

## ***AGRICULTURA E INDUSTRIA***

**Esta lectura trata sobre las calidades químicas que se espera que tengan los suelos por una buena cosecha, de cómo controlar su pH y de cómo mejorarlo con abonos nitrogenados. También se habla de cómo la química ayuda a unas cosechas mejores con la lucha contra las plagas.**



## ***AGRICULTURA E INDUSTRIA***

### **La necesidad de una agricultura sostenible**

La población mundial aumenta, en 1999 era de 6 mil millones. El año 2040, se calcula que será de 9 mil millones, es decir habrá aumentado de un 50% en medio siglo. Este crecimiento impone un enorme reto a la agricultura. Nuestro planeta no puede producir una cantidad ilimitada de alimentos si la población continúa aumentando de manera ilimitada. El objetivo final continuará siendo de proporcionar alimentos a todo el mundo sin destruir los hábitats naturales (Figura 1).



*Figura 1: Hectáreas de la selva Amazónica convertidas en campos de cultivo de soja*

¿Cómo se puede aumentar la producción de alimentos y mantener a la vez las selvas tropicales y las reservas naturales? Esto tiene que ser posible aumentando la eficiencia de las tierras de cultivo actuales a base de mejorar las variedades actuales de los cultivos; de una mejora de los nutrientes por las plantas junto con una lucha eficaz contra las plagas.

En esta tarea se han cometido muchos errores: por ejemplo se ha cultivado siempre el mismo en cada cosecha y cada temporada esto ha hecho disminuir la fertilidad del suelo al agotarse los nutrientes. Se han querido aplicar las técnicas útiles por un tipo de suelos a otros de características totalmente diferentes. En algunos casos los plaguicidas diseñados para eliminar insectos han sido mortales por especies superiores. Para evitar repetir los errores, nos hace falta un conocimiento a fondo de la naturaleza de los suelos, de las necesidades nutritivas de las plantas y aprovechar el conocimiento y experiencia de muchos siglos de los agricultores con objeto de desarrollar una agricultura sostenible, es decir un desarrollo agrícola ilimitado sin degradar el medio ambiente.

### **¿Qué es el suelo?**

La corteza terrestre ocupa un 1,5% del volumen del planeta. El suelo es la capa externa de la corteza terrestre, que, por regla general, tiene un grueso aproximado de 1 o 2 metros.

<b>Elemento</b>	<b>% en masa</b>
oxígeno	47
silicio	28
aluminio	8
hierro	5
calcio, sodio, potasio i magnesio	2-4 cada uno

*Tabla 1 Composición de la corteza de la Tierra (porcentaje en masa)*

Los cortes del terreno suelen mostrar las capas internas de un suelo (ver la figura 1). Las plantas absorben los nutrientes y el agua del suelo, el cual, además, las sujeta mientras crecen

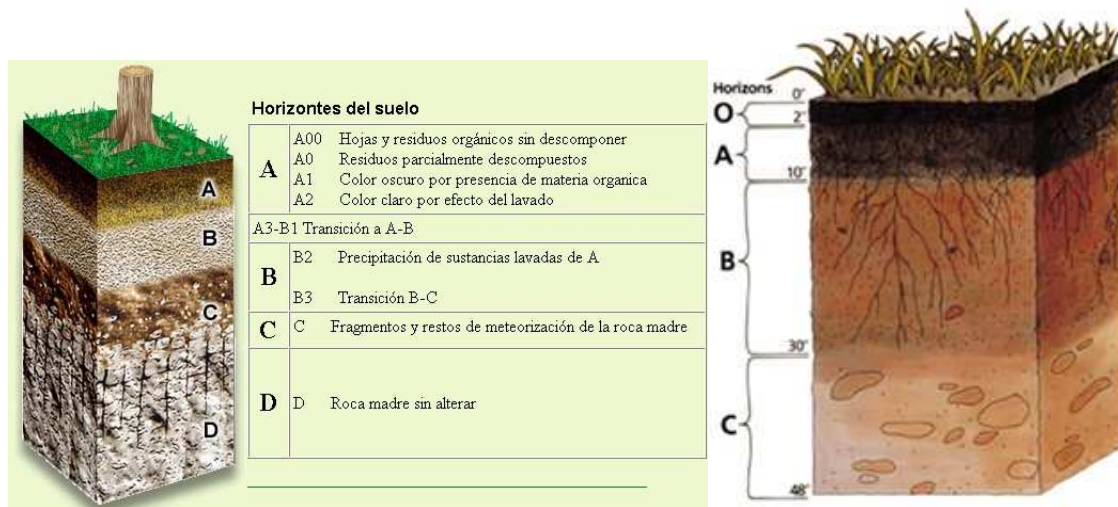


Figura 1 capas del suelo

El suelo es una mezcla de fragmentos de rocas erosionadas y de materia orgánica. Juntos forman un material poroso que puede contener aire y agua.

