El suelo en la agricultura y el medio ambiente (V)

LA DEGRADACION DEL SUELO

Gizakiaren ekintzek eta eragile naturalek lurzoruaren ezaugarrietan eta beroiek burutzen dituzten funtzioetan izan dezakete eragina. Fenomeno horri deitzen diogu lurraren degradazioa. Degradazioa dela eta, lurzorua higatu egiten da, azido bihurtzen da eta izaki bizidunentzako toxiko diren sustantziez kutsatu egiten da. Guzti honetaz hitzegingo digu ondoren argitaratzen den artikuluak.

Tanto por la acción del hombre como por causas naturales, las propiedades del suelo que hemos descrito y las correspondientes funciones que realizan pueden verse afectadas, lo que constituye la degradación del suelo. En parte por la intervención humana, pero también por fenómenos naturales, los suelos padecen la erosión, se acidifican y contaminan con sustancias tóxicas para los seres vivos.

Algunos suelos presentan niveles excesivos de contaminantes de origen natural, tales como algunos elementos presentes en la roca madre original, o las emisiones volcánicas. Este es el caso de los suelos serpentínicos de Galicia con concentraciones elevadas de cromo, o de molibdeno y selenio en suelos de Inglaterra y Estados Unidos.

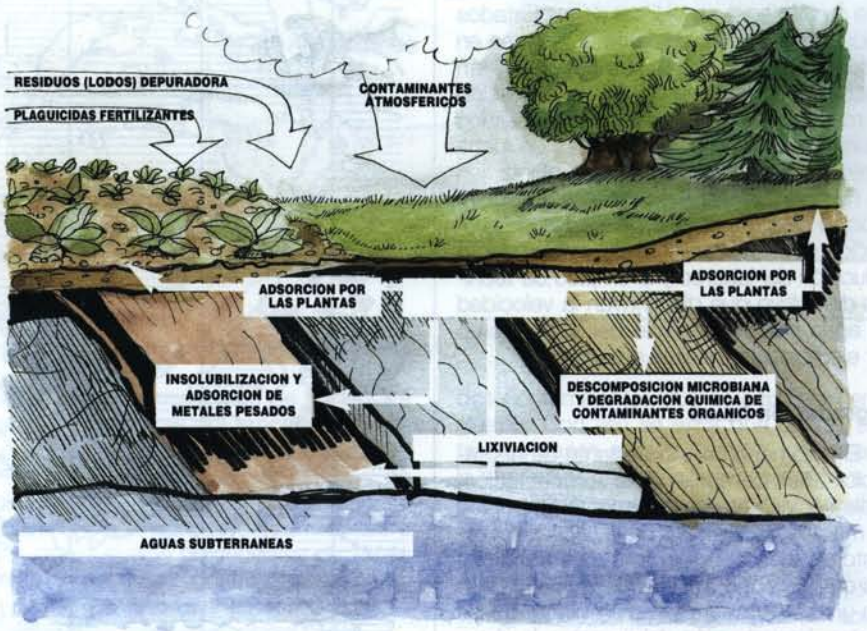
Se define la degradación del suelo como el proceso que reduce la capacidad actual o futura de los suelos para producir bienes y servicios. Las principales causas de degradación del suelo son las siguientes:

- Deforestación o eliminación de la vegetación natural: sustitución de masas forestales por cultivos agrícolas, explotación forestal a gran escala, incendios provocados, construcción de carreteras y asentamientos urbanos.

- Pastoreo excesivo. No sólo puede producir la degradación de la vegetación, sino también la compactación y erosión del suelo.

- Prácticas agrícolas. Incluye una amplia variedad de actividades, desde el empleo insuficiente o excesivo de fertilizantes, riego con agua de mala calidad, empleo de maquinaria pesada o ausencia de medidas contra la erosión.

FIGURA 1
El suelo como filtro de contaminantes



Fuente: Bium, 1990.

- Sobreexplotación de la vegetación para usos domésticos, de manera que la cubierta vegetal que permanece no presta una protección suficiente contra la erosión y el encostramiento del suelo.

