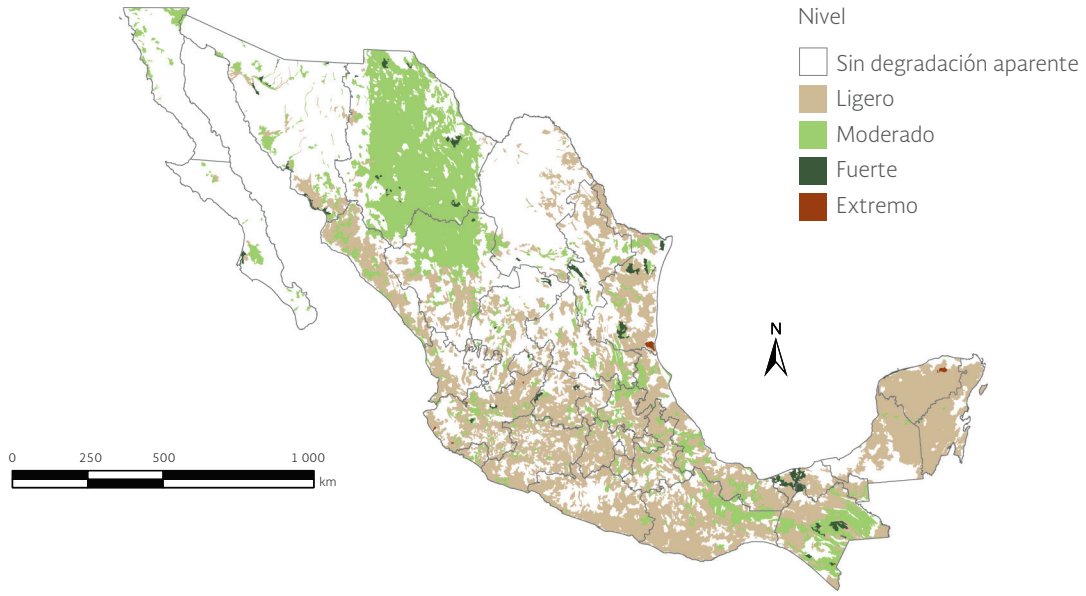
Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat y CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002*. Semarnat y CP. México. 2003.

Las entidades más afectadas por la erosión eólica, en proporción a su territorio, fueron Chihuahua (28.5% de su territorio), Tlaxcala (26%), Nuevo León (18.9%) y Durango (17.9%); mientras que Baja California (0.3%), Veracruz (0.7%), Baja California Sur (1.2%) y Colima (2.8%) se encontraban entre las menos afectadas (Tabla 3.3). Considerando los tipos específicos de la erosión eólica, las entidades más afectadas por la pérdida de suelo superficial fueron Tlaxcala (26%), Chihuahua (25.9%) y Nuevo León (18.9%). Los otros dos tipos específicos de erosión eólica, la deformación del terreno y los efectos fuera de sitio, cubrieron poco más de 800 mil hectáreas, es decir, 0.44% del territorio nacional. Esta superficie se concentró en entidades como Chihuahua, Durango, Coahuila y Puebla (Tabla 3.3).

DEGRADACIÓN QUÍMICA

La degradación química es el proceso de degradación del suelo más extendido en el país, con alrededor de 34.04 millones de hectáreas (17.8% del territorio). De éstos, 55% se encuentra en nivel ligero y 43.2% en moderado; mientras que los niveles fuerte y extremo ocupan en conjunto 1.8% de la superficie nacional afectada con este tipo de degradación (Figura 3.6; Mapa 3.6; Cuadro D3_SUELO03_03). La degradación química se presenta en prácticamente todas las entidades del país, aunque con diferencias importantes. Por ejemplo, en Baja California Sur sólo el 1.9% de su territorio mostró evidencias de este tipo de degradación; mientras que en Yucatán la afectación alcanzaba el 55.1% de la superficie estatal (Tabla 3.4).

Mapa 3.6 | *Degradación química de suelos según nivel en México, 2002*



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

Tabla 3.3 | *Erosión eólica según tipo por entidad federativa, 2002 (Superficie en miles de hectáreas y en porcentaje)*

	Deformación de terreno		*Pérdida de suelo superficial*		*Fuera de sitio*		*Superficie estatal afectada*	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	0	0	66.4	12.3	0	0	66.4	12.3
Baja California	0	0	19.6	0.3	0	0	19.6	0.3
Baja California Sur	0	0	83.4	1.2	0	0	83.4	1.2
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	29.9	0.2	2 038.7	13.6	0	0	2 068.7	13.8
Colima	0	0	15.1	2.8	0	0	15.1	2.8
Chiapas	0	0	0	0	0	0	0	0
Chihuahua	0	0	6 367.2	25.9	636.7	2.6	7 003.9	28.5
Distrito Federal	0	0	2.1	2.4	0	0	2.1	2.4
Durango	0.5	0	2 097.9	17.3	81.3	0.7	2 179.7	17.9
Guanajuato	0	0	242.5	8.2	0	0	242.5	8.2
Guerrero	0	0	53.0	0.8	0	0	53.0	0.8
Hidalgo	2.5	0.1	109.2	5.4	0	0	111.7	5.5
Jalisco	0	0	204.6	2.7	0	0	204.6	2.7
México	0	0	99.5	4.7	0	0	99.5	4.7
Michoacán	0	0	183.5	3.2	0	0	183.5	3.2
Morelos	0	0	20.0	4.3	0	0	20.0	4.3
Nayarit	0	0	9.7	0.4	0	0	9.7	0.4
Nuevo León	0	0	1 187.8	18.9	0	0	1 187.8	18.9
Oaxaca	0	0	43.8	0.5	0	0	43.8	0.5
Puebla	43.1	1.3	280.3	8.4	0	0	323.4	9.6
Querétaro	0	0	82.9	7.3	0	0	82.9	7.3
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	0	0	449.1	7.5	0	0	449.1	7.5
Sinaloa	2.7	0.1	22.6	0.4	0	0	25.3	0.5
Sonora	0	0	1 279.2	7.1	0	0	1 279.2	7.1
Tabasco	0	0	0	0	0	0	0	0
Tamaulipas	0	0	1 021.3	13.7	0	0	1 021.3	13.7
Tlaxcala	0	0	101.5	26.0	0	0	101.5	26.0
Veracruz	0	0	47.9	0.7	0	0	47.9	0.7
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	4.8	0.1	1 194.6	16.1	0	0	1 199.4	16.2
Superficie nacional afectada	83.4	0.04	17 323.4	9.1	718.1	0.4	18 124.9	9.5

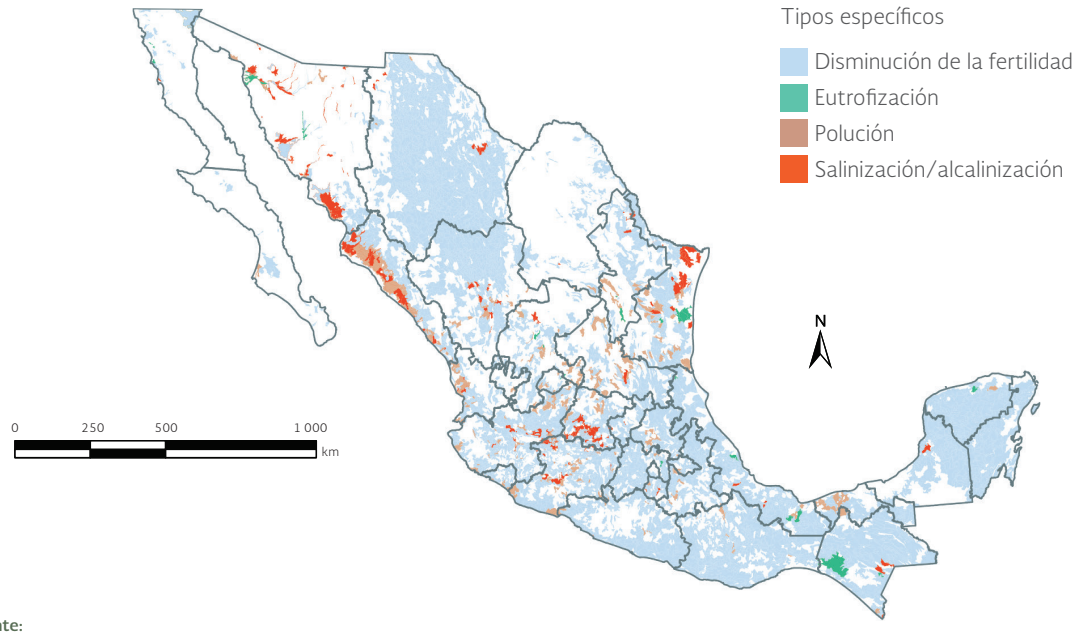
Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat y CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002.* Semarnat y CP. México. 2003.