Las cantidades de aire y agua en un suelo son variables y sus proporciones determinan la influencia del suelo en el desarrollo de una planta. Los minerales ejercen una función vital: retienen agua y proporcionan los nutrientes iónicos aptos para las plantas.

Los minerales del suelo se producen por descomposición de las rocas que forman la corteza terrestre. La medida de los fragmentos de rocas y minerales varía enormemente y se dividen en clases según su diámetro

## Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica del suelo proviene de residuos vegetales, excreciones y restos de animales y de productos procedentes de la descomposición de todos ellos. La materia orgánica del suelo forma una reserva de los nutrientes de la cual serán absorbidos por la próxima generación de plantas. Los materiales de rechazo que se depositan en el suelo son aprovechados por la gran variedad de microorganismos que viven.

Durante el proceso de descomposición, los elementos en forma de compuestos orgánicos se convierten en iones inorgánicos como el amonio, el nitrato, el sulfato o el fosfato. Este proceso se denomina mineralización.

En la descomposición de materia orgánica, una parte del carbono se libera a la atmósfera en forma de  $\text{CO}_2$ . Se sintetizan una serie de moléculas orgánicas nuevas que constituyen el humus. En el humus hay macromoléculas con masas moleculares superiores a  $500\,000\text{ g mol}^{-1}$ . Los componentes principales del humus son ésteres de ácidos carboxílicos, ácidos carboxílicos derivados del benceno y compuestos fenólicos. También son frecuentes los grupos funcionales ácido carboxílico y fenol

Los grupos funcionales ácido carboxílico y fenol pueden liberar iones  $\text{H}^+$ . Si lo hacen, las moléculas del humus quedan cargadas negativamente y pueden formar enlaces iónicos con cationes metálicos, de forma que el humus puede retener una gran variedad de nutrientes iónicos de forma similar a las arcillas.

## ¿Cómo se absorben los nutrientes del suelo?

### Intercambio iónico

Muchos de los cationes retenidos a las superficies, exterior e interior, de las arcillas pueden ser sustituidos por varios iones procedentes de la disolución que baña el suelo. El proceso se denomina intercambio catiónico. Por ejemplo, los iones amonio,  $\text{NH}_4^+$ , pueden intercambiarse con iones  $\text{Ca}^{2+}$ . Se tiene que mantener el balance de carga, de forma que dos iones con carga sencilla reemplazarán un ión con carga doble.

El intercambio es rápido y reversible. El sentido de la reacción de canje depende de las concentraciones de los iones que participan y de la fuerza con qué son retenidos por la arcilla. Ha han materiales naturales como las arcillas que se encuentran en los sólo, que tienen la propiedad de intercambiar iones. Las arcillas son silicatos, formados por unidades -con estructura de tetraedro (figura 1)



Figura 1: tetraedro  $\text{SiO}_4^{4-}$

Los tetraedros pueden formar cadenas i capas (figura 2)

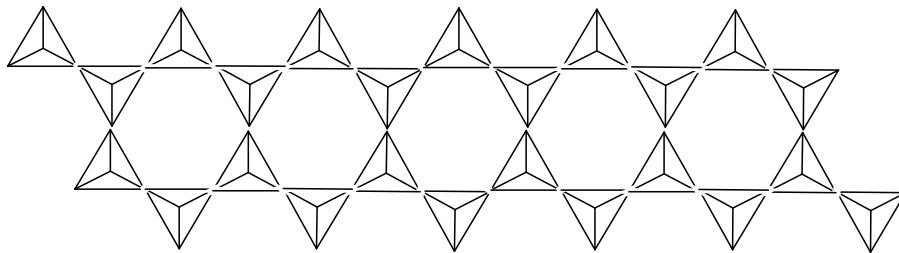


Figura 2: una capa de tetraedros

En las arcillas, la carga negativa del conjunto está neutralizada por cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ . Muchos de estos cationes retenidos por las arcillas pueden ser sustituidos por varios iones presentes en los suelo.