- Actividades industriales (minería, industria siderometalúrgica, etc.), que son la causa más frecuente de contaminación del suelo.

Suelen distinguirse dos tipos de procesos de degradación del suelo:

a) aquellos que producen el desplazamiento de las partículas del suelo. Los más importantes son la erosión por agua y viento, que afectan a casi el 30% de la superficie de nuestra Comunidad.

b) fenómenos que originan una degradación in situ del suelo. Pueden ser procesos de degradación física o química.

Erosión por agua y viento

La erosión del suelo es un fenómeno complejo, en el que intervienen dos procesos: la ruptura de los agregados y el transporte de las partículas finas resultantes a otros lugares. Además de la pérdida de la capa de suelo, que contribuye a la desertización, las partículas arrastradas pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminantes (plaguicidas, metales, nutrientes minerales, etc.).

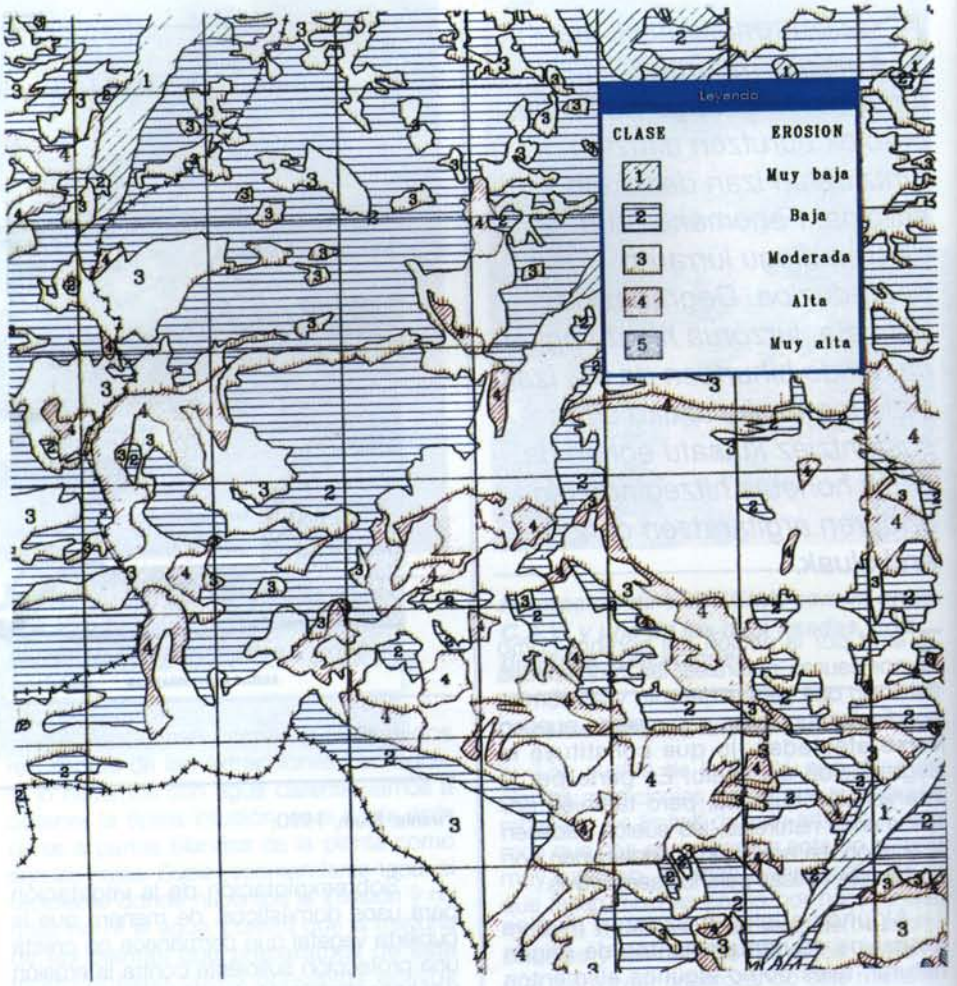
En general, los suelos con una buena cubierta vegetal permanente no suelen padecer problemas de erosión. Estos se dan principalmente cuando se elimina la vegetación, como por ejemplo en la transformación de praderas a cultivos arables. La erosión por el agua, que es con diferencia la principal forma de degradación del suelo a nivel mundial (Tabla 1), predomina en los terrenos arables, en zonas con elevadas pendientes y en áreas de recreo de uso intensivo.

