

## II Parte

La segunda parte de este artículo continua analizando las condiciones en las cuales se ha comprobado que la fertilización foliar permite obtener resultados agronómicos significativos.

### EFICACIA SEVERAMENTE LIMITADA EN LA FERTILIZACIÓN RADICULAR

Una vez aplicados los fertilizantes al suelo, éstos sufren reacciones de transformación y están sujetos también a procesos que determinan pérdidas importantes de nutrientes al quedar fuera del alcance absorbente del sistema radicular.

#### Lixiviación

Los iones nutritivos pueden ser arrastrados por las aguas de drenaje que percolan a través del suelo. El nitrógeno es el elemento que está más sujeto a este proceso denominado lixiviación, en particular el estado nítrico ( $\text{NO}_3^-$ ) por ser un ion débilmente retenido en el suelo y, por tanto, altamente móvil.

El potasio, aunque en menor proporción que el nitrógeno, también puede perderse por lixiviación, no obstante su condición catiónica que le permite una relativa estabilidad en el suelo. EL fósforo, en cambio, es un elemento poco móvil y, por ello, sus pérdidas por lixiviación son mínimas.

Otros elementos sujetos a pérdidas importantes por efecto de la lixiviación son el azufre, calcio y magnesio. Sin embargo, la magnitud de las pérdidas son altamente variables, pues ellas dependen de un buen número de factores siendo los principales:

- a) Frecuencia e intensidad de lluvias
- b) Textura del suelo
- c) Contenido de materia orgánica
- d) Tipo de coloide arcilloso
- e) Uso y manejo del suelo
- f) Tipo de fertilizante utilizado.

#### Fijación

Por fijación se entiende los procesos de transformación físico-químicos que sufren los nutrientes una vez aplicados al suelo como fertilizantes. Como resultado de estos procesos los nutrientes solubles y disponibles para las plantas evolucionan hacia estados químicos no aprovechables.

El elemento más afectado por fijación es el fósforo. Se ha estimado que la fijación es responsable de que se pierda entre un 70 y un 95% del fósforo que se aplica como fertilizante. En menor proporción el nitrógeno y el potasio también pueden ser "atrapados" o fijados por arcillas expandibles. Aunque no hay estudios específicos, en condiciones de suelos tropicales, se prevé que mediante este proceso pueden perderse cantidades importantes de fertilizante nitrogenado o potásico.

De hecho, la magnitud de pérdida por fijación, depende de factores diversos.

En el caso del fósforo influyen los siguientes:

- a) pH del suelo
- b) Contenido de óxidos de Fe y Al
- c) Tipo de arcilla
- d) Contenido de materia orgánica
- e) Contenido de arcillas amorfas
- f) Tipo de fertilizante fosfórico
- g) Sistema y época de aplicación del fertilizante.

Por su parte, la fijación de nitrógeno y potasio está controlada por factores relacionados con:

- a) Tipo de coloide arcilloso
- b) Contenido de arcilla
- c) Incidencia de ciclos secos y lluviosos

#### **Pérdidas en forma de gas**

La fertilización con nitrógeno puede resultar afectada severamente por pérdidas del elemento en forma de gas. Los procesos involucrados son la volatilización y la denitrificación.

La volatilización es la transformación de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Esta reacción permite el desprendimiento de nitrógeno en forma gaseosa. Se ha encontrado que el proceso afecta severamente a la urea, debido a su reacción alcalina y, en especial, cuando se efectúan aplicaciones superficiales en zonas de clima cálido. Bajo estas circunstancias, en arrozales inundados, las pérdidas de nitrógeno por volatilización pueden ser tan altas como del 50% del nitrógeno aplicado. Los factores que influyen en la magnitud de la volatilización son:

- a) Tipo de fertilizante nitrogenado
- b) Sistema de aplicación
- c) Temperatura ambiente
- d) pH del suelo
- e) Capacidad de intercambio catiónico.

La denitrificación ocurre cuando el fertilizante nitrogenado, en especial el fertilizante nítrico, es aplicado en suelos encharcados, mal drenados o inundados.

En este caso el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) evoluciona hacia estados gaseosos ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ) que determina la pérdida del elemento. En condiciones favorables al proceso, se ha llegado a determinar pérdidas hasta del 30% del nitrógeno aplicado como fertilizante.

#### **Inmovilización**

La propia actividad de los microorganismos del suelo genera, bajo determinadas circunstancias, pérdidas significativas de nutrientes a partir de la fertilización edáfica.

Los microorganismos del suelo utilizan nutrientes, compitiendo, así, por este factor de crecimiento con las especies vegetales. Bajo condiciones específicas, la magnitud de la utilización de nutrientes por la población microbial, puede restar cantidades importantes de nutrientes aplicados en el abonamiento al suelo. Los nutrientes más afectados son nitrógeno, fósforo y azufre.

#### **Eficiencia de la fertilización en la agricultura tropical**

Se define como eficiencia de la fertilización a la proporción de nutrientes efectivamente utilizadas por el cultivo, en relación con la cantidad aplicada.

