

Dinámica de nutrientes en los suelos cultivados

Análisis de los principales nutrientes para el uso de fertilizantes adecuados

Los análisis de suelos permiten conocer su contenido de nutrientes (aspecto cuantitativo) en el momento en que se realiza la toma de muestras para su estudio. Estos datos son, no cabe duda, muy valiosos para formular propuestas de abonado que respondan a las exigencias de los cultivos y cumplan los actuales criterios de sostenibilidad y respeto al medioambiente.

● **P. URBANO TERRÓN.** Catedrático de Fitotecnia de la Universidad Politécnica de Madrid.

Sin embargo, los elementos nutritivos no permanecen estáticos en el suelo, ni en su contenido ni en su forma, por lo que a los aspectos cuantitativos hay que añadir otros de tipo cualitativo, que consideren su evolución en el suelo que les hace pasar de formas fácilmente asimilables a otras en que su asimilación es más difícil o, incluso, no asimilables.

Esta evolución de los nutrientes deberá tenerse en cuenta al formular los programas de fertilización del suelo, por cuanto el paso de formas no asimilables a asimilables representa una ganancia en el balance de los nutrientes que permite ahorrar fertilizantes y, al contrario, la pérdida de asimilabilidad representa una carencia, si no absoluta, sí temporal, de los nutrientes que obligará a aumentar la cantidad de fertilizantes a emplear.

Por ello, en este artículo vamos a analizar en forma muy breve cómo evolucionan los principales nutrientes esenciales que las plantas extraen del suelo señalando la incidencia que esta dinámica puede tener en el uso de fertilizantes tanto orgánicos, como organominerales y minerales.

Nitrógeno

Es, de todos los elementos minerales, el más importante en la nutrición de las plantas y el que más influye en los rendimientos de las cosechas. Las reservas de nitrógeno en el suelo se encuentran básicamente en forma orgánica y, en esta forma, el contenido de los suelos cultivados supera, generalmente con amplitud, las exigencias de las plantas cultivadas.

Sin embargo, el nitrógeno orgánico no es asimilable directamente por las plantas, que requieren que pase previamente a forma mineral para poder absorberlo. Por ello, la nutrición nitrogenada de los cultivos va íntimamente ligada a los procesos de mineralización de la materia orgánica del suelo.

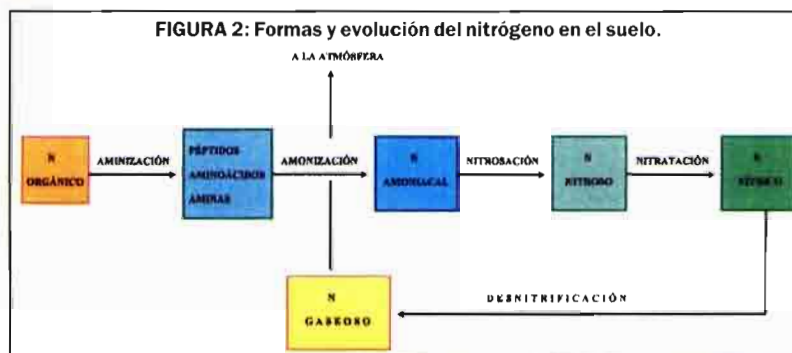
Esta situación no es específica del nitrógeno y puede aplicarse también a otros elementos como azufre, fósforo, calcio, potasio, magnesio, etc., aunque para estos últimos la influencia de la fase mineral sólida del suelo es más importante y, aunque dependientes también de la mineraliza-

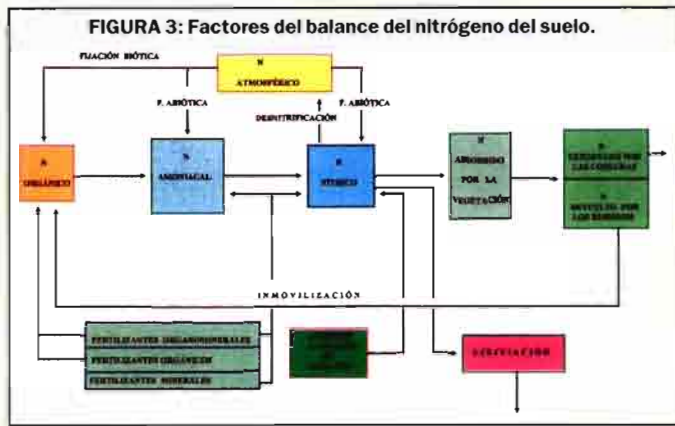
ción de la materia orgánica del suelo, lo son menos que el nitrógeno. La **figura 1** esquematiza la evolución de la materia orgánica del suelo señalando la última fase en la que aparecen los elementos minerales que nutrirán la planta.