El riesgo de erosión por acción del agua es máximo en períodos de lluvias intensas en que el suelo se encuentra saturado de agua, con escasa cubierta vegetal y aumenta el movimiento del agua por la superficie del suelo. El efecto de escorrentía resultante elimina cantidades importantes de suelo y origina regueros de erosión que actúan como ruta principal del agua, lo que aumenta el problema.

La incidencia de la erosión por el viento a nivel mundial es aproximadamente la mitad de la debida al agua (28% del terreno total afectado por la degradación del suelo). Es propia de climas áridos y semiáridos, y se presenta principalmente en suelos arenosos y de turberas, carentes de estructura. Este tipo de erosión es casi siempre debido a la disminución de la cubierta vegetal del suelo, bien por sobrepastoreo o a causa de la eliminación de la vegetación para usos domésticos o agrícolas.

Uno de los aspectos esenciales en los programas de control de la erosión es la predicción de los lugares y las épocas en que puede presentarse una excesiva erosión. La pérdida de suelo por erosión en un lugar y momento determinado depende de muchos factores, que han sido combinados en una sencilla expresión, llamada ecuación universal de pérdida de suelo. Esta ecuación fue desarrollada inicialmente para su uso en la zona Este de los Estados Unidos, aunque actualmente se emplea en todo el territorio estadounidense y en muchos otros países para la elaboración de mapas de erosionabilidad digitalizados (figura 2).Las principales medidas de lucha contra la erosión consisten en la plantación de franjas de vegetación permanente (árboles o setos), formando frentes de protección que reducen el efecto del viento, la reducción del laboreo y el empleo de técnicas de cultivo que disminuyan la velocidad del agua por la superficie del suelo (como por ejemplo, las terrazas o bancales).

FIGURA 2
Mapa de erosión hídrica



Fuente: Viceconsejería de Medio Ambiente. Gobierno Vasco

Degradación física

El fenómeno más importante de degradación física del suelo es la compactación. Suele ser debida principalmente al empleo de maquinaria agrícola pesada y al sobrepastoreo, combinados con unas condiciones de humedad elevada del suelo, y tiene una gran influencia en el crecimiento de las plantas. La reducción del drenaje y la aireación que acompañan a la compactación del suelo promueven el enraizamiento superficial (figura 3), lo que trae como consecuencia la pérdida de cubierta vegetal.

También se incluyen entre los fenómenos de degradación física la formación de costras superficiales por partículas finas liberadas al romperse los agregados, que se produce cuando la cubierta del suelo no está suficientemente protegida, y la inundación de los suelos por los ríos, a consecuencia de la intervención humana en los sistemas naturales de drenaje.

Degradación química

A nivel mundial, los procesos de degradación química del suelo afectan a un 12% de la extensión de terreno degradado (Tabla 2). La importancia relativa de cada una de estas formas de degradación varía mucho de unos continentes a otros. En Europa, la contaminación de los suelos es la principal forma de degradación química de origen humano.

Las causas más importantes de la degradación química del suelo son el manejo inadecuado (56%) y la deforestación, mientras que las actividades industriales contribuyen en gran medida a la polución de los suelos. Los principales procesos de degradación química del suelo han sido descritos detalladamente en capítulos anteriores. A modo de resumen citaremos los más importantes, que son:

1.- Acidificación. La acidificación o aumento de la concentración de iones H+ en el suelo se produce por múltiples causas, tanto naturales (lavado de cationes por

TABLA 1
Extensión de la erosión por agua a nivel mundial (en millones de hectáreas)