En la agricultura tropical, los niveles de eficiencia, debido a la incidencia de los factores de pérdida previamente descritos, se han ubicado en rangos relativamente bajos.

Se estima que la eficiencia de la fertilización nitrogenada oscila entre el 20 y 70% pero el promedio no es superior al 50% lo que equivale a decir que, en la agricultura tropical, tan sólo la mitad de fertilizante nitrogenado aplicado es utilizado por los cultivos. Esto significa cuantiosas pérdidas de orden económico para el agricultor.

En el caso de la fertilización fosfórica la situación es aún más grave, puesto que se estima que en promedio, la eficiencia está en el 10% con un rango del 5 al 30%. Resulta entonces que, de cada 100 kg de fosfato aplicado al suelo, las pérdidas promedias son del orden de 90 kg.

En suelos tropicales, la eficiencia del potasio aplicado como fertilizante está entre el 20 y 60%, con un promedio del 40%. La mayor parte del potasio aplicado se pierde por lixiviación.

Bajo circunstancias de muy baja eficacia en la fertilización convencional por vía radicular, la nutrición por vía foliar puede contribuir a mantener niveles óptimos de suministro de nutrientes en los cultivos.

### **SUMINISTRO RAPIDO DE NUTRIENTES EN EPOCAS CRITICAS**

La demanda de nutrientes por parte de las especies vegetales cultivadas no es uniforme, sino que más bien depende de los estados fisiológicos a lo largo de su ciclo productivo.

La demanda de nitrógeno es alta y constante, pero en particular se requiere durante los estados de alta tasa de crecimiento, floración y fructificación. En cereales, tal como en el caso de arroz, los niveles de mayor demanda de nitrógeno toman lugar durante el macollamiento, iniciación de la panícula y el llenado de grano.

El fósforo es requerido en estados tempranos de ciclo vegetativo como nutriente clave para el desarrollo radicular. Los estados de tuberización e iniciación de la floración son considerados como puntos críticos en cuanto al suministro de fósforo. Sin embargo, desde el punto de vista fisiológico, se considera que este elemento debe estar disponible en los primeros estados de desarrollo del cultivo, que es cuando se produce la diferenciación de las estructuras productivas.

El potasio es requerido intensamente durante los estados fisiológicos de producción, es decir durante tuberización y llenado de tubérculo, iniciación de la floración y llenado de grano, así como en cuajado y llenado de fruto. Como se sabe, el potasio es esencial para la síntesis de carbohidratos, pero además influye en la translocación y acumulación de azúcares y almidones.

Es en estas épocas críticas donde una aplicación foliar complementaria, especialmente de nitrógeno y potasio, puede influir grandemente en la obtención de granos más densos y frutos más grandes, aumentando así la productividad.

### **PARTICULARMENTE EFICAZ PARA APLICACION DE MICROELEMENTOS**

Se puede afirmar que la aplicación de elementos menores por vía foliar no ha dejado duda sobre su eficiencia agronómica.

Como se sabe, los requerimientos de microelementos por parte de los cultivos son pequeños. Esta circunstancia hace

posible el suministro de tales nutrientes en soluciones de muy baja concentración, que son toleradas sin causar efectos fitotóxicos en los cultivos.

Por otra parte, la fertilización radicular con microelementos presenta el inconveniente de que las dosis de aplicación son muy bajas, lo cual resulta en dificultades obvias para su distribución homogénea en el lote. Por el contrario, la aplicación por vía foliar resulta práctica, sencilla y eficiente.

### **Alternativa viable como fertilización preventiva**

Se ha planteado, como justificación básica del uso de fertilizantes foliares completos, la idea de que en un cultivo de alta productividad debe eliminarse la posibilidad de que el rendimiento final puede resultar limitado por un factor de orden nutricional.

Con lo anterior se concibe la aplicación de todos los nutrientes por vía foliar, en estados tempranos del ciclo vegetativo (15 a 45 días de la germinación), como una fertilización de tipo preventivo. Se señala, además, que esta modalidad de abonamiento permite contribuir a la alimentación de la planta, para impulsar un mayor desarrollo del sistema radicular.

En cultivos anuales o de ciclo corto, la aplicación foliar debe hacerse temprano porque entre los primeros 40 a 60 días después de la germinación, dependiendo de especie y variedad, ocurre la formación o diferenciación de las células que darán origen posteriormente a flores y frutos.

### **LIMITACIONES DE LA FERTILIZACION FOLIAR**

Como limitantes del abonamiento foliar se pueden señalar las siguientes:

#### **Riego de fitotoxicidad**

Las especies vegetales cultivadas son más sensibles a la aspersión con soluciones nutritivas concentradas. En general toleran niveles bajos de concentración y están expuestas a daños por "quemazón" del follaje cuando la concentración de la solución utilizada para aspersión excede de ciertos valores.

#### **Dosis limitadas en macroelementos**

El riego de fitotoxicidad, sumado al hecho de que no es factible preparar soluciones nutritivas de alta

concentración, determina que las dosis de aplicación sean muy bajas en relación con los requerimientos de elementos mayores. Por esta razón, se reitera que, en el caso de los macronutrientes, la fertilización foliar nunca substituye.

