

# 6 La erosión del suelo: la acción humana

Desde el momento en que la especie humana comienza a crear poblaciones estables y a abandonar las costumbres nómadas, la dependencia de los seres humanos de los suelos productivos empieza a ser mayor. De hecho, las primeras civilizaciones aparecen asociadas a llanuras aluviales, como la egipcia al Nilo, o las de la Mesopotamia, ligadas a las de los ríos Éufrates y Tigris. De la misma manera, en muchas ocasiones, la desaparición de poderosos imperios se asocia a la degradación de los suelos.

Aunque el conocimiento del problema se desarrolló lentamente, la preocupación ya apareció reflejada en los textos de autores griegos, como Platón, que asoció las grandes riadas y la erosión con la pérdida de los bosques, o los romanos Plinio y Virgilio, que recomendaron prácticas de cultivo que favorecieran la conservación de los suelos, no es, hasta finales del siglo XIX, cuando se empezaron a realizar las primeras investigaciones científicas.

Pero el espectacular incremento demográfico es el que dio la voz de alarma y puso de relieve la importancia de la conservación de los suelos y su fertilidad, para poder mantener la población humana mundial.

Mientras la curva demográfica muestra una tendencia continua ascendente, la disponibilidad de suelo y otros recursos naturales refleja una tendencia descendente, por lo que se hace necesario equilibrar la producción y la demanda de alimentos.

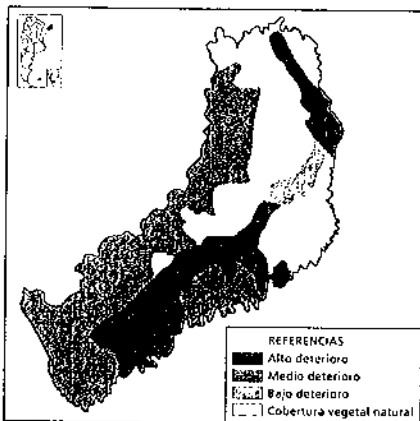
## 1. Erosión y degradación de los suelos

La erosión consiste en una pérdida progresiva de los componentes del suelo como consecuencia de una disgregación previa de sus partículas, que posteriormente son arrastradas y transportadas hasta otros lugares más abajo.

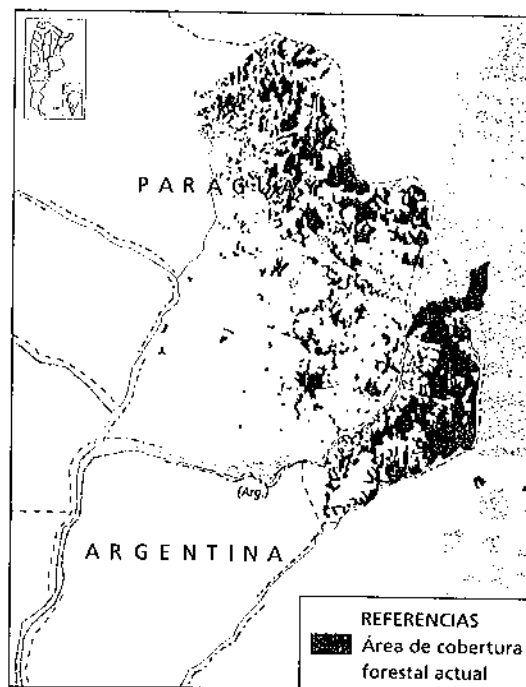
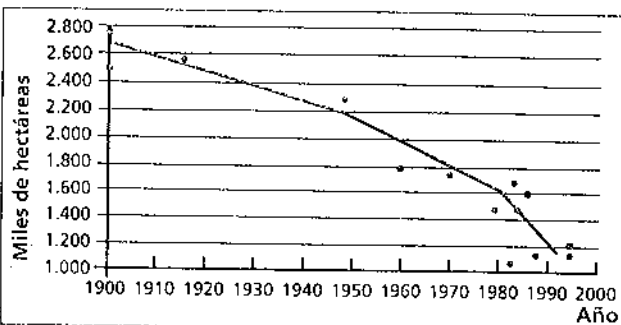
Los procesos erosivos constituyen un impacto ambiental negativo porque producen una degradación progresiva del recurso suelo y, por lo tanto, una pérdida de fertilidad.