El paso de nitrógeno orgánico a nitrógeno mineral, hasta la forma final de nitrato, recibe el nombre global de nitrificación (está representado en la **figura 2** por las flechas que van en dirección hacia la derecha) y representa el paso del nitrógeno de forma no asimilable a asimilable. El sentido contrario, dirección de las flechas hacia la izquierda, se denomina neoproteínización o inmovilización y representa pérdida de asimilabilidad por paso del nitrógeno a forma no asimilable. En condiciones muy particulares, puede originarse un tercer proceso evolutivo que se denomina desnitrificación, en el que el nitrógeno nítrico se reduce a gas dinitrógeno u óxido de nitrógeno (N_2O) que se desprenden a la atmósfera.

El ciclo del nitrógeno en los horizontes cultivados del suelo es un sistema abierto que conecta con la atmósfera exterior (desnitrificación y procesos de fijación biótica y abiótica) y con los horizontes más profundos del suelo (lixiviación y ascensos capilares). La tercera vía de salida del sistema es la exportación de nitrógeno por las cosechas.

Mantener la fertilidad nitrogenada de los suelos cultivados y garantizar la productividad de los sistemas de





producción vegetal, requiere compensar las pérdidas producidas por estas vías mediante el aporte de fertilizantes, ya sean orgánicos, minerales o mixtos.

La **figura 3** presenta en forma resumida los factores que deben considerarse para calcular las necesidades de nitrógeno que presenta un agrosistema y, a partir de ellas, establecer un programa de fertilización nitrogenada.

Fósforo

El fósforo en el suelo se encuentra combinado formando parte de diferentes fosfatos minerales y orgánicos. Existen, además, formas ionizadas, libres en la solución del suelo o fijadas a diferentes partículas capaces de retenerlas.

Los fosfatos minerales más abundantes son sales del ácido ortofosfórico impurificadas por flúor, cloro, carbonatos, grupos OH⁻, etc. que forman yacimientos de origen sedimentario. La fosforita es fosfato tricálcico, pero suele aparecer impurificada por los elementos anteriormente citados formando flúorapatito, cloroapatito, carbonatoapatito, hidroxapatito, etc. Las fosforitas son poco solubles y su solubilidad se reduce aún más a medida que se cementan con carbonato, cloro o flúor. Ninguna de estas formas de fosfatos son asimilables directamente para la planta.

Otros fosfatos minerales, menos abundantes, son los formados con hierro y aluminio. La variscita y estreginta se forman por precipitación de los fosfatos con Fe³⁺ y Al³⁺ en suelos francamente ácidos (pH < 5).

Los fosfatos orgánicos se encuentran formando parte de moléculas integrantes de la materia orgánica del suelo o combinados con los ácidos húmicos (humofosfatos).

En la solución del suelo pueden aparecer distintos iones fosfato (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻ y PO₄³⁻) dependiendo del pH del suelo. En los suelos ácidos hay predominio de las formas monovalentes, que son las más fácilmente asimilables. A medida que se eleva el pH van apareciendo y do-

minando las formas divalentes hasta los suelo básicos en que el predominio es de las formas trivalentes. Estas son las más difícilmente asimilables.

Los iones libres en la solución del suelo están en equilibrio dinámico con los fijados, pasando hacia una u otra forma por procesos de adsorción y desorción aniónica. El conjunto de ambos grupos de iones suele desig-

narse con los nombres de pool de iones autodifusibles y iones isotópicamente cambiables. Teniendo en cuenta que la nutrición de la planta se hace exclusivamente a partir de estos iones, este conjunto representa la reserva asimilable de fósforo.

La **figura 4** representa esquemáticamente la evolución y posible salida de fosfatos en los suelos cultivados. Puede observarse como, a diferencia del nitrógeno, aquí las formas orgánicas tienen menor significación y que, de las tres salidas, aquí la lixiviación y volatilización a la atmósfera bien son poco significativas o no existen. Para el fósforo, las pérdidas importantes están representadas por las exportaciones a través de las cosechas y por la pérdida de asimilabilidad por precipitación de los fosfatos asimilables. Una tercera vía que debe controlarse en los suelos agrícolas es la posible pérdida por erosión o escorrentía debido a los riesgos de eutrofización de las aguas continentales y marítimas.