	Ligera	Moderada	Extrema	Total	Suelos degradados %
Africa	58	67	102	227	46
Asia	124	242	73	441	59
Sudamérica	46	65	12	123	51
Centroamérica	1	22	23	46	74
Norteamérica	14	46	-	60	63
Europa	21	81	12	114	52
Oceanía	79	3	1	83	81
Mundial	343	526	223	1.094	56

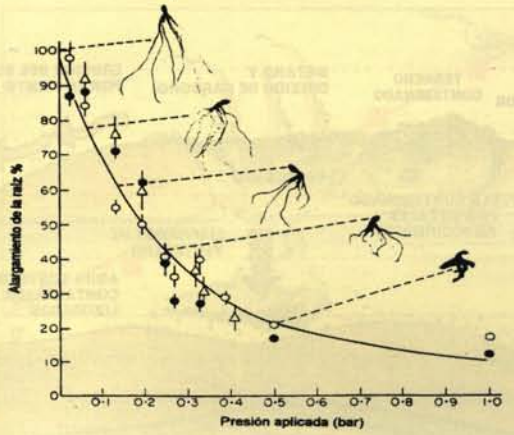
Fuente: Oldeman (1994).

TABLA 2
Extensión de la degradación química del suelo a nivel mundial (en millones de hectáreas)

	Acidificación	Salinización	Pérdidas de nutrientes	Polución	Total	Suelos degradados (%)
Africa	1	15	45	+	62	12
Asia	4	53	15	2	74	10
Sudamérica	-	2	68	-	70	29
Centroamérica	-	2	4	+	7	11
Norteamérica	+	+	-	+	+	+
Europa	+	4	3	19	26	12
Oceanía	-	1	+	-	1	1
Mundial	6	77	136	21	240	12

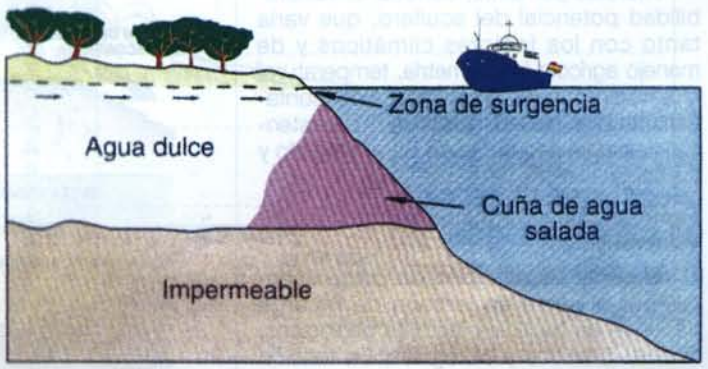
Fuente: Oldeman (1994).

FIGURA 3
Efecto de la compactación en la profundidad de enraizamiento de plantas de cebada



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 4
Intrusión marina en un acuífero costero



Fuente: Miner y MOPTMA.

el agua de lluvia, descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo), como inducidas por la práctica agrícola (abonos acidificantes) o la contaminación exterior (lluvia ácida).

2.- Salinización. El exceso de sales solubles en la solución acuosa del suelo produce un efecto de deshidratación de la planta, análogo al que se presenta en condiciones de sequía. Algunos suelos de zonas áridas y semiáridas son salinos por naturaleza o a consecuencia del manejo inadecuado del riego y la falta de drenaje. En zonas húmedas en que la pluviometría supera a la evapotranspiración, la acción de lavado de la lluvia impide la existencia de suelos de naturaleza salina. Por tanto, la acumulación de sales solubles suele ser consecuencia del riego con aguas salinas (por ejemplo, intrusión de agua marina en acuíferos costeros, figura 4), o de las aplicaciones excesivas de fertilizantes minerales y abonos orgánicos.

3.- Pérdida de materia orgánica y nutrientes. La transformación de grandes extensiones de cultivos forestales o de pradera a cultivos arables, unida a la sustitución del empleo de abonos orgánicos por fertilizantes minerales, conduce a una disminución del contenido en materia orgánica de los suelos, con la consiguiente pérdida de fertilidad. También se reduce la fertilidad al cultivar suelos poco fértiles con aportes de nutrientes minerales insuficientes para reponer las cantidades extraídas con los cultivos.