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

	Disminución de la fertilidad		*Polución*		*Salinización - Alcalinización*		*Eutrofización*		*Superficie estatal afectada*	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	57.8	10.7	15	2.8	0	0	2.9	0.5	75.7	14
Baja California	111.7	1.6	0	0	98.1	1.4	50.4	0.7	260.3	3.6
Baja California Sur	132.7	1.9	1.6	0.02	0	0	0	0	134.3	1.9
Campeche	1 401.2	25.5	0	0	4.3	0.1	0	0	1 405.5	25.6
Coahuila	344.8	2.3	18.5	0.1	1.4	0	0	0	364.7	2.4
Colima	142.2	26.2	3.1	0.6	0.8	0.1	0	0	146.1	27
Chiapas	2 330.2	32.5	4.4	0.1	25.2	0.4	40.1	0.6	2 399.9	33.5
Chihuahua	5 455.3	22.2	5.1	0.02	30.5	0.1	0	0	5 490.8	22.4
Distrito Federal	11.8	13.4	0	0	0	0	0	0	11.8	13.4
Durango	2 107.8	17.4	19	0.2	16.7	0.1	0	0	2 143.5	17.6
Guanajuato	658.2	22.2	101.0	3.4	97.4	3.3	0	0	856.6	28.9
Guerrero	891.5	14.2	6.7	0.1	0.1	0	0	0	898.3	14.3
Hidalgo	473.7	23.2	80.3	3.9	0.1	0	0	0	554.1	27.2
Jalisco	1 528.9	20.2	99.3	1.3	28.5	0.4	0	0	1 656.6	21.9
México	544.7	25.9	0.5	0	0.1	0	0.5	0.02	545.7	26
Michoacán	1 218.9	21.5	28.5	0.5	67.0	1.2	0	0	1 314.4	23.2
Morelos	138.4	29.6	0.6	0.1	1.4	0.3	0	0	140.4	30
Nayarit	507.7	18.7	15.3	0.6	14.8	0.5	0	0	537.8	19.8
Nuevo León	464	7.4	133.1	2.1	9.3	0.1	7.9	0.1	614.3	9.8
Oaxaca	1671	18.3	5.9	0.1	0	0	1.8	0.02	1 678.6	18.4
Puebla	735.8	22.0	5.5	0.2	0	0	0	0	741.3	22.1
Querétaro	198.1	17.5	0	0	1.1	0.1	0	0	199.2	17.6
Quintana Roo	1 020.1	25.7	0	0	0	0	0	0	1 020.1	25.7
San Luis Potosí	697.7	11.6	158.4	2.6	6.0	0.1	1.9	0.03	864.0	14.4
Sinaloa	1 410.8	26.5	50	0.9	194.0	3.6	0	0	1 654.8	31.1
Sonora	564.5	3.2	19.9	0.1	307.3	1.7	33.8	0.2	925.5	5.2
Tabasco	695.4	30.1	34.1	1.5	0	0	0	0	729.5	31.6
Tamaulipas	1 201.1	16.1	280.3	3.8	145.6	1.9	19.7	0.3	1 646.6	22
Tlaxcala	90.3	23.1	1.5	0.4	0	0	0	0	91.8	23.5
Veracruz	2 120.2	31	15.8	0.2	10.9	0.2	18.1	0.3	2 165.0	31.6
Yucatán	2 128.3	55	1.6	0.04	0	0	1.3	0.03	2 131.3	55.1
Zacatecas	549.7	7.4	78.5	1.1	4	0.1	11.9	0.2	644.1	8.7
Superficie nacional afectada	**31 604.4**	**16.6**	**1 183.4**	**0.6**	**1 064.6**	**0.6**	**190.2**	**0.1**	**34 042.6**	**17.8**

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

Mapa 3.7 | *Degradación química de suelos según tipos específicos en México, 2002*



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

De los tipos de degradación química evaluados en el estudio, la disminución de la fertilidad fue el más extendido, cubriendo el 92.7% de la superficie afectada por degradación química en el país. Este agotamiento de los nutrientes es un fenómeno que puede haber sido originado por erosión hídrica o eólica o por malas prácticas de manejo. Los resultados indican que más de la mitad de los suelos de Yucatán, y casi la tercera parte de los de Tlaxcala, Chiapas, Morelos, Tabasco y Veracruz tienen este problema. Los otros tres tipos específicos ocupaban en conjunto 7.3% de la superficie con degradación química del país. La polución[6], salinización y eutrofización se encontraron principalmente en Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Guanajuato, Sonora, Sinaloa y Zacatecas (Mapa 3.7).

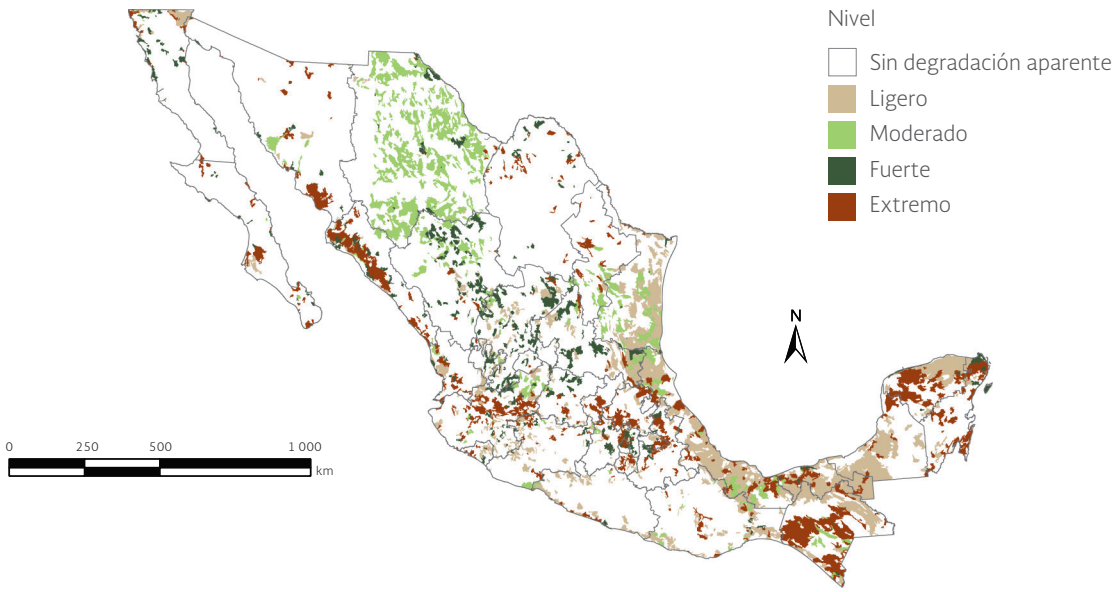
DEGRADACIÓN FÍSICA

La degradación física del suelo se manifiesta de manera evidente a través del sellado, encostramiento, y compactación, los cuales en términos generales afectan los ciclos de nutrientes y la infiltración del agua, provocando el anegamiento en las zonas donde se acumulan las escorrentías.

En 2002, la degradación física era el proceso de degradación menos extendido en el país, ya que afectaba a cerca de 6% de la superficie nacional; sin embargo, tiene un alto impacto debido a que es prácticamente irreversible y conlleva a la pérdida de la función productiva de los terrenos.

[6] La polución y la salinización son tipos de degradación química. En el primer caso la degradación del suelo ocurre como consecuencia de la localización, concentración y efecto biológico adverso de una sustancia. Mientras que la salinización ocurre debido al uso de sistemas de irrigación inadecuados, que permiten la formación de capas de salitre en la superficie de los suelos. Ambos tipos afectan la infiltración de agua y la productividad biológica.

Mapa 3.8 | *Degradación física de suelos según nivel en México, 2002*



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

En escala estatal, la entidad más afectada fue Tabasco (38.4% de su territorio) y las menos afectadas Coahuila, Sonora, Querétaro, Nuevo León y Michoacán con menos de 2% cada una (Mapa 3.8; Tabla 3.5).

Los tipos de degradación física del suelo que fueron evaluados corresponden a la compactación, encostramiento y sellamiento, anegamiento, disminución de la disponibilidad de agua y pérdida de la función productiva. Los de mayor presencia en el país fueron la compactación y la pérdida de la función productiva con 4 y 1.3% de superficie nacional afectada, respectivamente. El encostramiento, el anegamiento y la disminución de la disponibilidad de agua afectaron, en conjunto, al 0.31% del territorio nacional. La entidad más afectada por compactación fue Tabasco (36.5% de su territorio) y entre las menos afectadas se encontraron Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Chihuahua, Baja California y Baja California Sur, con menos de 1% en cada una. En cuanto a la pérdida de la función productiva, la entidad más afectada en términos relativos a su superficie fue el Distrito Federal (10%), mientras que Campeche, Coahuila, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Sonora, Aguascalientes y Veracruz presentaron menos de 1% de afectación en su territorio (Tabla 3.5).

CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

La degradación de los suelos es ocasionada por actividades humanas de muy diversa índole. En México, las más importantes son los cambios en el uso del suelo asociadas a la agricultura mecanizada, el sobrepastoreo y el desarrollo urbano e industrial (Semarnat y CP, 2003).