Aunque son procesos relativamente lentos, si se comparan con la velocidad de formación de los suelos son mucho más rápidos. No se producen con una intensidad continua, sino que dependen de cómo actúan los agentes climáticos, sobre todo el agua y el viento.

**13** Zonificación del deterioro ambiental en la provincia de Misiones. En el gráfico se observa la evolución de la superficie de la selva misionera.



Zonificación del deterioro ambiental en Misiones (se indican las zonas protegidas y las erosionadas).



Cobertura forestal actual de la selva paranaense. Obsérvese la densidad de la vegetación en el territorio misionero.

Son procesos que una vez comenzados se aceleran de forma **progresiva**, porque la disminución de la capa superficial va aflorando materiales cuyas características suelen ser menos favorables para el crecimiento de las plantas. La erosión hace disminuir la biomasa vegetal, con lo que la protección de los suelos disminuye y la importancia de la erosión se irá incrementando progresivamente. Con el paso del tiempo, los suelos se hacen improductivos y desaparece la mayor parte de la biomasa vegetal.

Se trata de procesos destructivos que se producen en unas pocas décadas, y que son **irreversibles** a corto plazo. En cambio, los procesos de formación de los suelos hay que observarlos desde una perspectiva de miles de años, salvo que se produzcan acarreo por parte del hombre.

La **erosión** es un proceso general que tiene lugar de forma **natural** en todo el mundo, pero su intensidad es mayor en las áreas situadas alrededor de los desiertos, y con fuertes pendientes, por su irregularidad y escasez de lluvias, que se traduce en escasa cubierta vegetal y en una mayor fragilidad del suelo. Pero la **intervención humana** puede hacer que la velocidad del proceso se vea excesivamente incrementada, capaz de superar incluso a los propios agentes naturales.

La roturación y la puesta en marcha del cultivo suponen una alteración del equilibrio natural, porque al eliminar la vegetación, la superficie queda desprotegida; además, recibe menos aportes de materia orgánica



14 Morena de un glaciar en la parte china de Turquestán, Asia.

Y se incrementa la mineralización del suelo como consecuencia del laboreo. En estas condiciones se mantiene con mayor dificultad la estructura de los primeros centímetros de suelo, con lo que se hace más vulnerable a la erosión. Si además se disminuye la infiltración, disminuirán las disponibilidades de agua para las plantas, para la misma cantidad de lluvia, y además aumentará el flujo superficial.

Por otra parte, el abandono de tierras de cultivo no siempre favorece la restauración de las condiciones naturales. Si se abandonan las estructuras, como las terrazas, creadas para aprovechar el agua y aumentar las superficies de cultivos, suelen producirse enormes pérdidas de suelos almacenados en laderas, que son arrastrados por el agua al aumentar la escorrentía superficial y existir un menor control de la torrencialidad.

Además de los procesos erosivos, se comenzaron a reconocer, en zonas de agricultura intensiva, diversos procesos de degradación de los suelos, debido a factores tales como salinización, acumulación de biocidas y metales pesados.

## 2. Los agentes erosivos

La erosión se compone de dos procesos fundamentales: el **desprendimiento de partículas** por los agentes erosivos y su **transporte**, de manera que está limitada por el mecanismo que actúa con menor intensidad, de modo que si hay desprendimiento de partículas pero no hay transporte, no se produce erosión.

La erosión es esencialmente un proceso de suavización del relieve. La fuerza de la **gravedad** provoca el transporte de las partículas por diferentes medios, fundamentalmente el agua y el viento, que son a su vez los principales **agentes** que intervienen en la ruptura y la disolución de las partículas.