Potasio

Las formas de potasio asimilables son exclusivamente iónicas (K⁺) presentes en las soluciones del suelo. Estas formas pueden proceder de la meteorización de rocas que contienen potasio y de la mineralización de la materia orgánica del terreno. Los iones libres en la solución del suelo están en equilibrio con los absorbidos sobre el complejo arcillohúmico mediante procesos de adsorción y desorción catiónica.

Las pérdidas de potasio en los suelos cultivados están representadas por las exportaciones de las cosechas y la lixiviación. Las pérdidas de potasio por erosión pueden ser significativas en los suelos afectados por este problema si no se siguen prácticas adecuadas de conservación de suelos.

Calcio

La determinación del calcio total del suelo no sirve como medida de su activi-



AZUD



SISTEMA AZUD, S.A.
 Avda. de las Américas P. 6/6
 Pol. Ind. Oeste
 30169 SAN GINES
 MURCIA - SPAIN

Tel.: 968 808402
 Fax: 968 808302
 Internacional: Tel.: 3468808402
 Fax: 3468 808302
 E-mail: azud@azud.com

FIGURA 4: Formas y evolución del fósforo en el suelo.

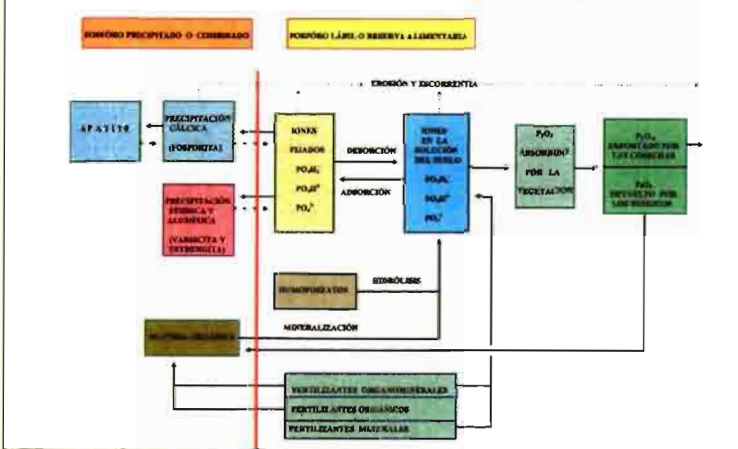


FIGURA 5: Formas y evolución del potasio, calcio y magnesio en el suelo.

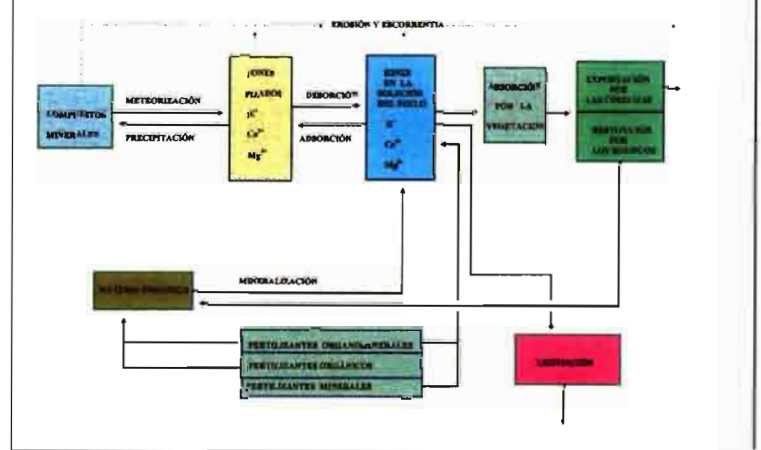


FIGURA 6: Formas y evolución del azufre en el suelo.

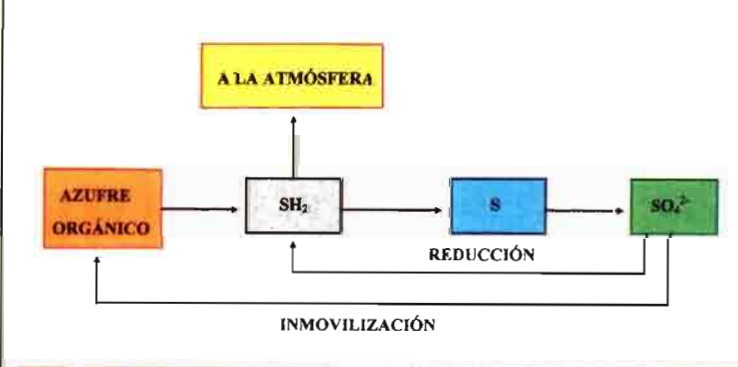
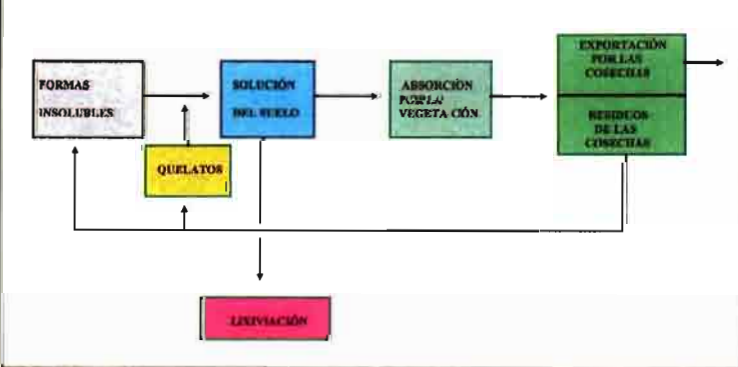