4.- Polución. Pueden presentarse muchas formas diferentes de contaminación de los suelos, originadas en focos contaminantes muy variados: acumulación de plaguicidas, metales pesados, residuos de aceites y combustibles líquidos, deposición de contaminantes atmosféricos, etc.

El suelo como contaminante

Hemos citado el comportamiento del suelo como contaminante del aire y el agua, al actuar como medio de transporte de sustancias tóxicas por procesos naturales de erosión, ya que el suelo es la fuente de emisión de polvo a la atmósfera y de sedimentos a la hidrosfera. También se produce la dispersión de contaminantes a través de los suelos procedentes de zonas contaminadas, como ocurre habitualmente en nuestro entorno con las tierras comercializadas para jardinería y obras civiles.

En ocasiones, el suelo actúa como foco de emisión de gases (amoníaco, óxidos de nitrógeno, metano, etc) a la atmósfera, o contribuye a la contaminación por fosfatos y nitratos de las aguas superficiales y subterráneas. Pero, en relación a la contaminación, el suelo se comporta principalmente como descontaminante y como suelo contaminado (figura 5), tanto para las formas difusas (lixiviación, volatilización) como con los focos puntuales (vertederos).

El suelo como filtro de contaminantes

El suelo es el medio más parecido que existe en la Naturaleza a un descontaminante universal. Tradicionalmente, el suelo ha recibido el aporte de los materiales orgánicos que, vertidos a otro medio receptor acuoso o atmosférico, hubiesen constituido un foco de polución. De esta forma, se cierra el ciclo natural de materia orgánica y nutrientes.

Pero durante los últimos años se viene buscando en el suelo el destino cómodo de los subproductos y residuos de origen urbano e industrial, por extensión de su función natural de depurador de los residuos orgánicos. Para ello, es necesario tener en cuenta el tipo y la carga máxima de contaminante que el suelo es capaz de recibir sin que sus funciones se vean alteradas, lo que lo convertiría en un suelo contaminado.

En su función de descontaminante, el suelo actúa como un filtro activo, bloqueando y descomponiendo determinados contaminantes que se depositan en el mismo. Con ello se evita que dichas sustancias pasen a los alimentos, las aguas y la atmósfera, reduciéndose los daños a los ecosistemas y los riesgos para la salud de los seres vivos (figura 1).

Vulnerabilidad de los acuíferos

Cada vez con más frecuencia se recurre a las captaciones de agua subterránea para el abastecimiento de agua potable, por lo que resulta esencial proteger dicho recurso de las diferentes fuentes de contaminación. Particularmente, la aplicación en épocas inadecuadas o en cantidades excesivas de estiércoles y purines, fertilizantes minerales, vertidos de agroquímicos y efluentes de ensilado vienen siendo las causas más habituales de incidentes por contaminación de las aguas en zonas rurales.

En su movimiento descendente a través del perfil, el agua atraviesa la capa superior de suelo, que actúa como primer filtro de contaminantes. Posteriormente, pasa a una zona intermedia no saturada de agua, hasta que alcanza una roca porosa o acuífero que, como una esponja, almacena el agua en sus poros. Estos se hallan saturados de agua hasta una determinada altura, que se conoce como nivel freático.

El riesgo de que los contaminantes aplicados sobre el suelo alcancen el acuífero se denomina vulnerabilidad. El control directo mediante el análisis de contaminantes en las aguas subterráneas sólo muestra

TABLA 3
Valores del coeficiente de adsorción (K) de algunos plaguicidas

Plaguicida	k, kg/1	Plaguicida	K, 1/kg
DDT	10.000-100.000	Atrazina	26
Lindano	7-50	Simazina	1-7
2,4-D	2	Paraquat	200-5.000

Fuente: Elaboración propia.

signos evidentes de contaminación al cabo de mucho tiempo de haberse producido (normalmente, varios años), cuando ya no puede evitarse (figura 6).