El **agua** actúa como el principal agente destructor de los suelos y, además, transporta los sedimentos, a veces a enormes distancias. El **viento** es especialmente activo en los climas áridos, donde las partículas superficiales están más sueltas y apenas existe vegetación. Aunque es capaz de transportar enormes cantidades de partículas en suelos secos, éstas deben ser de tamaño reducido y, salvo las diminutas partículas de arcilla, su transporte se produce a saltos, coincidiendo con su mayor intensidad.

La aceleración del proceso erosivo por la **acción humana** se produce por la destrucción de la cubierta vegetal natural, mediante prácticas de laboreo, deforestación, abandono de suelos, o cualquier otra que favorezca el ataque o el transporte de suelo por el agua o el viento. La tasa de erosión puede incluso multiplicarse.

# 7 Alteraciones estructurales del suelo

La estructura de un suelo es el resultado de la unión de sus partículas elementales, por puntos concretos de su superficie, a través de compuestos que actúan como cemento. Con ello se consigue crear amplios espacios entre las partículas e incrementar la porosidad.

La unión de las partículas se realiza según el tamaño de los agregados. Cuando los agregados son menores que  $0,2 \mu\text{m}$  la unión se hace a través de las arcillas. Estos microagregados, además de las arcillas, están formados por complejos órgano-minerales, donde intervienen los ácidos húmicos, cationes tipo Ca o Mg y sustancias coloidales que se forman entre la materia orgánica y los óxidos de Fe y Al.

Si el tamaño es mayor que  $0,2 \mu\text{m}$  y menor que  $250 \mu\text{m}$ , los agregados se forman a partir de restos de plantas y seres microbianos que se rodean de arcilla, cuyas superficies servirán de unión entre los agregados. El limo y la arena fina también pueden establecer este tipo de uniones, aunque dado el carácter más inerte de su superficie, van a desempeñar un papel importante en la formación de puentes los distintos minerales o restos orgánicos de los que se recubran, puesto que serán ellos fundamentalmente quienes establezcan las uniones.

Cuando se trata de macroagregados, superiores a  $250 \mu\text{m}$ , formados por los microagregados más partículas de arena gruesa y restos orgánicos (raíces pequeñas, hifas, etc.), los cementos tales como los mucílagos microbianos, y los propios elementos que forman el agregado, son fácilmente degradables. Pueden formarse, sin embargo, ciertos entramados que producen a su vez una determinada resistencia mecánica a la desagregación.

Hay dos mecanismos básicos que intervienen en la destrucción de la estructura del suelo: la fragmentación de los macroagregados y la dispersión de las arcillas.

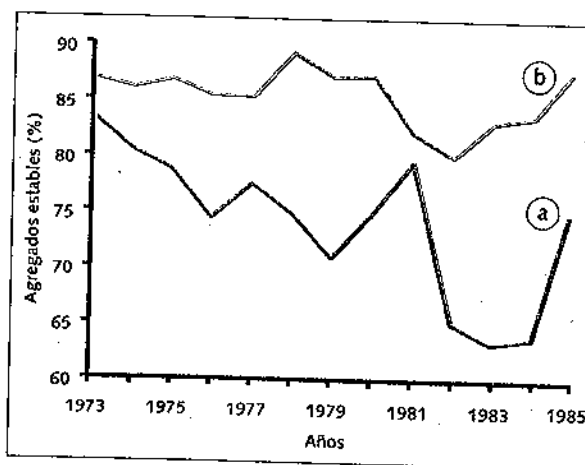
El primero de ellos, la fragmentación, supone la eliminación o disminución de las uniones y los elementos estructurales que dan estabilidad a los macroagregados. El resultado que se obtiene en una primera etapa es su rotura en microagregados, que pueden continuar su destrucción e ir reduciendo su tamaño.

Se distinguen dos grupos de factores que actúan sobre la fragmentación, unos de acción muy rápida y los otros de actuación más dilatada. Los de evolución muy rápida consisten en esfuerzos mecánicos que

rompen las uniones que estabilizan el macroagregado. En general son consecuencia o bien de las tensiones capilares que se producen en su interior, a causa de una lluvia después de un largo período de sequía, que revientan literalmente el agregado (efecto Yoder), o bien por el laboreo del suelo o el pisoteo por el ganado. La energía cinética que se libera, como consecuencia del impacto de las gotas de lluvia, puede producir también efectos destructivos sobre los agregados.