Tabla 3.5 | *Degradación física según tipo por entidad federativa, 2002 (Superficie en miles de hectáreas y en porcentaje)*

	Encostramiento y sellamiento		*Pérdida de la función productiva*		*Anegamiento*		*Disminución de la disponibilidad de agua*		*Compactación*		*Superficie estatal afectada*	
	Superficie	%	Superfice	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	0	0	4.7	0.9	0	0	0	0	7.9	1.5	12.6	2.3
Baja California	0	0	93.2	1.3	0	0	0	0	42.8	0.6	136.0	1.9
Baja California Sur	0.2	0.003	81.0	1.1	0	0	0	0	4.3	0.1	85.5	1.2
Campeche	0	0	29.7	0.5	0	0	0	0	716.6	13.1	746.3	13.6
Coahuila	0	0	46.5	0.3	0	0	0	0	0	0	46.5	0.3
Colima	0	0	5.3	1.0	2.3	0.4	0	0	10	1.8	17.7	3.3
Chiapas	0	0	150.0	2.1	0	0	0	0	820.6	11.4	970.6	13.5
Chihuahua	0.6	0.002	445.5	1.8	0	0	421.2	1.7	90.9	0.4	958.2	3.9
Distrito Federal	0	0	8.8	10.0	0	0	0	0	1.4	1.6	10.2	11.5
Durango	0.2	0.001	161.3	1.3	0	0	0	0	83.2	0.7	244.7	2
Guanajuato	2.1	0.1	54.6	1.8	0	0	0	0	17.9	0.6	74.7	2.5
Guerrero	0	0	16.4	0.3	0	0	0	0	110.6	1.8	126.9	2
Hidalgo	0	0	34.0	1.7	0	0	0	0	44.8	2.2	78.8	3.9
Jalisco	13.0	0.2	170.5	2.3	5.5	0.1	0	0	113.3	1.5	302.3	4
México	0	0	61.6	2.9	0	0	0	0	25.2	1.2	86.8	4.1
Michoacán	3.9	0.1	35.4	0.6	0.6	0.01	0	0	61.7	1.1	101.6	1.8
Morelos	0	0	13.5	2.9	0	0	0	0	12	2.6	25.5	5.5
Nayarit	16.8	0.6	27.0	1	0.8	0.03	0	0	36.9	1.4	81.5	3
Nuevo León	0	0	62.2	1	0	0	4.2	0.1	7.0	0.1	73.5	1.2
Oaxaca	1.3	0.01	31.3	0.3	8.2	0.1	0	0	442.6	4.8	483.3	5.3
Puebla	0	0	32.3	1.0	0	0	0	0	65	1.9	97.3	2.9
Querétaro	0	0	11.5	1.0	0	0	0	0	7.5	0.7	19.0	1.7
Quintana Roo	0	0	80.1	2.0	0	0	0	0	104.1	2.6	184.2	4.6
San Luis Potosí	0	0	78.3	1.3	0	0	0	0	422.2	7.0	500.5	8.3
Sinaloa	100.8	1.9	135.2	2.5	0.2	0.004	0	0	3.4	0.1	239.6	4.5
Sonora	52.6	0.3	126.8	0.7	0	0	28.7	0.2	31.6	0.2	239.7	1.3
Tabasco	0	0	42.6	1.8	0.7	0.03	0	0	844.2	36.5	887.6	38.4
Tamaulipas	15.3	0.2	128.3	1.7	0	0	0	0	812.2	10.9	955.8	12.8
Tlaxcala	0	0	14.4	3.7	0	0	0	0	7	1.8	21.4	5.5
Veracruz	0	0	59.8	0.9	0	0	0	0	1 961.8	28.7	2 021.6	29.5
Yucatán	1.5	0.04	116.4	3.0	0	0	0	0	623.6	16.1	741.4	19.2
Zacatecas	0	0	101.1	1.4	0	0	0	0	165.7	2.2	266.7	3.6
Superficie nacional afectada	**208.2**	**0.1**	**2 459.2**	**1.3**	**18.3**	**0.0**	**454.1**	**0.2**	**7 697.9**	**4.0**	**10 837.8**	**5.7**

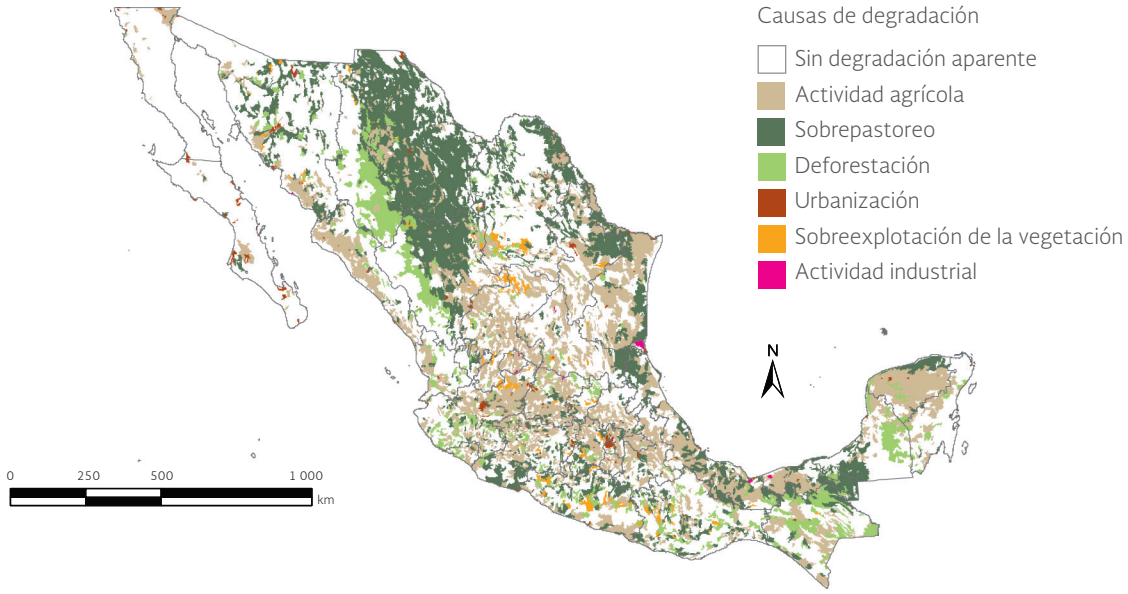
Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat y CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002.* Semarnat y CP. México. 2003.

Desde la Revolución Industrial, la intensa demanda de suelo para la producción de alimentos ha hecho que alrededor del 12% de la superficie libre de hielo del planeta sea zona de cultivo y 26% sean pastizales; esto equivale a que 38% de la superficie terrestre esté destinada a satisfacer la creciente demanda de productos agropecuarios (Foley *et al.*, 2011). La urbanización como proceso de cambio en el uso del suelo también compite en algunas zonas con las actividades agropecuarias, con el agravante de que es un proceso irreversible en la escala de tiempo humana.

Particularmente para México, las áreas urbanas y los asentamientos humanos ocupan una superficie aproximada de 1.85 millones de hectáreas (INEGI, 2013). En 2002 alrededor del 77.4% de la superficie nacional degradada estaba asociada con actividades agrícolas y pecuarias (38.7% cada una de ellas) y 16.4% a deforestación y remoción de la vegetación. El resto de la superficie degradada del país (alrededor de 5.3 millones de ha; 6.1% de la superficie degradada total) se debe a urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales.

A nivel de entidad federativa, estas actividades tienen un impacto diferente. Las actividades agrícolas contribuyen más a la degradación de los suelos en Aguascalientes (85.4% de su superficie degradada se debe a esta causa), Hidalgo (83.4%) y Tlaxcala; el sobrepastoreo en Chihuahua (71.2%), Sonora (55.5%) y Durango (52.2%); la deforestación en Nayarit (42.8%), Campeche (38.6%) y Chiapas (35.6%), y la urbanización al Distrito Federal (65.6%), Baja California Sur (29.8%) y Baja California (26.2%; Mapa 3.9).

Mapa 3.9 | *Principales causas de degradación del suelo en México, 2002*



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

LOS PROCESOS QUE LLEVAN A LA DESERTIFICACIÓN

La degradación de la tierra es un concepto más amplio que la degradación del suelo. De hecho, de esta última sólo una parte corresponde a la degradación de la tierra. Para la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés), "tierra" es el área específica de la corteza terrestre que cuenta con características particulares de suelo, atmósfera, geología, hidrología y biología, en la que se aprecian los resultados de la actividad humana pasada y las interacciones entre todos los elementos (UNCCD, 1994). En este contexto, considera que la degradación de la tierra es "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". Por ello, además del deterioro del suelo, la degradación de la tierra incluye aspectos biofísicos, como la disminución de la capacidad productiva debido al cambio de cobertura vegetal y de los recursos hídricos, y aspectos socioeconómicos, como la respuesta del mercado, estrategias políticas y niveles de educación y pobreza (UNCCD, 1994).

Es común que la palabra desertificación se interprete literalmente como formación de desiertos, por esta razón es importante diferenciar ambos conceptos. Los desiertos son ecosistemas altamente complejos, que pueden albergar una alta diversidad biológica y cuyo origen se encuentra en procesos diferentes a los que provocan la desertificación. No obstante, sus características biológicas y sobre todo climáticas, los sitúan dentro de las tierras secas susceptibles a la desertificación. Ésta se produce cuando el proceso de degradación de la tierra afecta a las tierras secas (UNCCD, 1994). En este sentido, la desertificación es un proceso, no solo una situación extrema.

Existen diferentes definiciones de tierras secas, lo que lleva a que las estimaciones sobre la superficie desertificada sean variables. En el presente capítulo se adoptó el criterio de la UNCCD, el cual las clasifica de acuerdo a su índice de aridez en las siguientes categorías: hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Esta clasificación está basada a su vez en el Atlas Mundial de la Desertificación que señala que las tierras secas son aquellas áreas en donde el índice de aridez es menor a 0.65 (PNUMA, 1997).