#### **Requiere de buen desarrollo de follaje**

Como es obvio, la nutrición foliar resulta de la interacción entre el follaje y la solución nutritiva. En consecuencia, la efectividad de la absorción de nutrientes por esa vía será directamente proporcional al área foliar disponible.

En estados tempranos del desarrollo del cultivo, cuando es importante el suministro de ciertos nutrientes, el desarrollo foliar es aún muy limitado y, por consiguiente, se espera que el abonamiento foliar sea poco efectivo.

#### **Lenta absorción**

Ya se ilustró la lentitud con que opera la penetración de nutrientes por vía foliar. Con excepción del nitrógeno, elemento que puede ser absorbido en horas, los demás nutrientes requieren de días para conseguir una penetración significativa.

#### **Pérdidas considerables en la aspersión**

Debido a la lentitud con que penetran los nutrientes, en estos pueden ser lavados desde el follaje por acción de la lluvia, arrastre por el viento o por la simple acción de la gravedad. En aplicaciones tempranas, cuando hay poco follaje disponible se estima que tan sólo del 10 al 30% de la solución aplicada es interceptada por el follaje, el resto cae al suelo.

Para disminuir estas pérdidas es muy importante la utilización de aditivos que permitan mejorar el cubrimiento de la superficie foliar por la solución, así como conseguir una buena adherencia y mejor penetración de las sustancias nutritivas.

#### **Productos costosos**

Para aplicaciones foliares se requieren de ordinario sales puras, con el objeto de conseguir una solución clara sin impurezas o inertes que taponen las boquillas en la aspersión. Estas sales son más costosas que los fertilizantes convencionales.

#### **La eficacia agronómica de la fertilización foliar depende de muchos factores**

Como se discutirá a continuación, son numerosos los factores determinantes de eficacia agronómica en la fertilización foliar. En el caso de la fertilización radicular, puede decirse que las probabilidades de éxito son muy altas, no ocurre lo propio con el abonamiento foliar, ya que su efecto positivo sobre la productividad es altamente aleatorio, en particular para el caso de la aplicación de elementos mayores.

#### **FACTORES DETERMINANTES DE LA EFICACIA EN LA FERTILIZACION FOLIAR**

Hay un buen número de factores involucrados en la eficiencia de la fertilización foliar que deben ser conocidos y controlados para asegurar efectos agronómicos favorables.

#### **Factores de la planta**

Entre los factores inherentes a la planta destacan aquellos que influyen en la penetración de los nutrientes al follaje, tales como grosor y permabilidad de la cutícula. También influye el número y distribución de los estomas, vellosoidad o pubescencia de la superficie foliar, ángulo de inserción de las hojas, edad, turgencia y humedad de las hojas. La mayoría de estos factores son controlados genéticamente y, por consiguiente, dependen de la especie, cultivo o variedad de planta.

Otros factores asociados con la planta tienen que ver con su nivel nutricional y el estado de crecimiento en el cual se efectúa la aplicación foliar. Con respecto a este último factor, en general se acepta que las aplicaciones de P, S, Fe, Cu, Mn y Zn deben efectuarse en estados tempranos. La aplicación de N, K, B, Ca y Mg se considera de mayor trascendencia durante los estados de floración y fructificación.

#### **Factores ambientales**

Este es un grupo de factores relativamente amplio que incluye los siguientes:

- a) Temperatura
- b) Luminosidad y fotoperíodo
- c) Humedad
- d) Sequía
- e) Hora del día
- f) Succión osmótica del suelo

**g) Fertilidad del suelo**

Los efectos de estos factores, en una u otra dirección, son altamente aleatorios. Una buena parte de ellos no son controlables.

**Factores tecnológicos de aplicación**

Estos factores son importantes en la medida que pueden ser controlados.

Entre los principales se destacan:

- a) Tipo de solución nutritiva
- b) Concentración de la solución
- c) Dosis de aplicación
- d) Técnica de aplicación
- e) pH de la solución
- f) Polaridad e higroscopicidad
- g) Sales utilizadas
- h) Relación nutricional
- i) Penetrantes, humectantes, adherentes.

Desde luego que estos factores deben ser manejados en concordancia con los factores inherentes a la especie cultivada previamente descritos. La combinación más apropiada en cuanto a tecnología de aplicación debe ser identificada a través de experimentación intensiva y extensiva en las condiciones específicas del medio agroecológico.

Conviene en este punto destacar la importancia que tiene, para el éxito de la fertilización foliar, el uso de aditivos o coadyuvantes, cuyas principales funciones son:

- a) Ajustar el pH de la solución (pH óptimo: 5-6)
- b) Intensificar en efecto humectante y adherente
- c) Asegurar una buena cobertura y distribución de la solución nutritiva (efecto surfactante)
- d) Incrementar la capacidad de penetración de los nutrientes
- e) Disminuir pérdidas. ■