FIGURA 7: Evolución de los micronutrientes en el suelo.



dad ni de su capacidad para alimentar los cultivos, debido a la gran variedad de formas minerales que existen (silicatos y aluminosilicatos, carbonatos, fosfatos, sulfatos, cloruros, etc.) y al grado de alterabilidad tan diferente que estas formas presentan. Además, la materia orgánica del suelo también contiene calcio que irá apareciendo tras el proceso de mineralización.

El calcio que nutre la planta es iónico (Ca^{2+}) presente en la solución del suelo y en equilibrio dinámico con el fijado sobre el complejo adsorbente. En este sentido, la evolución y posibles pérdidas de calcio son similares a las del potasio, por lo que se han representado en forma unificada en la figura 5.

mientos de origen sedimentario, la presencia normal del azufre en el suelo es en combinaciones orgánicas y minerales.

Las formas orgánicas representan la fracción más importante del azufre en los suelos cultivados (60 a 90% del azufre total) pero, mediante el proceso de mineralización, aparecerá en forma de sulfato (SO_4^{2-}). Las condiciones reductoras del suelo (bajas temperaturas, acidez, encharcamiento, etc.), favorecerán la reducción de los SO_4^{2-} a SH_2 con desprendimiento a la atmósfera exterior.

Las plantas absorben el azufre de los sulfatos y exportan con las cosechas una parte importante del azufre extraído del suelo. Al enterrar los residuos, el azufre

Magnesio

La evolución del magnesio en el suelo y su asimilación por las plantas cultivadas siguen pautas bastante similares a las del potasio y calcio (figura 5). En orden a la nutrición vegetal deben cuidarse las relaciones calcio/magnesio (Ca^{2+}/Mg^{2+}) y potasio/magnesio (K^+/Mg^{2+}) para no provocar deficiencias nutritivas de magnesio por excesos de calcio o potasio.

Azufre

Salvo los casos excepcionales en que aparece azufre libre en yacimientos de origen sedimentario, la presencia normal del azufre en el suelo es en combinaciones orgánicas y minerales.

contenido en ellos vuelve al terreno en forma orgánica cerrándose el ciclo en el suelo.

Microelementos

Desde antiguo se atribuye condiciones de esencialidad para las plantas al hierro, manganeso, boro, cobre, cinc y molibdeno. Actualmente, se considera al níquel y al cloruro como esenciales. Aunque sin el carácter de esencialidad, la planta puede extraer del suelo otros muchos elementos minerales, como sodio, silicio, cobalto, cromo, yodo, selenio, plomo, cadmio, litanio, mercurio, arsénico, etc., que en numerosas ocasiones son contaminantes importantes de los suelos cultivados.

Los micronutrientes evolucionan en el suelo desde formas insolubles o inmovilizadas a formas quelatadas y libres en la solución del suelo de donde son absorbidas por las plantas. La absorción está muy relacionada con el pH del suelo de manera que el hierro, manganeso, boro, cobre y cinc se absorben preferentemente en medio ácido, mientras que el molibdeno es mejor asimilado en medio básico.

Teniendo en cuenta su carácter de microelementos (las necesidades de los cultivos son de unos pocos gramos o miligramos por hectárea) y debido a la toxicidad que la mayoría de estos elementos presentan, no se puede recomendar su empleo en los programas de fertilización en forma sistemática. Su uso se hará solamente en los casos en que se sepa que es necesario aportarlos al suelo por situaciones conocidas por la experiencia o tras detectar estados de carencia nutricional en los cultivos y apoyados en análisis visuales de las plantas, análisis de suelos específicos para el o los microelementos considerados y análisis foliares o de jugos de las plantas. ■