En México, de acuerdo con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el concepto de desertificación se aplica a todos los ecosistemas existentes en el territorio nacional, debido a que la pérdida de la capacidad productiva de las tierras no está restringida a las zonas secas (DOF, 2012). Sin embargo, lo anterior no reduce la prioridad que la UNCCD establece para las tierras secas. Parte de esta importancia se debe a que sus características climáticas, como la precipitación escasa e irregular, la gran diferencia entre las temperaturas diurnas y nocturnas, y la elevada evapotranspiración potencial, así como la presencia de suelos con poca materia orgánica y humedad, elevan la susceptibilidad de sufrir degradación del suelo y alteraciones de los sistemas biofísicos y sociales.

CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA DESERTIFICACIÓN

Los procesos de desertificación no son fáciles de delimitar en una línea directa de causa-efecto. De acuerdo con la UNCCD, los impulsores de la desertificación se pueden agrupar alrededor de las variaciones climáticas y de las actividades humanas. Con respecto al primer grupo se pueden encontrar la baja humedad del suelo (aridificación), los patrones de precipitación cambiantes y la elevada evaporación; mientras que en el segundo, la sobreexplotación del suelo por la actividad agrícola, el sobrepastoreo, la deforestación, el uso de sistemas de irrigación inadecuados, el manejo forestal inapropiado, las tendencias del mercado e incluso, las dinámicas sociopolíticas en las cuales la pobreza puede funcionar como causa y consecuencia de la desertificación (UNCCD y Zoï, 2011). En la misma medida de complejidad, las acciones para solucionar o evitar el problema de la desertificación deben atender también las esferas ambiental, política y social (Figura 3.7).

Las consecuencias más importantes de la desertificación se agrupan en las afectaciones a las poblaciones humanas y a los ecosistemas, las primeras tienen que ver con la insuficiencia alimentaria, la pobreza, el agravamiento de problemas de salud debido a las partículas

Figura 3.7 | *Rutas de conducción y prevención de la desertificación*

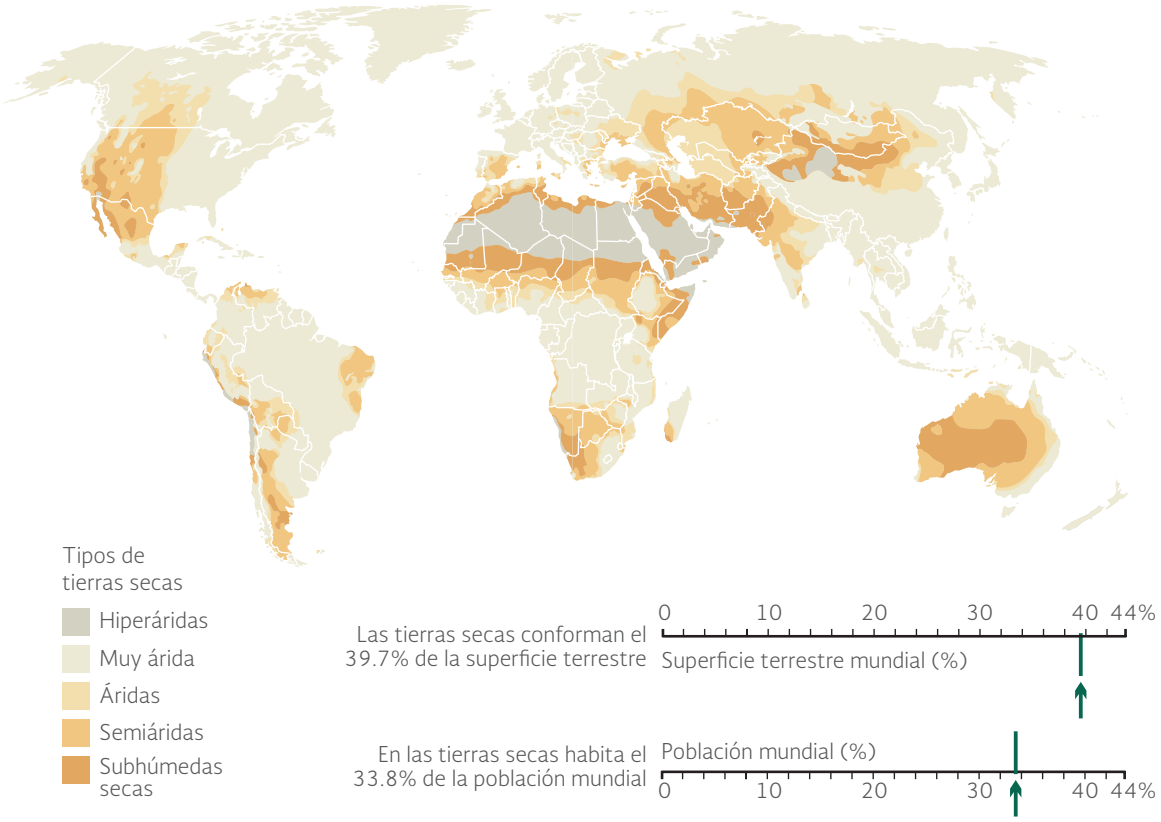
Fuente:
Tomado de:
MEA. *Ecosystems and human well-being. Desertification synthesis.* Millennium Ecosystems Assessment. 2005.

transportadas por el viento (p. ej., infecciones oculares, enfermedades respiratorias y alergias), o por alimentación insuficiente, y la segunda incluye la baja en la fertilidad del suelo, mayor salinización y erosión, reducción de la capacidad de resiliencia de la tierra, incremento de las inundaciones en las partes bajas de las cuencas por la afectación del ciclo hidrológico, escasez de agua, desecación y sedimentación de cuerpos de agua y la alteración de los ciclos biológicos (UNCCD-Zoï, 2011).

Distribución de las tierras secas

Según la UNCCD y Zoï (2011), 12.1% de la superficie terrestre del planeta está ocupada por zonas áridas; 17.7% por zonas semiáridas y 9.9% por subhúmedas secas. En ellas viven poco más de 2 mil millones de personas (aproximadamente uno de cada tres habitantes del planeta), la mayoría en países en vías de desarrollo. Además, en conjunto, las tierras secas albergan alrededor del 50% del ganado y el 44% de las tierras agrícolas del mundo, y son amplias extensiones territoriales que representan hábitats forestales, de pastos y agropecuarios muy valiosos para la vida silvestre y los grupos humanos que las habitan. Las mayores extensiones de tierras secas se encuentran en Australia, China, Federación de Rusia, Estados Unidos y Kazajstán (Mapa 3.10).

Mapa 3.10 | *Distribución de las tierras secas en el mundo*



Fuente:
UNCCD-Zoï. *Desertication. A visual synthesis.* UNCCD-Zoï Environment Network. UNCCD-Zoï. France. 2011.

En México, en 2013 la Conafor, en colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo, publicó el estudio para la determinación de la Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. En este trabajo se usó la delimitacion de las zonas secas del país utilizando el índice de aridez calculado con el método de Penman. Bajo esta metodología, se estimó una superficie aproximada de 125.3 millones de hectáreas de tierras secas, lo que significa aproximadamente el 65% del territorio nacional. El cual se distribuye entre las zonas semiáridas (34.7%), áridas (18.9%), subhúmedas secas (10.8%) e hiperáridas (0.7%). El resto corresponde a otros climas (subhúmedos, húmedos, muy húmedos y perhúmedos; Tabla 3.6).

Las tierras hiperáridas sólo se concentran en una pequeña franja al noreste de la Península de Baja California; las áridas en la península de Baja California, la porción costera de Sonora y la parte centro-norte del Desierto Chihuahuense. Las tierras semiáridas se encuentran principalmente en la Mesa Central del país y hacia las vertientes de las Sierras Madre Oriental y Occidental, llegando a cubrir gran parte de Nuevo León y Tamaulipas. Finalmente, la mayor parte de las subhúmedas secas se encuentran en el Eje Neovolcánico Transversal y en las Sierras de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Mapa 3.11).

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2011), en las tierras secas del país vivían en 2010 alrededor de 66.2 millones de personas, lo que representaba casi el 60% de los habitantes del país, los cuales se encontraban distribuidos en 95 968 localidades. De éstas, 98% eran rurales y sólo 2% urbanas. En las tierras semiáridas se encontraba la mayor cantidad de personas y localidades (62 y 54%, respectivamente) asentadas en la totalidad de las tierras secas (Figura 3.8).