Los factores de actuación más lenta afectan esencialmente a la destrucción de la materia orgánica del suelo, por la disminución de la que se incorpora progresivamente, o consumo de la misma. Están relacionados esencialmente con la reducción o desaparición de la cubierta vegetal, bien por roturación del suelo, incendios forestales o cualquier causa que disminuya la biomasa que vive sobre un suelo.

El segundo mecanismo, la dispersión de las arcillas, se refiere a factores fisicoquímicos que producen la separación de las partículas de arcilla y dan lugar a suspensiones estables en agua de este material. Además de los esfuerzos mecánicos que actúan sobre el suelo, tales como el laboreo, el impacto de la lluvia y el pisoteo del ganado, intervienen muy eficazmente la naturaleza y la concentración de los cationes que se unen a la superficie de las arcillas, así como el tipo de arcilla, capaz de crear puentes más o menos estables.



15 Efecto disgregador de la lluvia sobre el suelo, que depende de la profundidad de las prácticas de laboreo. a) Profundidad de arado, 20 cm. b) Profundidad de arado, 5 cm.

Tanto la fragmentación como la dispersión pueden producirse a la vez, con lo que la destrucción del agregado puede hacerse en todos sus niveles de complejidad, sumándose así sus acciones, y obteniendo

una degradación del suelo mucho más rápida e intensa. En muchos casos, como en intensos aguaceros, se puede producir una degradación de las capas del suelo más profundas, incluso por debajo de los 20 cm.

## 8 Desertización y desertificación

### 1. Aridez, sequía y desertización

Los factores meteorológicos, topográficos y geográficos, de una zona concreta, determinan un clima y unas condiciones de distribución del agua a lo largo del año, que a su vez condicionan la disponibilidad de agua por los seres vivos. Lluvias intensas anuales distribuidas en una o dos estaciones, y durante pocos días, producen una situación de **aridez** que se corresponde con una **falta de agua para los seres vivos**. Esta escasez de agua es propia de los desiertos y zonas de su perímetro, y tiene un carácter permanente.

La **sequía** también se corresponde con una **falta de agua**, aunque ésta tiene un carácter **temporal** e inesperado frente a unas características habituales de mayor pluviosidad. Mientras la situación de aridez corresponde a una situación media habitual de escasez de agua disponible para los seres vivos, la sequía responde a una situación de mínimos hidrológicos para una zona.

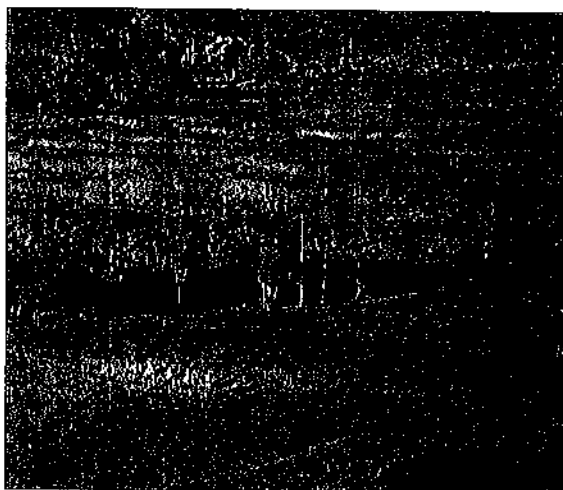
Los episodios de sequía se producen dentro de ciclos de años secos y húmedos, con períodos calculables a partir de series meteorológicas de varios años, y pueden agravarse por la acción humana, cuando se crean demandas superiores a las disponibles, tales co-

mo los crecimientos urbanísticos exagerados, las ampliaciones de regadío o la salinización del suelo, que provoca sequía fisiológica e importantes incrementos de consumo para lavar el suelo.