Interesa, por tanto, conocer la vulnerabilidad potencial del acuífero, que varía tanto con los factores climáticos y de manejo agrícola (pluviometría, temperatura, etc) como con las propiedades del contaminante (solubilidad, volatilidad, persistencia), la capacidad del suelo para retenerlo y las características del acuífero.

Factores que determinan la vulnerabilidad

El poder de retención de contaminantes por el suelo en la zona de recarga depende de múltiples factores geológicos, físicos, químicos y biológicos. En función de los primeros, y de acuerdo con la litología del terreno, la vulnerabilidad de los acuíferos subterráneos a la contaminación se clasifica en diferentes categorías. Destacan como más vulnerables las formaciones aluviales sin capa impermeable protectora, las que presentan fisuras y los sistemas kársticos (sustratos calizos o yesíferos sometidos a procesos de disolución por agua de lluvia). Las menos sensibles son aquellas en que no existen formaciones permeables superficiales, tales como las margas y arcillas, pizarras, granitos, etc.

FIGURA 5
Comportamiento del suelo en relación a la contaminación

Fuente: ELE.

La acción de filtro activo de la capa superior de suelo es debida a algunas propiedades que impiden la acumulación y transmisión de contaminantes en concentraciones tóxicas, lo que se produce generalmente por dos tipos de procesos:

a) insolubilización y adsorción de sustancias contaminantes por los componentes del suelo. Esta forma de desactivación es típica de los contaminantes presentes en formas catiónicas y, en general, de las sustancias que, por su carga eléctrica positiva, son adsorbidas en el Complejo de Cambio del suelo. Por ejemplo, los metales pesados forman sales insolubles (carbonatos, fostatos, etc) y son adsorbidos en la superficie de la arcilla y el humus del suelo.

También son adsorbidos algunos compuestos orgánicos, como los herbicidas del grupo de las Triazinas, ya que la molécula neutra (T) adquiere una carga positiva en medio ácido:

$$T + H_2O \rightleftharpoons TH^+ + OH^-$$

Por tanto, el poder amortiguador para la retención de este tipo de contaminantes por el suelo, depende también de la acidez y el contenido en arcilla y humus, es decir, del pH y la Capacidad de Intercambio Catiónico. La capacidad de adsorción de un plaguicida determinado por un suelo se mide a través del coeficiente de adsorción K, que varía mucho de unos plaguicidas a otros (Tabla 3). El valor de este coeficiente para cada pareja plaguicida/suelo se determina en el laboratorio, poniendo ambos en contacto en columnas de suelo, y midiendo su reparto entre la forma adsorbida y la solución acuosa (figura 7).

b) degradación de compuestos por reacciones de oxidación e hidrólisis y, sobre todo, por los microorganismos del suelo, como ocurre en los plaguicidas y compuestos orgánicos semejantes. Lógicamente, la biodegradabilidad de un plaguicida será tanto mayor cuanto menor sea su efecto tóxico sobre los microorganismos, y las condiciones del suelo sean más