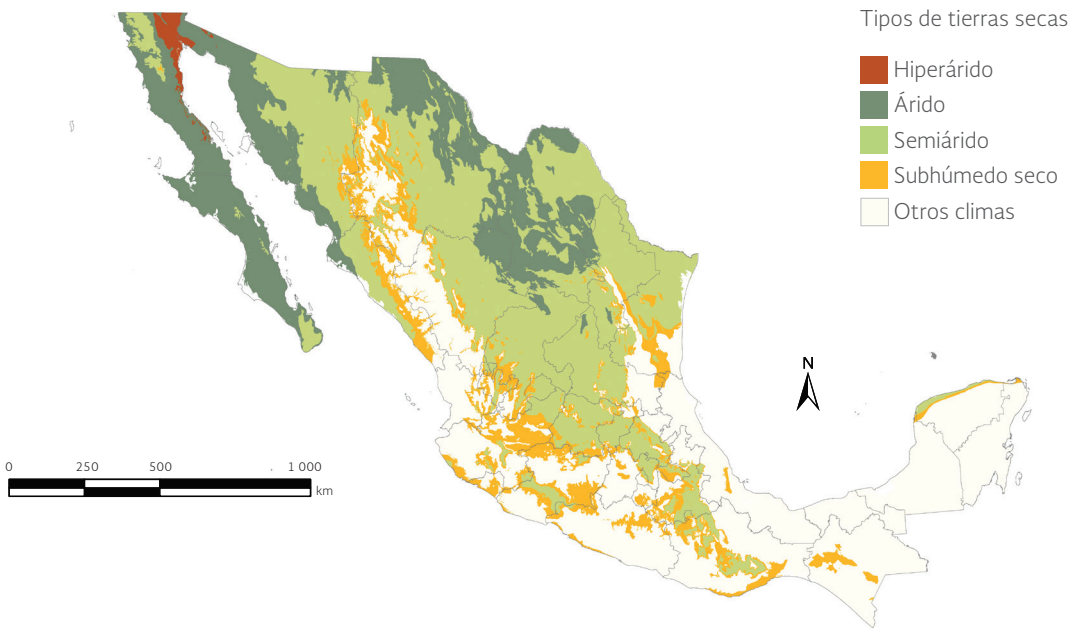
Tabla 3.6 | *Superficie nacional ocupada por tierras secas*[1]

Tipo de tierra seca	*Superficie (miles de ha)*	*Superficie nacional (%)*
Hiperárido	1 286.9	0.7
Árido	36 437.5	18.9
Semiárido	66 727.1	34.7
Subhúmedo seco	20 852.3	10.8
Total de tierras secas	125 303.7	65.1
Otros climas	67 060.5	34.9

Nota:
[1] Las tierras secas se delimitaron por el índice de aridez calculado con el método de Penman.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

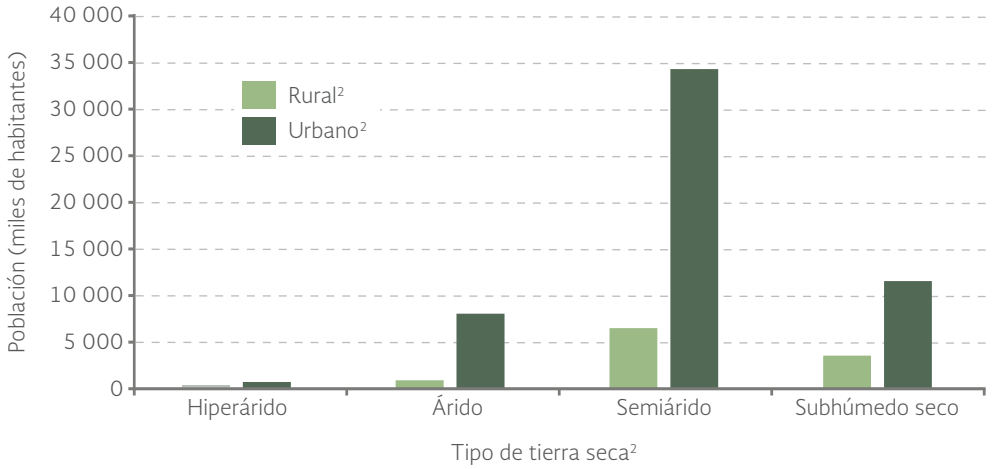
Mapa 3.11 | *Distribución de las tierras secas en México*[1]



Nota:
[1] Delimitación basada en el índice de aridez calculado con el método de Penman.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

Figura 3.8 | *Población en las tierras secas*[1] *de México, 2010*



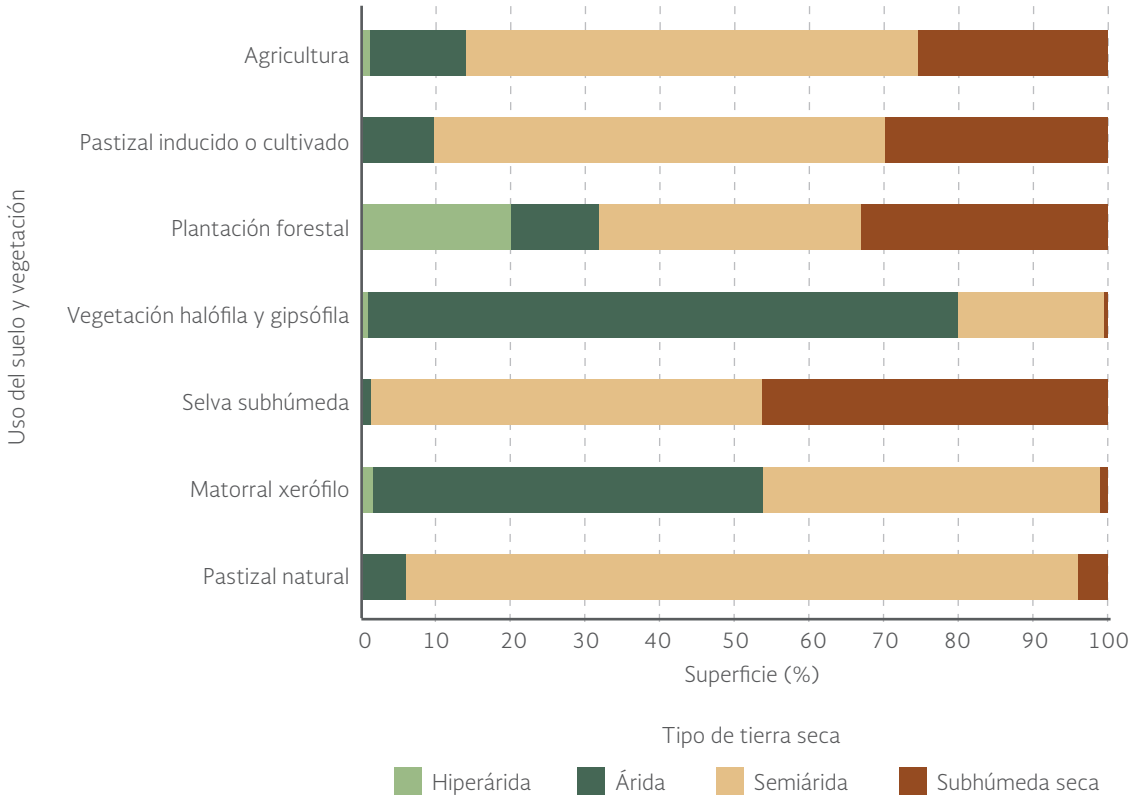
Notas:
[1] Delimitación basada en el índice de aridez calculado con el método de Penman.
[2] Las localidades rurales comprenden hasta 2 500 habitantes; las urbanas, más de 2 500 habitantes.

Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.
INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010.* INEGI. México. 2011.

Con respecto a los tipos de vegetación y usos del suelo presentes en las tierras secas, éstos comprenden ecosistemas naturales como vegetación halófila y gipsófila y matorrales xerófilos y actividades productivas como agricultura, pastizales inducidos o cultivados y plantaciones forestales. En las tierras hiperáridas, están presentes pequeñas porciones de pastizal inducido y cultivado y de agricultura que no alcanzan el 1% de la superficie con estos usos del suelo en el país (0.02 y 0.63%, respectivamente) y menos de 5% de las plantaciones forestales. En el resto de las tierras secas se presenta el 66% de la superficie agrícola nacional (21.5 millones de ha) distribuida en las tierras semiáridas (40%; 13.2 millones de ha), subhúmedas secas (17%; 5.5 millones de ha) y áridas (9%; 2.8 millones de ha). El resto de la actividad agrícola (33%; 10.8 millones de ha) se realiza en otro tipo de climas (Figura 3.9).

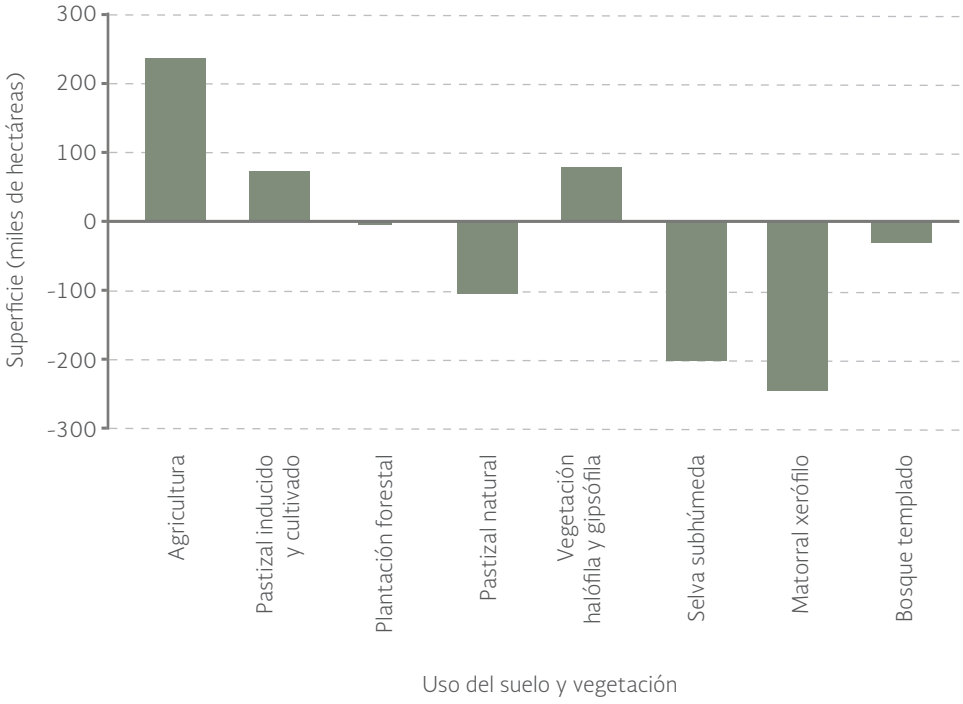
Casi la totalidad de los matorrales xerófilos (alrededor de 96%) se encuentra en las tierras áridas y semiáridas, así como la vegetación halófila y gipsófila (alrededor del 98%); mientras que en las tierras semiáridas se concentra el 90% del pastizal natural. Alrededor del 52% de las selvas subhúmedas del país se ubican en tierras secas, particularmente en las regiones semiáridas (28%) y subhúmedas secas (24%; Figura 3.9).