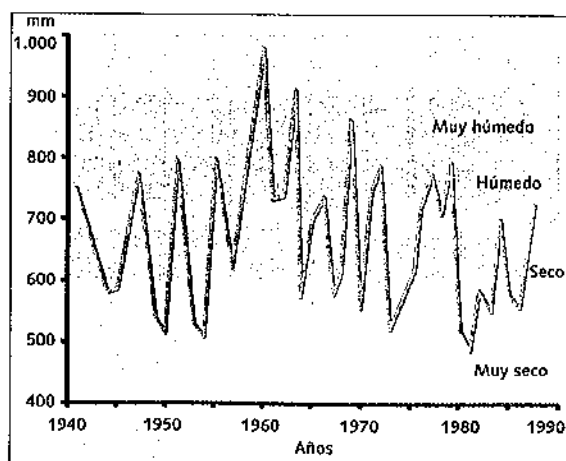
La palabra **desierto** procede del latín «*desertus*», abandonado, solitario. Este sentido significa lugar inhabitado, solitario, pero también se aplica a los territorios con un **clima extremadamente árido, sin vegetación y carente de agua**, y por ello sin población humana.

Las áreas marginales de los desiertos, como el del Sahara, son las zonas sometidas a mayor tensión y por lo tanto donde más fácilmente se podrá avanzar en las condiciones de degradación del territorio, que de manera natural conduzcan a la expansión del desierto. A este proceso natural se lo denomina **desertización**, y se produce muy lentamente.

No obstante, los cambios climáticos ocurridos durante el Cuaternario, con períodos glaciares e interglaciares, se han producido a lo largo de muchos miles de años, y con los datos de series meteorológicas disponibles de lluvias durante 150 años, no se encontró evidencia de ningún cambio sistemático o de una tendencia a la disminución de la precipitación media anual.



**16** Dunhuang, China. La aridez es una característica permanente en las zonas que bordean los desiertos.



**17** Las enormes variaciones anuales en las precipitaciones son una de las características más destacadas del clima mediterráneo.

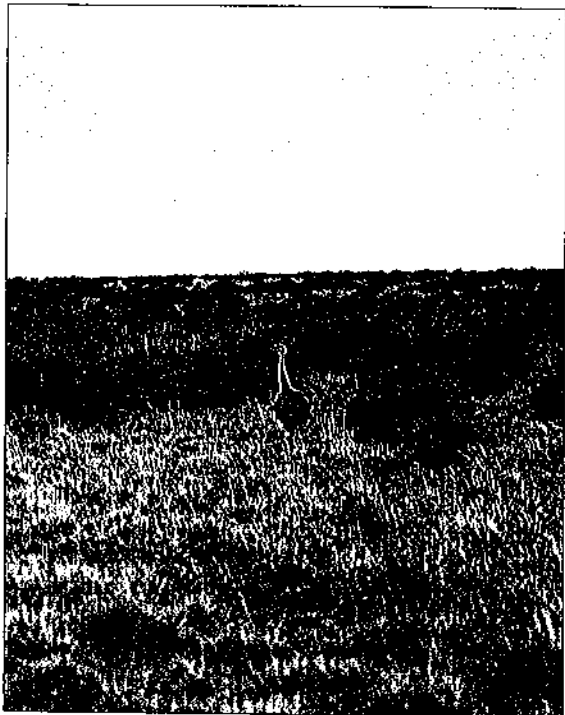
Parece que hay acuerdo entre los especialistas de distintos ámbitos en que el clima es estable a lo largo de varios miles de años. Sin embargo, a corto plazo pueden producirse condiciones climáticas más secas y repercusiones serias, tanto en la cubierta vegetal como en los sistemas hidrológicos y erosivos.

## 2. Desertificación

El término **desertificación** fue introducido por Aubreville en 1949, retomado en la Conferencia de Nairobi, en 1977, y se entiende por él «la propagación de las condiciones desérticas en áreas áridas y semiáridas con menos de 600 mm de precipitación, debidas a la influencia del hombre además de los cambios climáticos».