FIGURA 6
Contaminación por nitratos de las aguas subterráneas

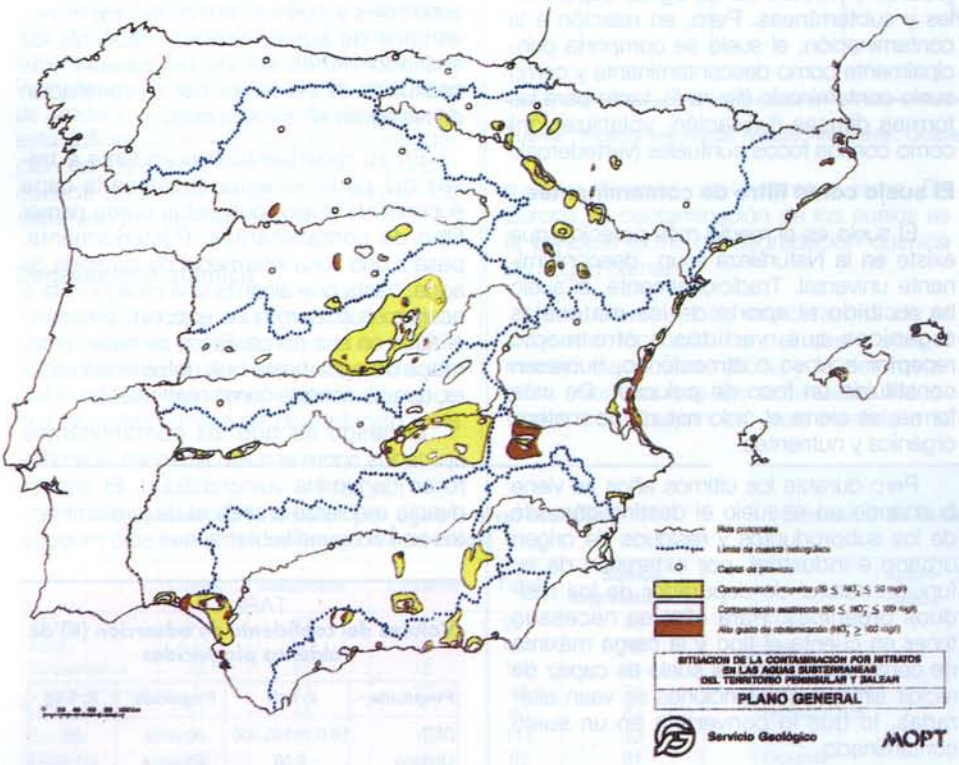
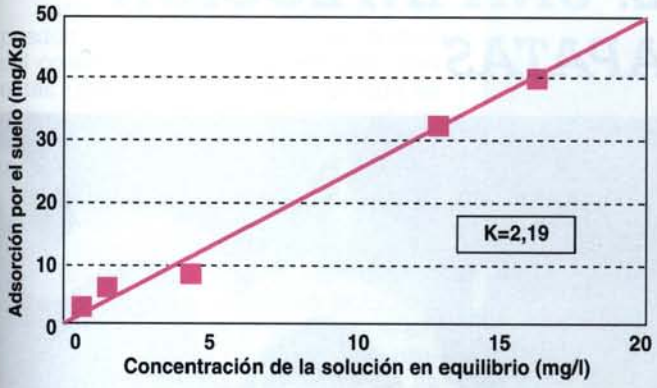
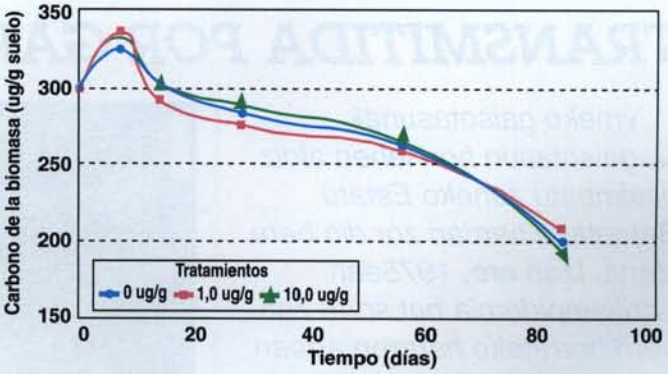


FIGURA 7
Determinación del coeficiente de adsorción de la atrazina



Fuente: Wild 1993.

FIGURA 8
Efecto de un plaguicida en la biomasa microbiana del suelo



Fuente: Hart y Brookes.

favorables a la actividad microbiana. Esta aumenta con el contenido en materia orgánica y con la aireación del suelo que, como hemos visto, depende de las condiciones de humedad y del contenido en arcilla.

De la importancia que tiene la toxicidad de un plaguicida para los microorganismos del suelo da una idea el hecho de que, por ejemplo, en el Reino Unido es preceptivo determinar su efecto sobre la biomasa y actividad microbiana del suelo, antes de autorizar el registro de un nuevo fitosanitario (figura 8).