Figura 3.9 | *Algunos usos del suelo y vegetación por tipo de tierra seca en México*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. 2013. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000.* INEGI. México. 2013.

Figura 3.10 | *Cambios en la superficie en algunos usos del suelo y vegetación en las tierras secas de México, 2007-2011*



Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007), escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2011.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1:250 000.* INEGI. México. 2013.

Los ecosistemas naturales presentes en las tierras secas también han sido transformados. Entre 2007 y 2011 se perdieron casi 246 mil hectáreas de matorral xerófilo, poco más de 200 mil de selva subhúmeda y alrededor de 105 mil de pastizales naturales; mientras que la superficie agrícola, se incrementó en cerca de 240 mil hectáreas y los pastizales inducidos y cultivados en 72 mil hectáreas (Figura 3.10).

EXTENSIÓN DE LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN

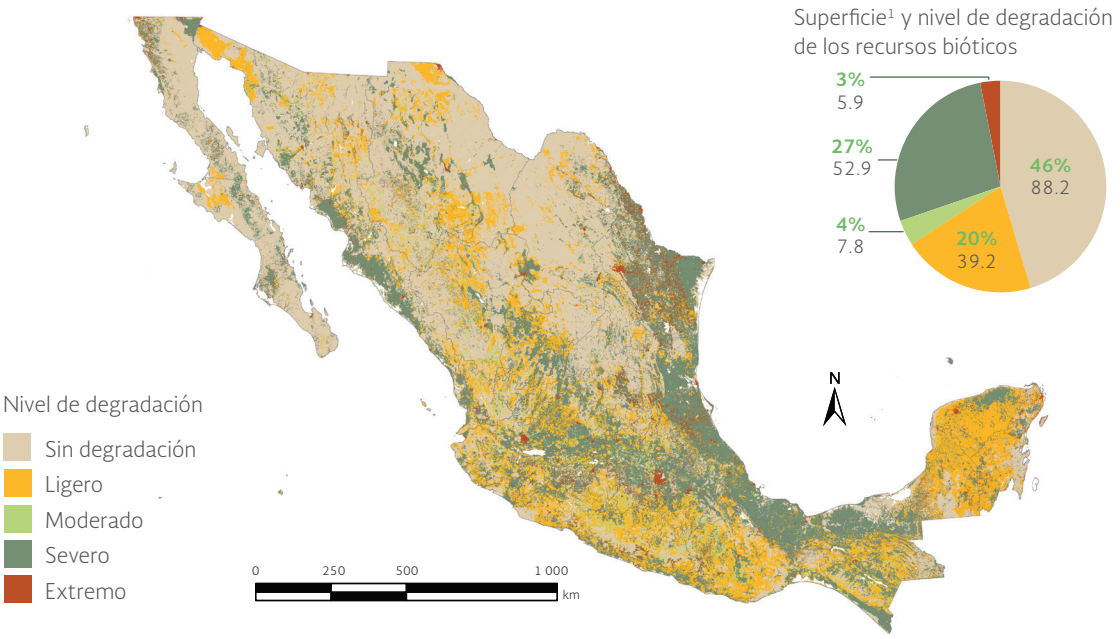
La UNCCD calcula que entre 71 y 75% de las tierras secas del mundo están desertificadas. En el caso particular de México, el estudio de la Línea Base Nacional de Degradación y Desertificación (Conafor, Semarnat y UACh, 2013) delimitó la superficie de tierras secas que se encuentran en esta condición a partir de un indicador integrado por tres componentes: recursos bióticos, recursos hídricos y recursos edáficos.

El estado del componente de recursos bióticos se determinó a partir del análisis de la cobertura vegetal, ya que se parte de la premisa de que la degradación está asociada con su grado de

conservación[7]. Para los recursos hídricos se contemplaron las condiciones de los acuíferos nacionales de acuerdo con la información de la Comisión Nacional del Agua[8]; mientras que para los indicadores de degradación del recurso edáfico se adecuaron los resultados de la erosión hídrica y eólica y de la degradación física y química descritos anteriormente en este capítulo (Semarnat y CP, 2003).

Los resultados nacionales indican que en lo relacionado a los recursos bióticos, la superficie afectada sería de aproximadamente 105.7 millones de hectáreas, lo que equivale a 54% del territorio nacional. Los niveles ligero y moderado, que afectarían a 20 y 4% del territorio, respectivamente, se aprecian a lo largo de las sierras, entre los límites de Baja California y Sonora y en la península de Yucatán, principalmente. Las mayores extensiones de degradación con grado severo (27% del territorio nacional) y extremo (3%) se ubican en la costa del Golfo del México, en las costas de Sinaloa y a lo largo del Eje Neovolcánico Transversal. La superficie sin degradación aparente de los recursos bióticos, que representaría el 46% del país (88.2 millones de ha) se encuentra principalmente entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, y en la península de Baja California (Mapa 3.12).

Mapa 3.12 | *Degradación de los recursos bióticos*

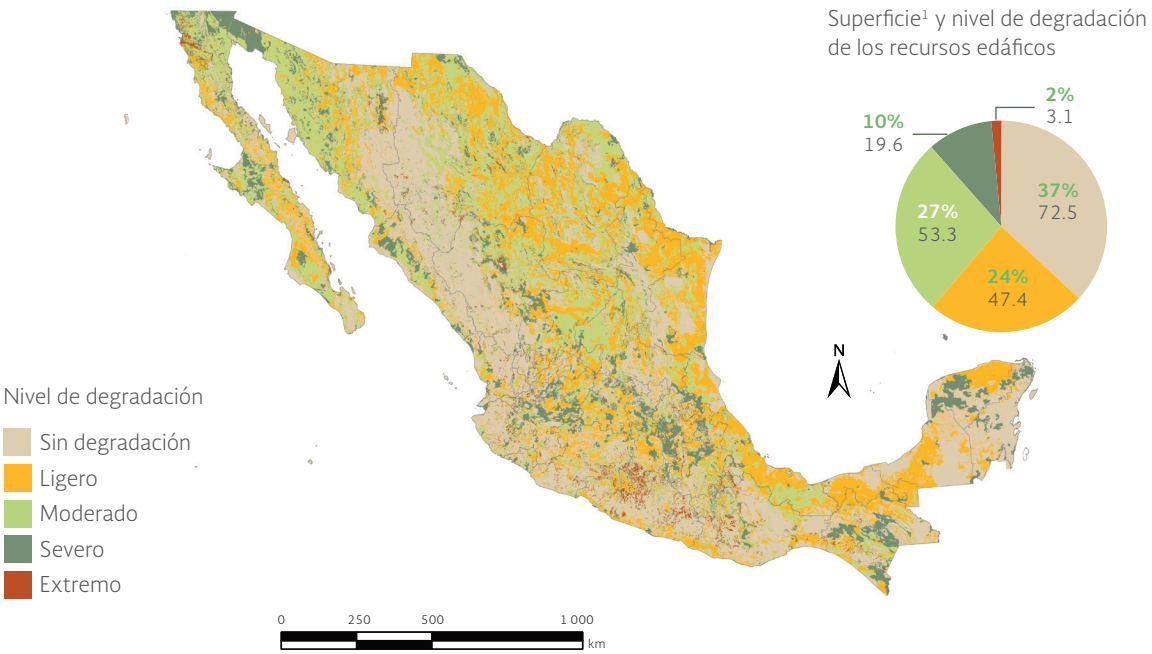


Nota:
[1] La superficie se muestra en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

[7] De acuerdo con la fuente, la Serie IV de la Carta de Usos del Suelo y Vegetación del INEGI (2007) fue considerada para el uso del suelo actual, y se comparó con la Carta de Vegetación Primaria Potencial, a partir de lo cual se asignó un grado de degradación a la vegetación.
[8] Se utilizó la información para el periodo 2000 a 2012, referente a disponibilidad de agua superficial en las cuencas del país, contaminación potencial de los acuíferos por actividades agropecuarias, desecación de los cuerpos de agua e intrusión salina en los acuíferos, así como los resultados reportados por la Red Nacional de Monitoreo de calidad del agua superficial.