Las raíces de las plantas obtienen sus nutrientes de la reserva de cationes intercambiables que contiene el suelo

La capacidad de intercambio iónico de determinados silicatos se utiliza para extraer iones de las aguas. El agua que disponemos trae los cationes calcio y magnesio así como aniones  $\text{HCO}_3^-$ , las aguas que contienen estos iones se denominan “aguas duras”. Impiden que los detergentes actúen con eficacia, y forman precipitados de carbonatos de calcio y magnesio que pueden malograr las instalaciones por donde circulan estas aguas.

Los productos “ablandadores” de las aguas, reducen la concentración de los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . En los lavavajillas, donde la temperatura del agua llega a superar los  $60^\circ\text{C}$ , es necesario ablandar el agua. Esto se consigue bien empleando un porcentaje alto de fosfatos, en forma de fosfato de sodio en la pastilla de detergente o bien cambiando los iones que provocan la dureza del agua por iones sodio.

Las resinas empleadas por canje iónico se denominan zeolitas y no tienen la estructura laminar de las arcillas. En este caso, los tetraedros de silicatos se mantienen unidos con una estructura que mantiene abiertos unos canales y cavidades por donde se pueden situar los cationes. (figura 3)

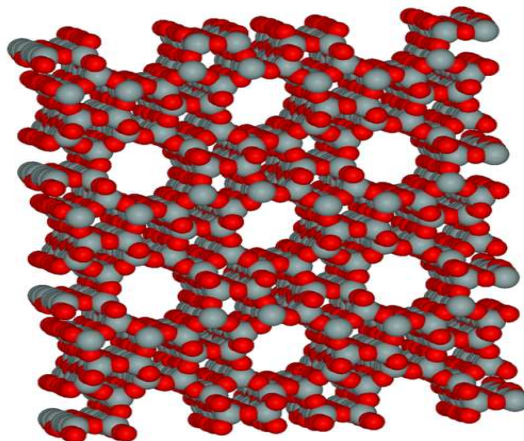


Figura 3: estructura de una zeolita

Las zeolitas tienen capacidades de canje alta si se comparan con las arcillas. Las zeolitas artificiales se desarrollaron a principios del siglo XX con el fin de disminuir la dureza de las aguas. Existen resinas para el intercambio catiónico y para el aniónico.

### Efecto del pH en el suelo

La capacidad de un mineral arcilloso para intercambiar iones se mide por su capacidad de intercambio catiónico, que es la cantidad en moles de carga positiva intercambiable (mol) que puede retener 1 kg de mineral (1 mol de iones con carga monovalente equivale a medio mol de iones de carga divalente o a un tercio de mol de iones trivalentes).

Las capacidades de canje catiónico de los minerales varían mucho; dependen fundamentalmente del área superficial y del número de cargas sobre las superficies exterior o interior.

Los suelos difieren en las cantidades de arcilla y de materia orgánica que contienen. Una capacidad normal de canje catiónico está comprendida entre 0,02 y 0,6 moles de carga positiva por kilogramo de mineral.

Las raíces de las plantas obtienen sus nutrientes de la reserva de cationes intercambiables que contiene el suelo. Los iones retenidos por la arcilla o el humus están en equilibrio con los iones libres de la disolución del suelo. Los iones disueltos pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas o ser arrastrados por el drenaje que produce la lluvia. Como resultado de esto, el equilibrio iónico se altera y cambia el pH del suelo.

En condiciones naturales, los iones  $H^+$  procedentes de la lluvia, de las raíces de las plantas y de la actividad microbiana desplazan los iones  $Ca^{2+}$  y otros iones de los sólidos del suelo, lo cual produce dos efectos: aumenta la acidez del suelo y se reduce su capacidad de retener nutrientes en forma de cationes intercambiables.

Los cationes intercambiables se pierden por dos razones:

En primer lugar, los cationes retenidos a la superficie de las capas arcillosas son reemplazados por iones  $H^+$ .

En segundo lugar, a pH elevados, el desgaste de minerales arcillosos se produce más rápidamente y se libera el óxido de aluminio en el suelo. La superficie del óxido retiene los iones  $H^+$  se carga positivamente y repele los cationes.

El desprendimiento de iones aluminio de las arcillas a pH bajo ocasiona otro problema. Las concentraciones de aluminio elevadas en el suelo son tóxicas para los cultivos.

La tabla 2 muestra los valores del pH del suelo por debajo de los cuales queda limitado el crecimiento de una planta.