Métodos de evaluación de la vulnerabilidad

Conociendo diversos datos del suelo y de la roca del acuífero, es posible aplicar diferentes modelos matemáticos y obtener algunos índices, que sirven para construir mapas de vulnerabilidad. Estos permiten efectuar, con carácter preventivo, una evaluación rápida de los riesgos de contaminación de los acuíferos.

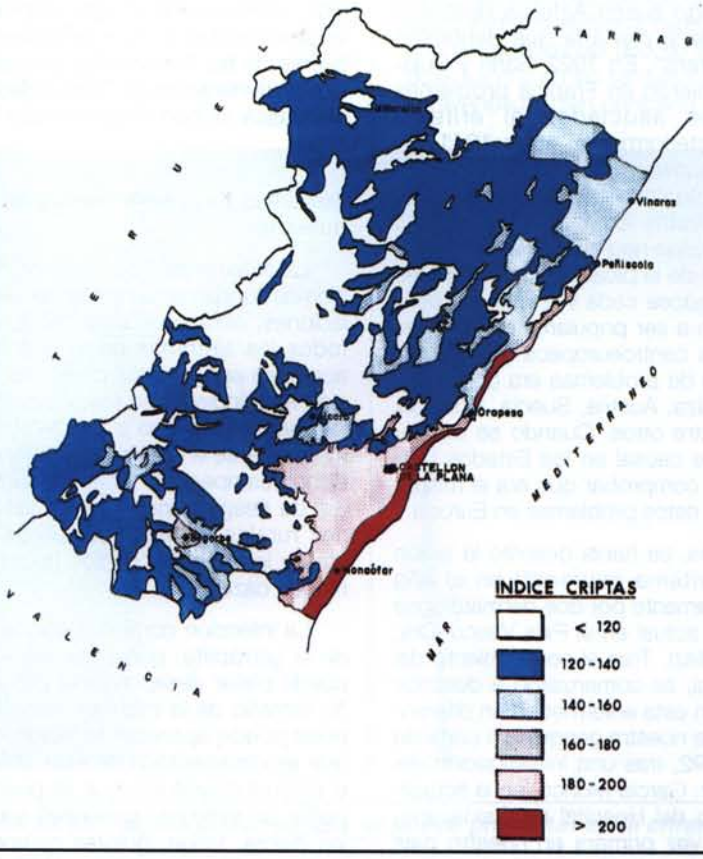
Uno de los modelos más conocidos es el desarrollado en Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que se basa en el cálculo de un índice, llamado DRASTIC por las iniciales de los elementos que lo componen (CRIPTAS en su traducción a la lengua española). La importancia relativa asignada a cada uno de los componentes de dicho índice es la siguiente:

Factor	Peso específico
Conductividad hidráulica del acuífero (C)	2
Recarga neta del acuífero (R)	4
Impacto de la zona no saturada (I)	4
Profundidad del nivel de agua (P)	5
Topografía (pendiente) (T)	3
Roca del acuífero (A)	3
Tipo de suelo (S)	5

Se da la máxima importancia a la profundidad hasta la capa freática y a la velocidad del agua en la zona no saturada. El índice CRIPTAS es el resultado de sumar los productos del valor de cada factor por su correspondiente coeficiente. Cuanto mayor sea el índice CRIPTAS, mayor es la vulnerabilidad de las aguas subterráneas.

La principal limitación de estos modelos hidrogeológicos es que sólo proporcionan un método empírico para medir el flujo acuoso de los contaminantes a través de un medio poroso. Predicen adecuadamente el flujo de los contaminantes que, como el nitrato, son muy solubles, poco volátiles y apenas interaccionan con el suelo. Para otras sustancias (metales pesados, plaguicidas) es necesario tener en cuenta, además, otros factores que reflejen las interacciones del contaminante con el suelo, por lo que los mapas de vulnerabilidad resultantes (figura 9) sólo sirven con fines comparativos. ❑

FIGURA 9
Mapa de vulnerabilidad de acuíferos obtenido con el sistema CRIPTAS



Fuente: ITGE, 1989.

Javier Ansorena Miner
Laboratorio Agrario
Departamento de Agricultura y Medio Ambiente / Diputación Foral de Gipuzkoa