Mapa 3.13 | *Degradación de los recursos edáficos*



Nota:
[1] La superficie se muestra en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

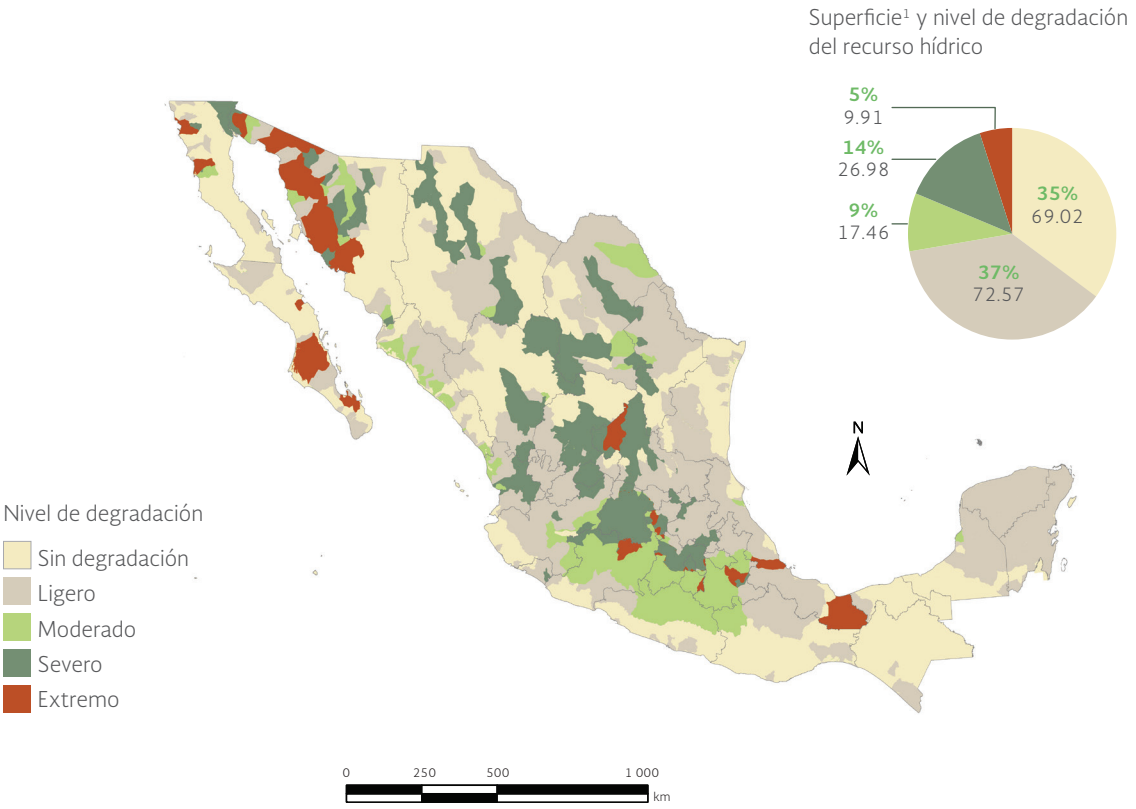
Para los recursos edáficos, los resultados mostraron que 111.4 millones de hectáreas, equivalentes a 63% del territorio nacional, se encontrarían afectados en niveles de ligero a extremo. Los niveles ligero y moderado cubren 51% del territorio nacional, aproximadamente 100 millones de hectáreas; mientras que 10% (19.6 millones de ha) se encuentra en nivel severo y 2% en extremo. En el análisis de este componente, la superficie sin degradación comprende alrededor del 37% del país, y se encuentra en la Sierra Madre Occidental, en la costa del Pacífico y en la península de Yucatán, principalmente. El nivel extremo se localiza de manera importante en el noreste de Sonora y en la península de Yucatán; mientras que el ligero, moderado y extremo se distribuyen en grandes extensiones de la Mesa Central y en la costa del Golfo de México (Mapa 3.13).

En el caso de los recursos hídricos, la superficie afectada a nivel nacional asciende a 64.8% del territorio (126.9 millones de ha). De esta superficie, 72.6 millones (37% del territorio nacional) están afectadas por degradación con nivel ligero, mientras que entre los niveles moderado, severo y extremo alcanzan 54.4 millones de hectáreas (27.8% del territorio nacional). El 35% de la superficie no muestra señales aparentes de degradación de los recursos hídricos y se ubican en la península de Baja California, en el límite entre Sonora y Chihuahua, en Durango y la costa sureste del país hasta cubrir casi la totalidad de Chiapas. En la parte central del país y en la península de Yucatán, prácticamente no se presentan regiones sin degradación de los recursos hídricos (Mapa 3.14).

La superficie nacional con desertificación se obtuvo al combinar los tres componentes (recursos bióticos, edáficos e hídricos) con el índice de aridez a partir del cual se delimitaron las tierras secas. De acuerdo con este estudio, alrededor de 92.4% de la superficie nacional de tierras secas (125.3 millones de ha; 64% del territorio nacional) presentaba algún grado de desertificación. El 40.1% se encontraba con grado de desertificación severo; 9.9% con grado extremo y 42.4% con ligero y moderado (Figura 3.11 y Tabla 3.7).

Todos los tipos de tierras secas del país presentan algún grado de desertificación; sin embargo, en las tierras semiáridas se concentra la mayor parte de la superficie afectada (49.4% de todas las tierras secas), seguida por las áridas (27.6%), subhúmedas secas (14.4%) y finalmente las hiperáridas (1%). Con excepción de las tierras áridas, donde domina el nivel de desertificación moderado, en el resto de las tierras secas la desertificación severa es el nivel con mayor superficie afectada (Tabla 3.7 y Mapa 3.15).

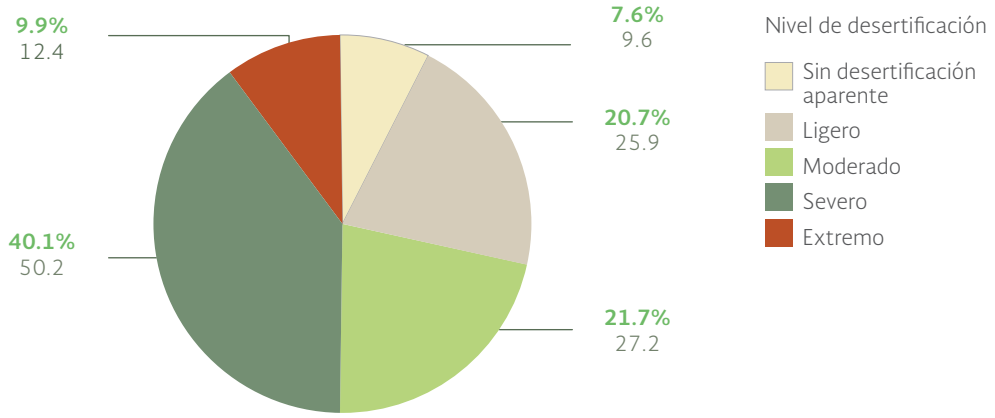
Mapa 3.14 | *Degradación del recurso hídrico en México*



Nota:
[1] La superficie se muestra en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

Figura 3.11 | *Superficie[1] de tierras secas afectadas con algún nivel de desertificación*



Nota:
[1] La superficie se reporta en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas, la cual se calculó con respecto a la superficie nacional con tierras secas, que es de 125.3 millones de hectáreas.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

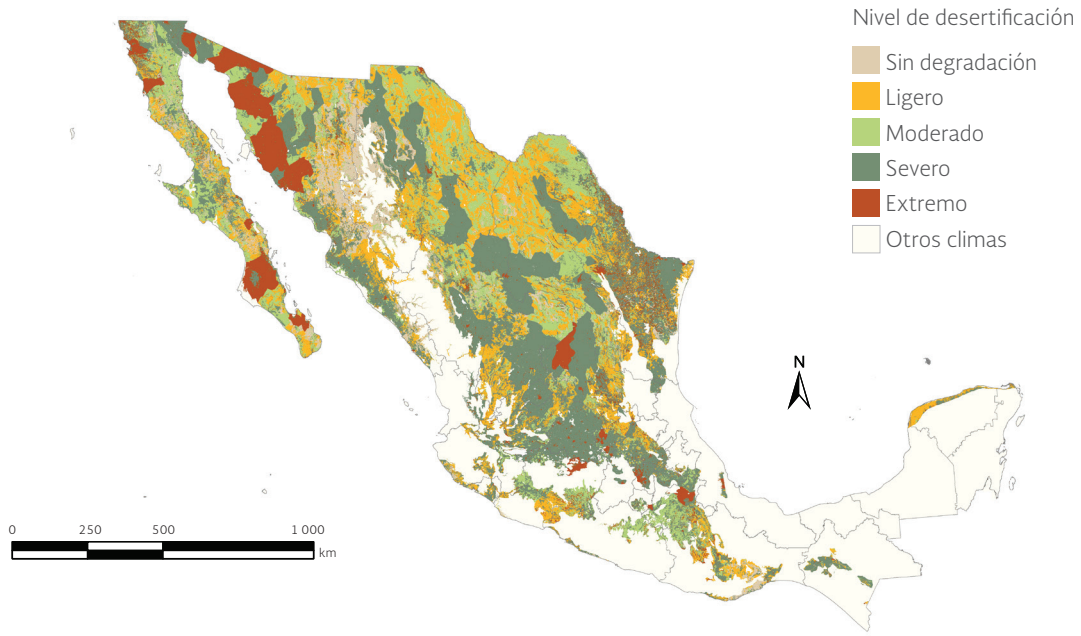
Tabla 3.7 | *Superficie afectada por desertificación por tipo de tierra seca en México (miles de hectáreas[1])*