No obstante, la naturaleza compleja de la desertificación precisa una visión más general del problema, con el fin de poder tomar las medidas para combatirla. Así podría decirse que «la desertificación está causada por complejas interacciones tanto físicas y biológicas como por factores políticos, sociales o culturales».

En la actualidad, la Convención para Combatir la Desertificación de las Naciones Unidas (CCD) define la desertificación como «... la pérdida de la productividad y complejidad biológica o económica que afecta tanto al suelo dedicado a cultivos de secano, regadío o de montaña, como pastizales o bosques,



18 Paisaje de la Patagonia, provincia de Santa Cruz. Gran parte de la Argentina tiene un clima desértico.

consecuencia de los procesos de erosión del suelo y deterioro de sus propiedades, y que ocasiona la pérdida de la vegetación natural a largo plazo».

De la misma manera que en otros países áridos del mundo, la historia de los cultivos inadecuados en los países de la Europa mediterránea se remonta a más de veinte siglos. El cultivo masivo de cereales y la roturación del suelo para plantar frutales se realizaba en las colinas y laderas de las montañas, debido a que en los valles y llanuras costeras continuamente se producían inundaciones y a menudo la malaria asolaba la región. Esto obligó a una continua deforestación, que además se veía incrementada por la demanda de madera para la construcción y como combustible. De esta manera se desencadenó un proceso muy intenso de desertificación en Europa, hace ya más de dos mil años.

## 3. Proyecto Lucdeme

Durante la década de 1970, el mundo vivió una tragedia de alcance ecológico y humano gigantesco. Los países situados al sur del Sahara se vieron azotados por una sequía continua de más de cinco años. El lago Chad se redujo a un tercio de su tamaño normal; el caudal de los ríos Senegal y Níger disminuyó extraordinariamente, y por lo tanto no producían las benéficas inundaciones y así quedaban estériles las mejores tierras de cultivo de la zona; y los animales hambrientos esquilaban toda la vegetación, hasta hacerla desaparecer, con lo cual a medida que avanzaba el desierto tenían que retroceder las poblaciones humanas, diezmadas por la sed y el hambre. Imágenes terribles de hambre y desolación recorrieron el mundo entero.

Como resultado de la enorme sensibilidad social y del sentimiento de solidaridad que generó el problema, la Asamblea General de las Naciones Unidas convocó una **Conferencia Mundial sobre Desertificación**, a la que asistieron representantes de noventa y cuatro países, y se desarrolló en Nairobi, del 29 de agosto al 9 de septiembre de 1977.

Esta conferencia, además de un plan de acción, elaboró un mapa mundial con desiertos y áreas sensibles, clasificados con arreglo a tres niveles de riesgo: muy alto, alto y moderado.

Atendiendo a las recomendaciones de la Conferencia de Nairobi, y teniendo en cuenta que existen grandes vacíos de conocimientos para llegar a integrar todos los procesos que inciden en la desertificación, diversos gobiernos desarrollaron proyectos para analizar tanto los factores que intervienen en la desertificación como las técnicas de lucha, los planes de ordenación y la restauración de cuencas con lluvias torrenciales. Otras funciones son la difusión social del problema y la formación de personas.

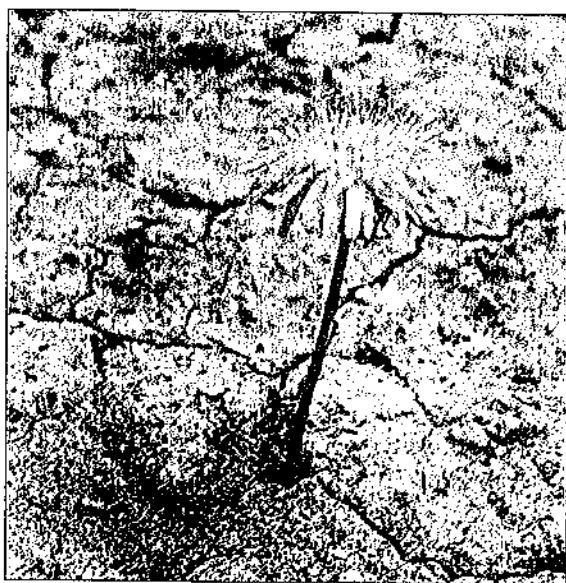
# 9 Otras formas de inutilización de los suelos