Cultivo	pH debajo del cual queda limitado el crecimiento
judías	6,0
centeno	5,3
patata	4,9
trigo	5,5
lechuga	6,1
col	5,4
manzana	5,0

Tabla 2 Valores del pH del suelo por debajo del cual queda limitado el crecimiento de las plantas

### ¿Cómo se puede disminuir la acidez del suelo?

Para disminuir la acidez del suelo se pueden añadir a su superficie basas como la piedra calcárea, la creta o la escoria básica del acero. La cantidad de base que hace falta para obtener el pH deseado depende de la capacidad del suelo para neutralizar la base. Esta capacidad se denomina capacidad reguladora o amortiguadora y también "tampón". Un suelo arcilloso de pH 5 necesitará más cal para elevar el pH a 7 que la misma demasado de suelo arenoso. El suelo arcilloso tiene una capacidad reguladora más elevada. Cuando se añade la base a un suelo arcilloso, al comienzo el pH varía muy poco y después crece lentamente. El suelo actúa como una disolución tampón y es capaz de resistir pequeños cambios en el pH. Este efecto regulador se basa en el hecho que los iones  $H^+$  unidos a los sólidos del suelo reemplazan algunos  $H^+$  de la disolución en el mismo momento en que son neutralizados.

## ¿Cómo se mantiene fértil el suelo?

¿Cómo se puede cultivar una cosecha detrás la otra en el mismo suelo y a la vez hacer que no decrezca su fertilidad?

La fertilidad de un suelo depende de muchas cosas, como por ejemplo el contenido de arcilla y el humus del suelo, la cantidad de humedad y la temperatura. Se perjudica la fertilidad si se eliminan los nutrientes del suelo o si se destruye la disposición de las partículas y los espacios porosos en el suelo.

Disparo del dióxido de carbono del aire, las plantas obtienen del suelo todos los nutrientes. Estos nutrientes se absorben de la reserva inorgánica del suelo y de la reserva orgánica, una parte de la cual se encuentra a la superficie y la otra parte dentro del suelo. Los elementos se reciclan constantemente entre los sistemas vivos, la reserva orgánica y la reserva inorgánica.

La reserva orgánica se recompone con los excrementos de los animales y por la muerte y la descomposición de organismos vivos. Los microorganismos actúan sobre la materia orgánica y la convierten en humus. También la convierten en iones inorgánicos (mineralización), produciendo iones amonio, nitrato, fosfato y sulfato. La meteorización del suelo y de las rocas libera más iones hacia la reserva inorgánica.

El agua de la lluvia drena los nutrientes de las capas superiores del suelo. El nitrógeno se puede perder por conversión en gases como el  $N_2$  y el  $N_2O$ , que se dispersan en la atmósfera.

Muchos cultivos piden una gran cantidad de nutrientes. Esto hace que la velocidad de canje de los nutrientes en los ciclos sea muy importante. En el punto máximo del desarrollo, entre mayo y junio, la velocidad de suministro de los iones a las raíces de la planta tiene que ser suficientemente rápida para poder satisfacer las necesidades de los cultivos. Las cosechas disminuyen si hay escasez de algún nutriente.

### Adición de nutrientes

Hay dos maneras de añadir los nutrientes al suelo:

- como estiércoles de las granjas
- como componentes inorgánicos, ya sean rocas trituradas o compuestos sintéticos.

Cómo que el contenido de agua del estiércol de granja es elevado (de 90 a 95%) se requieren grandes cantidades de estiércoles para proporcionar bastante nutrientes (mesa 3). El transporte de grandes volúmenes es demasiado caro. Para compensar los gastos de transporte, se han desarrollado procesos de desecación de los estiércoles. Pero todavía no se ha resuelto totalmente el problema puesto que estos procesos también resultan caros.

Producción de estiércol/t año <sup>-1</sup>	Contenido en nutrientes			
	N	P	K	
1 vaca lechera	23	4,7	0,6	4,4
10 cerdos	21	6,3	1,5	2,9

Tabla 3 Contenido de nutrientes de algunos estiércoles

Los purines se pueden considerar un residuo o una riqueza puesto que las deyecciones son fuente de nutrientes y de materia orgánica que puede ahorrar la compra de fertilizantes minerales. Pero si el ganadero no es agricultor, no puede valorar este subproducto y pasa a ser un estorbo. También es molesto si la producción de estiércoles es superior a las necesidades de los cultivos propios y si hay que recorrer largas distancias es un coste muchas veces inalcanzable. Aún así, la reutilización como fertilizante es la solución agrícola más difundida y deseada.