Tipo de tierra seca / Nivel de desertificación	*Hiperárido*		*Árido*		*Semiárido*		*Subhúmedo seco*		*Superficie con desertificación por nivel*	*%*
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%		
Ligero	23.4	0.02	8 371.9	6.7	12 701.2	10.1	4 793.3	3.8	25 889.9	20.7
Moderado	442.9	0.4	10 195.3	8.1	13 362.2	10.7	3 197	2.6	27 197.4	21.7
Severo	711.5	0.6	9 933.01	7.9	30 905.1	24.7	8 651.7	6.9	50 201.3	40.1
Extremo	77.8	0.1	6 031.8	4.8	4 944	3.9	1 393.2	1.1	12 446.8	9.9
Desertificación por tipo de tierra seca	**1 255.6**	**1.0**	**34 532**	**27.6**	**61 912.6**	**49.4**	**18 035.2**	**14.4**	**115 735.5**	**92.4**
Sin degradación aparente	**31.2**	**0**	**1 905.5**	**1.5**	**4 814.4**	**3.8**	**2 817.1**	**2.2**	**9 568.2**	**7.6**

Nota:
[1] Los porcentajes se calcularon respecto al total de las tierras secas del país, que es de: 125.3 millones de hectáreas.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. 2013. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

Mapa 3.15 | *Nivel de desertificación en las tierras secas[1] de México*



Nota:
[1] Delimitación basada en el índice de aridez calculado con el método de Penman.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2003.

CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS

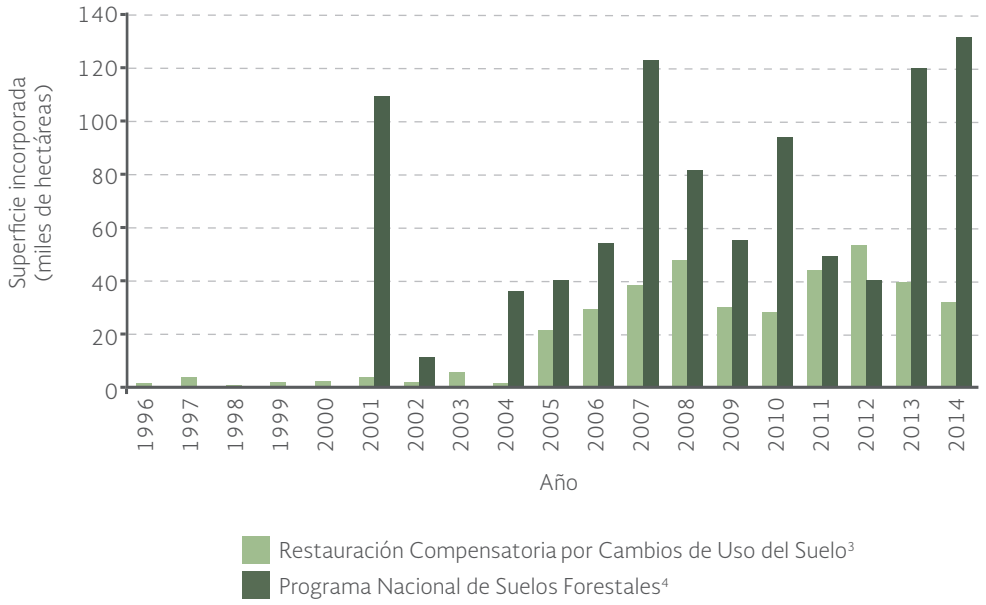
El suelo ha sido, en general, un recurso natural poco atendido tanto por los gobiernos como por la sociedad en general, al grado de que la orientación de los programas de apoyo se dirige hacia fines productivos como los agrícolas, pecuarios y forestales. De esta manera dichos programas no han considerado, o sólo lo han hecho superficialmente, su conservación y la mejora de sus propiedades. Incluso, cuando se realizan acciones con fines de restauración ambiental, en su mayoría están enfocadas a la protección o ampliación de la vegetación más que a la protección del suelo como su objetivo principal (Gardi *et al.*, 2014).

En México, el Programa Nacional Forestal (Pronafor) liderado por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) cuenta con un componente orientado a la Restauración Forestal y Reconversión Productiva. Este componente apoya acciones y proyectos integrales de restauración forestal y de reconversión productiva con el fin de recuperar la capacidad y el potencial natural de los suelos forestales y de la cobertura forestal bajo condiciones de deterioro; además de la recuperación gradual de la capacidad de provisión de bienes y servicios ambientales. Estas acciones se aplican en terrenos que presentan procesos de deterioro por degradación de suelos, pérdida

de cobertura de vegetación forestal o áreas perturbadas por incendios, enfermedades o plagas forestales y desastres naturales que se encuentren ubicados en microcuencas prioritarias por su importancia ambiental y/o forestal.

Para el 2014, la suma de la superficie incorporada a los programas de Compensación Ambiental por Cambio de Uso del Suelo en terrenos Forestales y el Programa Nacional Forestales, ambos de la Conafor, fue de 163.1 mil hectáreas, que equivalen a 0.2% de la superficie nacional con degradación de suelo (85.7 millones de ha; Figura 3.12). La Comisión Nacional de las Zonas Áridas (Conaza) opera el programa Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA), el cual se enfoca a terrenos pecuarios, por lo que queda pendiente el tema de la conservación y rehabilitación de suelos agrícolas, así como programas de captación de agua de lluvia y de combate de la desertificación.

Figura 3.12 | *Superficie incorporada a programas institucionales relacionados con conservación y rehabilitación de suelos, 1996 - 2014*[1,2]



Notas:
[1] Los datos reportados para cada programa no están disponibles para todos los años debido a que están sujetos a diseño y concertación de recursos para su operación. Entre 2001-2006 se ubicaron en el Programa Nacional Forestal, estrategia "Restauración y conservación de Suelos". Entre 2007–2012, en ProÁrbol, categoría "Conservación de Suelos" y "Restauración de Suelos". En 2013 en Pronafor, Componente III "Conservación y Restauración". En 2014 en Pronafor, Componente III "Restauración Forestal y Reconversión Productiva.
[2] Las superficies no son acumulables entre años porque los productores pueden entrar, retirarse o refrendar su permanencia en el programa dependiendo de su interés o del cumplimiento de las obligaciones con el mismo.
[3] Se trata de la superficie a compensar por la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales.
[4] Tiene la finalidad de apoyar la ejecución de acciones y proyectos para la recuperación de la cobertura forestal, y la conservación y restauración de suelos ubicados en cuencas con terrenos forestales y preferentemente forestales con algún nivel de degradación.

Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. Junio de 2015.
Gerencia de Suelos, Comisión Nacional Forestal, Semarnat. México. Junio de 2015.

REFERENCIAS

Conafor, Semarnat y UACh. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACh. México. 2013.

Cruz, C., C. Balboltin, F. Paz, J. Etchevers y P. Krasilnikov. 2007. *Variabilidad Morfogenética de los Suelos de México y su relación con el Modelo Fisiográfico Nacional.* XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León Guanajuato. México. 17 al 21 de septiembre de 2007. Disponible en: www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/06/22/68351.

DOF. *Ley de Desarrollo Rural Sustentable.* Diario Oficial de la Federación. México. 2012 (12 de enero).

FAO. *Alianza Mundial por el Suelo. Sección ¿Por qué una Alianza Mundial por el Suelo?* 2015. Disponible en: www.fao.org/globalsoilpartnership/es/. Fecha de consulta: enero de 2016.

FAO. *Portal de Suelos de la FAO.* s/a. Disponible en: www.fao.org/soils-portal/es/. Fecha de consulta: enero de 2016.

Foley, J.A., N. Ramankutty, K.A. Brauman, *et al.* Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342. 2011.

Gardi, C., M. Angelini, S. Barceló, ***et al***. (Eds). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe.* Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg. 2014.

Guevara, M., C. Aguilar, C. Arroyo, F. González y J. Larson. La diversidad de los datos sobre los suelos de México: perfiles y clases, escalas y modelos continuos. Conabio. *Biodiversitas* 105: 13-16. 2012.

INEGI. *Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos. Serie II, escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2007.

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010.* INEGI. México. 2011.

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000.* INEGI. México. 2013.

Lal, R. Soil Quality and sustainability. *En*: Lal, R., W.H. Blum, C. Valentine y B.A. Stewart (Eds). *Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science.* Boca Raton, New York, CRC Press. 1998.

PNUMA. *Atlas Mundial de la Desertificación.* Middleton, N. y D. Thomas (Eds.).Oxford. Oxford University Press. 1997.

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

Semarnat y UACh. *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000. Memoria 2001-2002.* Semarnat y UACh. México. 2003.

UNCCD y Zoï. *Desertification.* A visual synthesis. UNCCD-Zoï Environment Network France. 2011.

UNCCD. *Elaboración de una Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequia Grave o Desertificación, en particular en África.* Texto Final de la Convención. 1994. Disponible en: www.unccd.int. Fecha de consulta: enero de 2016.

WRB. IUSS Working Group. *World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for naming soils and creating legends for soil maps.* World Soil Resources Reports No. 106. FAO. Rome. 2014.

Zinck, A. Suelos, información y sociedad. *Gaceta Ecológica* 76: 7-22. Instituto Nacional de Ecología. 2005.