## 1. Degradación salina de los suelos

La degradación de los suelos se produce habitualmente por la pérdida de productividad que supone la destrucción de su estructura y la pérdida de sedimentos. La **salinización de los suelos**, como consecuencia del riego frecuente por aguas salobres, produce también destrucción de los agregados del suelo y constituye un proceso que causa una importante reducción de la fertilidad, sobre todo en las zonas de clima árido, con agricultura de riego dependiente de ríos con caudales de agua muy irregulares, o que incluso pueden llegar a secarse, y entonces se usan las aguas freáticas, que pueden llegar a ser muy salinas si la sequía es prolongada.

Además de la mala calidad de las aguas de riego y el tipo de suelo con mayor cantidad de sales, la aridez constituye uno de los factores que aumentan considerablemente el riesgo de salinización. La falta de un lavado frecuente de las tierras, debido a la **escasez de las precipitaciones y elevada evapotranspiración**, produce una acumulación de sales en los horizontes superficiales del suelo. El índice utilizado en el Mapa Mundial de la Desertización, para suelos salinos,  $C = PET/p \cdot 10$ , donde **PET** es la evapotranspiración potencial y **p** la precipitación anual, es muy alto en suelos del área mediterránea.

Esta disminución de la fertilidad del suelo puede tener un efecto multiplicador en su degradación, cuando provoca su abandono y, por lo tanto, facilita el incremento de la erosión.



19 La aridez es un factor que aumenta considerablemente el riesgo de salinización.

## 2. Contaminación agraria difusa

Según los estudios de la FAO, el considerable aumento en la producción agrícola mundial se debe en un 72 % a la utilización de fertilizantes, de productos fitosanitarios y a la introducción de nuevas técnicas de cultivo.

A su vez la aplicación de herbicidas disminuyó los costos de producción, no sólo por la mayor eficacia en la destrucción de las malas hierbas, sino también por la eliminación de plagas que se desarrollan sobre ellas. No obstante, sus efectos sobre el medio no son bien conocidos, sobre todo a largo plazo.

Al realizar análisis de sus residuos en el aire, el agua, el suelo, los animales o incluso el hombre, se puso de manifiesto su acumulación en la cadena trófica y su acumulación en el medio físico.

El suelo es el medio que hace la función de filtro en el transporte de los pesticidas y abonos, que suelen aplicarse sobre las plantas, o directamente sobre el suelo. Tanto en éste como en el paso a través de la cadena trófica se producen transformaciones, de manera que los productos pueden pasar a otros medios, o bien quedar retenidos en los agregados, sobre todo uniéndose a las arcillas y la materia orgánica, e influyendo por lo tanto en la estructura del suelo. También de forma negativa pueden actuar directamente sobre los microorganismos del suelo, y por lo tanto alterar los procesos de transformación de la materia orgánica que forma parte de los agregados.

Cuando el producto se une fuertemente a los radicales, la capacidad de intercambio de iones puede disminuir, lo que provoca la pérdida de fertilidad del suelo. Si la capacidad de intercambio catiónico de los agregados es muy pobre, por su escasez en arcillas o materia orgánica, el efecto será más evidente, porque la pérdida de fertilidad será muy acusada.

A partir del uso de aguas contaminadas, o bien del uso como fertilizantes de compost de basuras o lodos procedentes de depuradoras, pueden liberarse cantidades significativas de metales pesados, como el plomo o el cadmio. Se ha comprobado que algunos fosfatos naturales también poseen cantidades significativas de estos elementos.

Aunque no se conoce bien el efecto que estos elementos pueden tener sobre la cadena trófica, sí está claro su papel en la pérdida de fertilidad del suelo, al ser insolubles y quedar retenidos, además de quedar fuertemente fijados a los agregados del suelo, disminuyendo su capacidad de intercambio de cationes.