Desde el punto de vista tecnológico se puede hacer prácticamente todo: separar fases para reducir coste de transporte, eliminar nitrógeno, recuperar nitrógeno y fósforo en forma mineral, obtener compuesto con uso por horticultura, separar agua para obtener un concentrado, producir energía... De los purines podemos obtener biogás (metano), abonos (sulfato o fosfato amónico), materia orgánica higienizada que puede ser útil como enmienda para la tierra y agua con un cierto contenido de sales y elementos disueltos.

aprovechables como producto para regar (fert-irrigación). La digestión anaeróbica de residuos orgánicos reduce los malos olores, produce limpio de energía eléctrica o por calefacción y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se han diseñado las plantas de eliminación de nitratos, mediante las tres MTD's (mejores técnicas disponibles) recomendadas por la Agencia Europea del Medio ambiente, las cuales son Intercambio Iónico, Ósmosis Inversa y Electrodiálisis Reversible.

Actualmente, en Cataluña hay cinco plantas de tratamiento de purines: dos en Osona, dos en Solsona y una en el Segrià.

Los nitratos de origen agrario, provenientes de los excrementos y residuos del ganado, son la primera causa de contaminación de las aguas subterráneas de Cataluña. Más de la mitad de muestras de agua tomadas por la Agencia Catalana del agua superan la norma de calidad de 50 miligramos/litro. Las zonas vulnerables afectan un tercio de los municipios de Cataluña y un total de 5.500 km<sup>2</sup>



## ¿Cómo se producen los fertilizantes inorgánicos?

Las primeras materias para la producción de fertilizantes son:

- agua
- aire
- gas natural
- mineral de fosfato tricálcico
- minerales que contienen cloruro de potasio
- azufre

Algunos de los fertilizantes que se sintetizan son el nitrato amónico, los sulfato amónico, el fosfato amónico, la urea y el nitrato de potasio. Los compuestos se venden individualmente o mezclados. En el mercado se pueden encontrar una serie de productos con diferentes proporciones de N:P:K ya preparados para satisfacer la demanda de los agricultores (figura 2)



Figura 2: 16% de nitrógeno; 16% de fósforo i 8% de potasio

El proceso fundamental en la producción de fertilizantes es la síntesis del amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno. El aparato de la figura 36 fue utilizado por Fritz Haber en el desarrollo del método de síntesis

que, en 1909, le permitió producir 100 g de amoníaco.

El proceso fue logrado por Carl Bosch, un ingeniero químico de la BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik) a Ludwigshaven, cerca de Mannheim (Alemania). El 1913 empezó a producir la primera planta industrial con una capacidad de 30 toneladas cada día. Los principios del diseño básico de las fábricas modernas continúan siendo los mismos pero con una capacidad de cerca de 1500 toneladas cada día. Entre 1910 y 1912 se realizaron unos 6500 experimentos con el objetivo de descubrir un catalizador eficiente. (figura 3) Actualmente se usa hierro pulverizado finamente. Se le añaden pequeñas cantidades de óxidos de potasio, aluminio, silicio y magnesio para mejorar su actividad

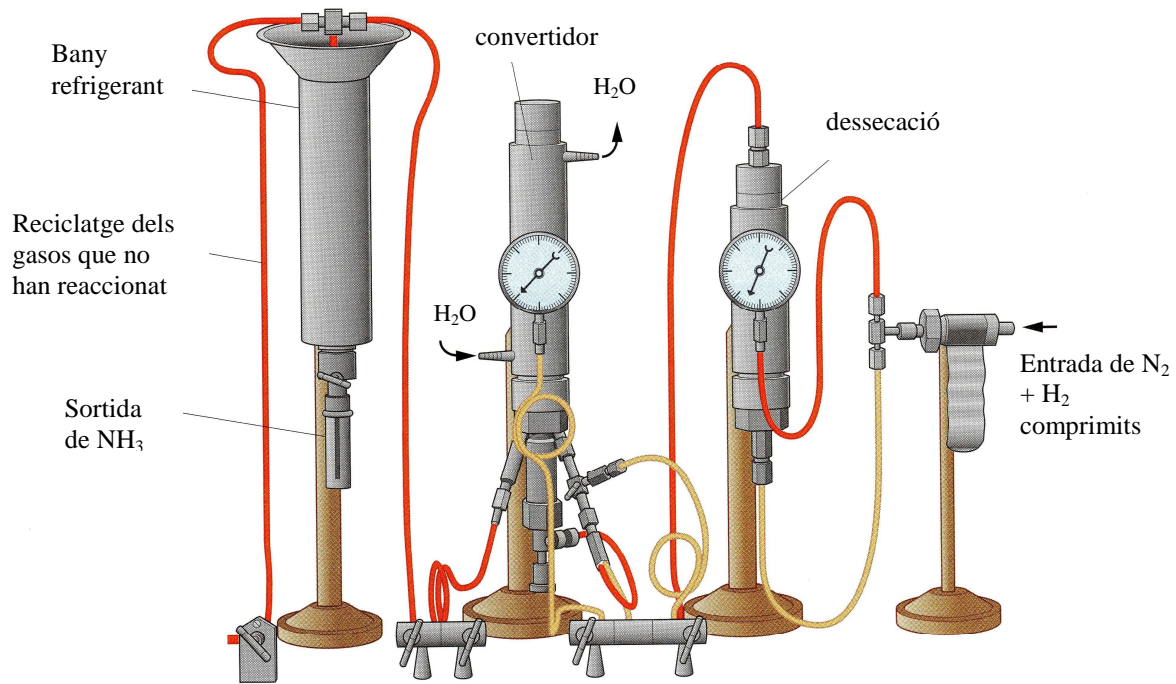


Figura 3: El montaje de Haber para la síntesis del amoníaco

Haber y Bosch fueron galardonados con sendos premios Nobel de Química: Haber el 1918 por su trabajo académico y Bosch el 1931 por la invención y el desarrollo de las tecnologías de altas presiones. En las fábricas modernas, el hidrógeno se obtiene por reacción del agua con gas natural. El nitrógeno del aire se purifica y se mezcla con hidrógeno. Los gases calientes pasan por un catalizador donde reaccionan para producir amoníaco

La reacción es reversible. El amoníaco que se produce en la reacción directa se puede descomponer en nitrógeno e hidrógeno a la reacción inversa. Si una mezcla de nitrógeno e hidrógeno se pone en contacto con el catalizador y se deja durante un tiempo suficiente, se obtendrá una mezcla de los tres gases,  $N_2$ ,  $H_2$  y  $NH_3$ , en equilibrio.

El amoníaco se separa del nitrógeno y del hidrógeno que no han reaccionado. Estos gases se reciclan y se vuelven a hacer pasar por el catalizador.

La mayoría de los reactores trabajan a unas presiones de entre 70 y 200 atmósferas y a temperaturas de entre 400 y 600 °C.

La energía que se consume en las fábricas modernas es de unos 35 MJ por cada kg de nitrógeno que se convierte en amoníaco.

## **La lucha por los alimentos**

Hay otros organismos que compiten con nosotros por los alimentos que cultivamos. Esta competencia puede reducir la cosecha mundial en un 30 o un 40 %. En los trópicos, insectos como el saltamontes son la causa de grandes pérdidas (una plaga de saltamontes puede pesar 15 000 toneladas y consume una demasada similar de alimentos cada día)

Los plaguicidas (insecticidas, herbicidas y fungicidas) matan respectivamente los insectos, que se alimentan de nuestras cosechas, las malas hierbas, que compiten con las cosechas por los nutrientes del suelo, y los mohos, que pudren las semillas y las raíces de las plantas.

Aunque existen indudables beneficios en el uso de plaguicidas, también pueden surgir problemas. Muchos plaguicidas pueden ser dañosos por la salud y por el medio ambiente si se utilizan incorrectamente. Los plaguicidas también controlan los organismos portadores de enfermedades como los mosquitos.

Algunos plaguicidas pasados pueden permanecer en el suelo e introducirse en la cadena trófica y, por lo tanto, afectar a depredadores como los pájaros y contaminar los suministros de alimentos humanos. Los plaguicidas también se pueden introducir en las reservas de agua por drenaje.

Las fábricas de plaguicidas son útiles, pero los riesgos químicos que tienen estas instalaciones son grandes. Si no se tiene cuidado, los accidentes son auténticas catástrofes.

Por lo tanto, el desafío de la química agrícola moderna es enorme: encontrar sustancias que sean específicas por un organismo determinado, que actúen en pequeñas dosis, que no sean persistentes en el medio ambiente ni circulen por el suministro de agua y, además, que sean inocuos por los humanos. Las plagas pueden desarrollar resistencia a los productos químicos; y los químicos tienen que buscar nuevos productos para eliminarlas.